



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV MECHANIKY TĚLES, MECHATRONIKY A BIOMECHANIKY

INSTITUTE OF SOLID MECHANICS, MECHATRONICS AND BIOMECHANICS

AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ MIKROKLIMATU S POUŽITÍM ARDUINA

AUTOMATIC MICROCLIMATE CONTROL USING ARDUINO

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Aleksandr Denisov

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Mgr. Monika Dosoudilová, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student: **Aleksandr Denisov**
Studijní program: Mechatronika
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **Mgr. Monika Dosoudilová, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Automatické řízení mikroklimatu s použitím Arduina

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Mikroklima závisí na dané oblasti a jejím okolí. Hlavním úkolem této práce bude návrh a realizace modelu miniskleníku, který bude automaticky kontrolovat a udržovat potřebné podmínky mikroklimatu. K řízení bude použita platforma Arduino. Předmětem práce bude rovněž stručné seznámení s touto platformou a tématikou miniskleníků, microgreens a sukulentů. V práci budou představeny dostupné komerční modely zajišťující podobné funkce jako navrhovaný model.

Cíle bakalářské práce:

1. Podrobný popis funkčnosti modelu miniskleníku s automatickou kontrolou mikroklimatu pomocí Arduina. Miniskleník by měl poskytovat vhodné podmínky pro pěstování ve dvou samostatně fungujících režimech zabezpečujících potřebnou vlhkost, teplotu a světlo jak pro microgreens, tak pro sukulenty.
2. Vytvoření programu zajišťujícího navržené funkce, včetně přehledného popisu v programovém kódu.
3. Návrh a realizace modelu miniskleníku.
4. Vyhodnocení funkčnosti modelu a srovnání s představenými komerčními modely.

Seznam doporučené literatury:

- [1] VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Vydání druhé. Bučovice: Martin Stříž, 2017. ISBN 978-80-87106-93-8.
- [2] BENEŠ, Pavel. Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky. 5., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [3] BRICKELL, Christopher, ed. Encyklopedie zahradničení. Praha: Knižní klub, 2012. ISBN 978-80-242-3368-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je návrh a realizace modelu miniskleníku s automatickou kontrolou mikroklimatu řízenou pomocí platformy Arduino. Bylo navrženo zařízení schopné udržovat optimální podmínky pro růst rostlin ve dvou samostatných režimech, pro pěstování microgreens a sukulentů, s důrazem na regulaci vlhkosti, teploty a intenzity osvětlení. Součástí projektu je vývoj softwaru zajišťujícího automatizované řízení těchto parametrů. Výsledný model byl prakticky realizován, otestován a následně byla provedena analýza jeho funkčnosti a srovnání s vybranými komerčně dostupnými řešeními.

Summary

The aim of this bachelor's thesis is the design and implementation of a mini greenhouse model with automatic microclimate control based on the Arduino platform. The system was designed to maintain optimal conditions for plant growth in two independently operating modes, one for microgreens and the other for succulents, with automated regulation of humidity, temperature, and light intensity. The project includes the development of software to manage these parameters automatically. The resulting model was constructed and tested, and its performance was analyzed and compared with selected commercially available greenhouse solutions.

Klíčová slova

Arduino, miniskleník, pokojová rostlina, automatizace, mikroklima, pěstování, microgreens, sukulenty.

Keywords

Arduino, mini greenhouse, house plant, automation, microclimate, cultivation, microgreens, succulents.

Bibliografická Citace

DENISOV, A. *Automatické řízení mikroklimatu s použitím Arduina*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. 61 s., Vedoucí diplomové práce: Mgr. Monika Dosoudilová, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a že je mým původním dílem. Při zpracování jsem použil dostupné odborné prameny a literaturu, které jsem řádně citoval a uvedl v seznamu použitých zdrojů. Jako autor uvedené práce dále prohlašuji, že jsem při tvorbě práce respektoval autorská práva třetích osob a že předložená práce je výsledkem mé vlastní tvůrčí činnosti.

Aleksandr Denisov

Brno

.

Rád bych vyjádřil srdečné poděkování paní vedoucí Mgr. Monice Dosoudilové Ph.D za odbornou pomoc, podporu a cenné rady při vedení této práce. Dále bych chtěl poděkovat Hide-
takovi Miyazakimu za jeho kreativní a inspirativní tvorbu, která pro mě byla velkou motivací.
Mé poděkování patří také mým rodičům za jejich celkovou podporu a za umožnění studia.

Aleksandr Denisov

Obsah

1	Úvod	9
2	Analýza existujících komerčních řešení	10
2.1	Komerční skleníky a jejich klasifikace	10
2.1.1	Klasifikace podle hlavního využití	10
2.1.2	Klasifikace podle konstrukčních vlastností	10
2.1.3	Klasifikace podle materiálů pokrytí	11
2.2	Existující komerční řešení automatického řízení a monitorování prostředí	12
2.2.1	Rain Bird	12
2.2.2	IRRIOT	12
2.2.3	Gardena	13
2.2.4	Xiaomi	14
2.2.5	Smart Garden (Bentech)	15
3	Návrh vlastního řešení	16
3.1	Vzhled a konstrukce	16
3.2	Podmínky pro růst rostlin a požadované klimatické charakteristiky	17
3.2.1	Sukulenty	17
3.2.2	Microgreens	19
4	Senzory a prvky kontroly mikroklimatu	21
4.1	Senzory a Arduino	21
4.1.1	Teplota a vlhkost vzduchu: DHT11	21
4.1.2	Intenzita světla: LM393	22
4.1.3	Vlhkost půdy: Capacitive Soil Moisture Sensor	23
4.1.4	Hlavní řídicí jednotka: Arduino UNO	24
4.1.5	Připojení senzorů a ověření správnosti čtení dat	25
4.2	Nástroje pro výběr režimu	26
4.2.1	LCD displej	27
4.2.2	RTC (Real-Time Clock) DS3231	28
4.2.3	Joystick	28
4.3	Prvky kontroly mikroklimatu	31
4.3.1	Modul s relé	32
4.3.2	Čerpadla pro kapkové zavlažování	33
4.3.3	LED páska	34
4.3.4	Topné prvky	34
4.3.5	Motor s ventilátorem	35
4.3.6	Servomotory	36
4.4	Zdroje napájení a schéma zapojení	37
4.5	Software	39

5	Konstrukce skleníku	40
5.1	Příprava souborů a materiálů	40
5.1.1	Faktory ovlivňující kvalitu řezání	41
5.2	Použité externí programy a software	42
5.3	Řezání dílů a montáž skleníku	43
5.3.1	Použité vybavení a materiály	43
5.3.2	Montáž	45
6	Ověření funkčnosti modelu	47
6.1	Testování skleníku a hodnocení stavu rostlin	47
6.2	Porovnání vybraných systémů sledování a automatického řízení mikroklimatu . .	49
7	Závěr	52
	Seznam zkratk	53
	Seznam obrázků	54
	Seznam tabulek	55
	Seznam grafů	55
	Bibliografie	61

1 Úvod

V posledních letech lze pozorovat výrazný nárůst zájmu o pěstování rostlin v domácím prostředí a také ve veřejných prostorách, třeba v budovách různých institucí. Ozelenění se stává stále populárnějším a to jak z estetických, tak i z praktických důvodů. V souvislosti s tímto trendem roste také poptávka po technologiích, které umožňují pěstování usnadnit a automatizovat. Tato práce reaguje na tuto situaci a propojuje zahradnickou praxi s moderními technologiemi řízení prostřednictvím mikrokontrolérové vývojové desky Arduino.

Z pestré škály oblíbených rostlin jsme se rozhodli zaměřit na dvě specifické a kontrastní skupiny. Vybrali jsme microgreens, které vyžadují vyšší vlhkost, pravidelné zavlažování a dostatek světla, a sukulenty, rostliny přizpůsobené suchým podmínkám s minimálními nároky na údržbu. Cílem bylo vytvořit model miniskleníku, který bude schopen zajistit optimální mikroklima pro oba tyto režimy automaticky, bez častého lidského zásahu a také bude signalizovat uživateli, když některá z charakteristik mikroklimatu překročí vhodné hodnoty pro vybrané rostliny.

Jako řídicí jednotku systému jsme použili mikrokontrolérovou vývojovou desku Arduino Uno, což je založená na ATmega328 [1]. Pomocí Arduino Uno jsme sbírali data ze senzorů a řídili jsme výstupní prvky. Dřevěná konstrukce skleníku byla vlastnoručně navržena v grafickém programu. Po sestavení konstrukce a zapojení všech elektronických prvků jsme přistoupili k praktickému testování systému v reálných podmínkách, kdy byly uvnitř skleníku pěstovány microgreens. Data byla pravidelně zaznamenávána a porovnávána s referenčními podmínkami. Vzhledem k dosaženým výsledkům a potenciálu rozvoje může být tento model zároveň konceptem, který by mohl sloužit jako základ pro vytvoření komerční verze zařízení.

2 Analýza existujících komerčních řešení

Pro přesnou formulaci požadavků na projekt je nezbytné, aby byla provedena analýza již existujících komerčních řešení. Informace získané touto analýzou umožní rozhodnout, které charakteristiky a detaily mají být zachovány, co má být zohledněno pro usnadnění práce, a co naopak může být považováno za nepodstatné a případně vynecháno.

V rámci této práce má být vytvořen malý model reprezentující zahradní skleník nejběžnější velikosti. Bude navržen miniskleník, kde bude možná automatická regulace teploty, osvětlení a dalších parametrů mikroklimatu. Bude věnována pozornost nejen automatickým systémům, ale také charakteristickým rysům běžných skleníků. Nejprve bude v této kapitole provedena analýza klasifikace komerčních skleníků a následně bude zaměřena pozornost na analýzu trhu automatických systémů kontroly mikroklimatu.

2.1 Komerční skleníky a jejich klasifikace

Komerční skleníky se výrazně liší, protože jsou vyráběny různými způsoby, vyžadují odlišné finanční investice, slouží rozličným účelům a jejich zařízení se liší. Přestože není zavedena standardizovaná klasifikace skleníků, bývají obvykle tříděny podle materiálu, konstrukce, funkcí a technologické úrovně.

2.1.1 Klasifikace podle hlavního využití

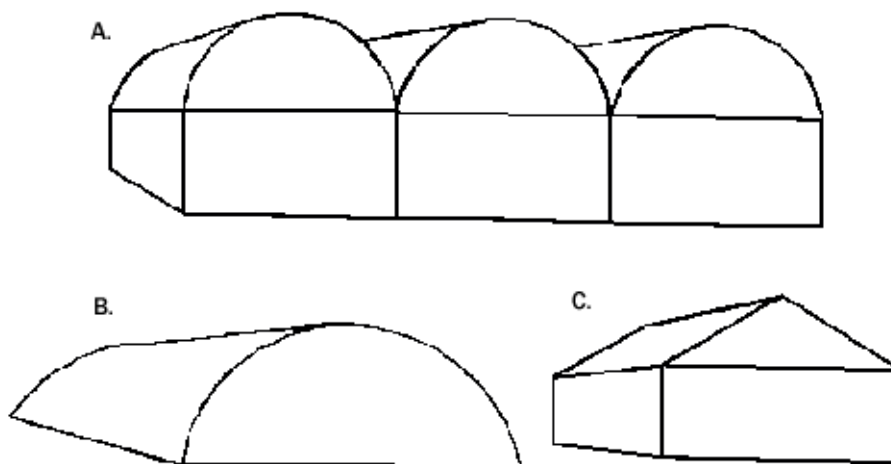
Komerční skleníky jsou nejčastěji využívány k pěstování plodin, například zeleniny, květin, nebo dokonce i v oblasti chovu ryb, v rámci akvakultury, a chovu hospodářských zvířat. Některé skleníky jsou instalovány také pro výstavy, expozice nebo jiné speciální akce.

2.1.2 Klasifikace podle konstrukčních vlastností

Komerční skleníky se liší svou konstrukcí, což ovlivňuje rozmístění rostlin uvnitř i možnosti regulace vnitřního prostředí (například možnost zařízení dodatečné ventilace). Každý typ konstrukce má své specifické výhody a nevýhody. Z konstrukčního hlediska se skleníky obvykle dělí na jednoprostorové, víceprostorové a skleníky se speciální konstrukcí, například modely ke zdi. Hlavní typy konstrukcí jsou znázorněny na obrázku 2.1 [2].

Commercial greenhouse structures:

A) gutter connected, B) free standing quonset, C) single gable.



Obrázek 2.1: Typy konstrukce skleníků: A) Jednoduché. B) Víceprostorové. C) Speciální

2.1.3 Klasifikace podle materiálů pokrytí

Typ materiálu použitý pro skleník je zásadní, protože ovlivňuje finanční náklady na provoz a údržbu skleníku, propustnost světla a celkovou životnost konstrukce. Hlavní konstrukční prvky skleníku, tedy rám a pokrytí, bývají zhotoveny z různých materiálů. Nosná konstrukce bývá nejčastěji vyrobena ze dřeva, kovu nebo plastu, zatímco pokrytí je obvykle zhotoveno ze skla, polykarbonátu nebo fólie [3, 4].

Sklo

Sklo je populární a efektivní materiál pro skleníky. Je odolné, cenově dostupné a má vynikající tepelně izolační vlastnosti. Díky vysoké propustnosti světla, až přibližně 90%, poskytuje rostlinám dostatečné množství slunečního záření nezbytného pro jejich růst a vývoj. Kromě toho sklo přispívá k udržení tepla a vytváří typicky skleníkový efekt. Na druhou stranu sklo má i své nevýhody. Sklo je poměrně těžké, což vyžaduje pevný rám a speciální upevnění konstrukce. To může výrazně zvýšit celkové náklady. Navzdory své obecné odolnosti vůči povětrnostním vlivům, jako jsou vítr nebo déšť, a také vůči korozi je sklo relativně křehké a může být náchylné k prasknutí nebo rozbití, což může zvyšovat náklady na údržbu a opravy.

Polykarbonát

Polykarbonát je polymerní materiál, který je podle svých vlastností podobný sklu. Avšak vykazuje vyšší odolnost vůči mechanickým nárazům, je lehčí než sklo a zároveň také má výborné tepelně izolační vlastnosti. Tyto charakteristiky z něj činí oblíbenou alternativou ke sklu v konstrukci skleníků. Ve sklenících se často používá polykarbonát s UV ochranou, která může být jednostranná nebo oboustranná, se používá pro zvýšení jeho odolnosti vůči slunečnímu záření. Bez dostatečné UV ochrany může být polykarbonát náchylný k deformaci, prasknutí či rozpadu, což může zkrátit jeho životnost a negativně ovlivnit funkčnost skleníku, například vést ke snížení schopnosti materiálu propouštět světlo.

Fólie

Fólie představuje flexibilní nebo rolovací kryt, který se napíná na rám skleníku. Může mít různou tloušťku, být vyztužená nebo nevyztužená, a může být doplněna o UV ochranu. Z hlediska nákladů se jedná o nejúspornější variantu.

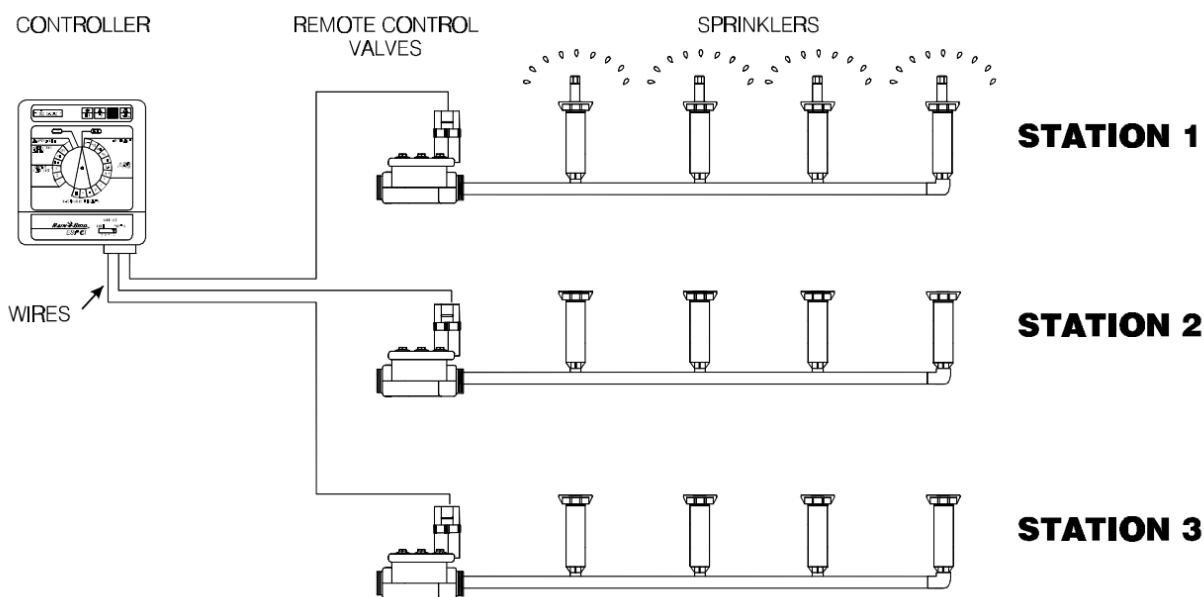
Uvedené materiály představují hlavní typy krytí běžných skleníků. Každý z nich může být navíc vybaven různými moduly pro automatizaci procesu pěstování rostlin [5].

2.2 Existující komerční řešení automatického řízení a monitorování prostředí

2.2.1 Rain Bird

Společnost Rain Bird nabízí systém automatického zavlažování (obr. 2.2), který pracuje pomocí RTC časovače. Některé verze tohoto systému jsou navíc vybaveny senzorem počasí, což umožňuje jeho využití nejen v krytých prostorách. Díky této funkci systém v případě deště vynechává některé zavlažovací cykly, čímž šetří vodu i energii [6].

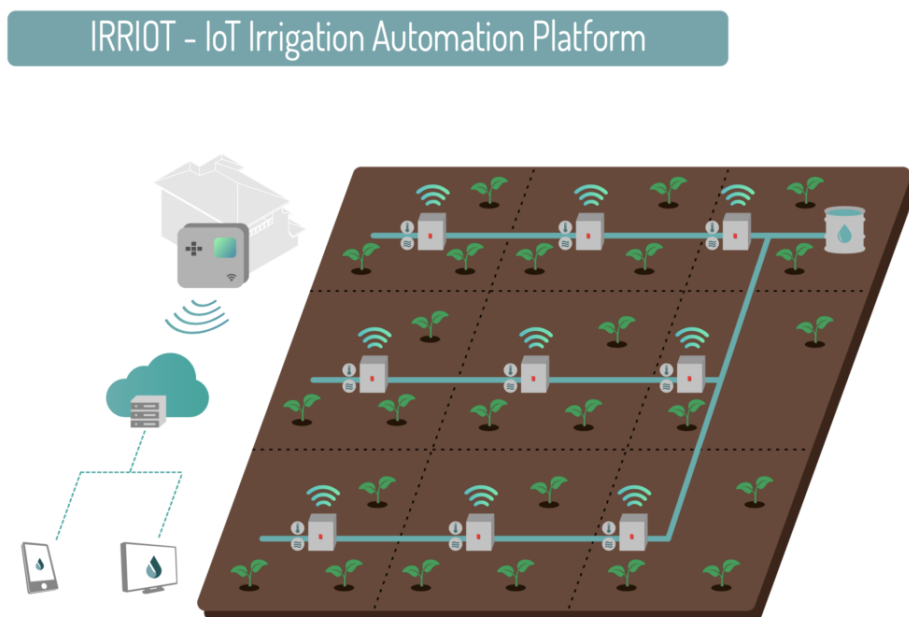
Sample Station Layout



Obrázek 2.2: Schéma zavlažovacího ovladače Rain Bird řady ESP

2.2.2 IRRIOT

Společnost IRRIOT nabízí moderní systém automatického zavlažování (obr. 2.3), který funguje na základě dat získaných z různých senzorů - zejména senzorů vlhkosti půdy, vzduchu a případně i teploty. Tento systém umožňuje efektivní a úsporné řízení zavlažování bez nutnosti neustálého zásahu člověka. Součástí systému je vlastní mobilní aplikace, která uživateli umožňuje vzdálený dohled a správu zavlažovacího procesu v reálném čase. Díky integraci do IoT infrastruktury je možné sbírat, analyzovat a využívat data pro optimalizaci celého provozu. Je systém určen pro instalaci ve sklenících, halách nebo jiných krytých prostorách [7].



Obrázek 2.3: IRRIoT AB Bezdrátový ovladač s RTU a cloudovým monitorovacím systémem

Mnoho systémů automatického zavlažování je navrhováno primárně pro průmyslové využití, avšak jen málo z nich je přizpůsobeno pro instalaci v soukromých zahradách. Trh těchto technologií se však neustále rozšiřuje, protože stále více amatérských zahrádkářů požaduje stejné možnosti, jaké mají velké společnosti. Moduly podobné těm, které se používají v průmyslové automatizaci, se nyní nabízejí i běžným uživatelům. Tyto systémy mají však své specifické výhody i nevýhody.

2.2.3 Gardena

Společnost Gardena vytvořila senzor vlhkosti půdy s číselným označením 1867-20 (obr. 2.4), určený pro instalaci v soukromých zahradách. Celý systém automatického zavlažování, který společnost nabízí, se skládá z několika prvků, přičemž senzor je hlavním spouštěčem zavlažovacího cyklu. Senzor odesílá svá data do malého počítače umístěného na vodovodním potrubí, který spouští čerpadlo. Tento přístup také pomáhá šetřit vodu, protože zavlažování probíhá pouze tehdy, když procento vlhkosti klesne pod kritickou prahovou hodnotu, kterou si uživatel nastaví sám [8].



Obrázek 2.4: Gardena Senzor půdní vlhkosti (1867-20)

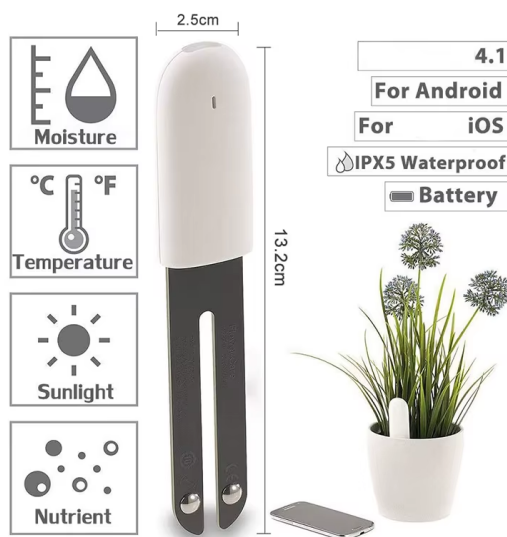
2 ANALÝZA EXISTUJÍCÍCH KOMERČNÍCH ŘEŠENÍ

Tento systém je určen k instalaci na zahradě a nabízí dostatečnou mobilitu (flexibilitu) při umístění senzoru díky dlouhému pětimetrovému kabelu. Pro přesné sledování různých částí zahrady však jeden takový senzor nestačí, což může být problém vzhledem k jeho ceně. Takový senzor stojí přibližně 1400 Kč, přičemž tato částka nezahrnuje ostatní součásti zavlažovacího systému, jako například počítač pro řízení čerpadla [8].

2.2.4 Xiaomi

Xiaomi RoPot a Mi Flora – nabídka pro pokojové rostliny od společnosti Xiaomi (obr. 2.5, obr. 2.6). Jedná se o dvě různá zařízení z jedné produktové řady, každé dostupné jak v čínské, tak i v mezinárodní verzi. Tyto systémy jsou kompatibilní s běžnými aplikacemi chytré domácnosti Xiaomi, což uživatelům usnadňuje správu. Mi Flora je multifunkční senzor, který se zapichuje do půdy pokojové rostliny v květináči. RoPot je celý květináč, do kterého jsou zabudovány senzory. První zařízení má senzory osvětlení, vlhkosti půdy, úrodnosti půdy a teploty, zatímco druhé disponuje pouze senzory vlhkosti půdy a úrodnosti půdy.

Obě tato zařízení však představují spíše systém pro monitoring stavu rostliny – uživatelé poskytují informace a upozornění, ale nezasahují aktivně do regulace podmínek. To znamená, že případné úpravy mikroklimatu, jako je zavlažování, přisvětlování nebo regulace teploty, musí být provedeny ručně uživatelem, případně pomocí dalších externích nástrojů [9, 10].



Obrázek 2.5: Zařízení Xiaomi Mi Flora, Bluetooth Flower Care [11]



Obrázek 2.6: Zařízení Xiaomi RoPot, Smart Flower Pot [12]

2.2.5 Smart Garden (Bentech)

Na trhu existuje velké množství systémů typu Smart Garden od různých výrobců. Jako příklad lze uvést Smart Garden CM01 od společnosti Bentech (obr. 2.7). Tento systém je vybaven senzorem vody a světla, což vytváří příznivé podmínky pro růst a vývoj rostlin. Systém kombinuje světla různých barev, které podle výrobce pomáhají rychlejšímu růstu rostlin než při běžném denním světle. Zařízení má otevřenou konstrukci, avšak nádoby na sazenice jsou poměrně malé. Je nutné sledovat stav kořenového systému každé rostliny a včas je přesazovat. Cena zařízení Smart Garden CM01 činí přibližně 1500 Kč, avšak v závislosti na výrobcu a modelu se cena systémů Smart Garden může výrazně lišit. Popisované zařízení patří mezi modernější a dražší varianty [13].



Obrázek 2.7: Smart Garden CM01 Bentech

Každý z těchto systémů má své zjevné výhody a nevýhody. Liší se materiály, ze kterých jsou vyrobeny, liší se svými rozměry, funkcí a v neposlední řadě i cenově.

Když existuje široká nabídka na trhu, ne všichni zahrádkáři najdou kombinaci, která by plně vyhovovala jejich specifickým potřebám. Proto je pochopitelné, že existuje mnoho individuálních „autorských“ projektů. Mnozí nadšenci, kteří si sami vytvářeli systémy automatického zavlažování a kontroly mikroklimatu, se snažili převzít nejdůležitější pozitivní vlastnosti již hotových komerčních řešení. V rámci této práce se rovněž pokusíme inspirovat těmito příklady a vytvořit vlastní, unikátní variantu systému pro regulaci mikroklimatu. Naším cílem je navrhnout řešení, které bude nejen funkční, ale také cenově dostupné, uživatelsky přívětivé a snadno implementovatelné.

3 Návrh vlastního řešení

Po analýze existujících komerčních řešení a klasifikací skleníků mohou být požadavky pro naši práci jasně formulovány. Tyto požadavky rozdělíme do několika tematických oblastí a stručně představíme způsoby, jak se je pokusíme splnit.

3.1 Vzhled a konstrukce

Naším cílem je vytvořit zmenšený a plně funkční model běžného skleníku, který bude zároveň esteticky atraktivní a praktický. Plánujeme vytvořit klasický jednoprostorový tvar, protože to je jednoduchý a efektivní typ konstrukcí. Jako krycí materiál zvolíme polykarbonát, který díky své vysoké průhlednosti, nízké hmotnosti a odolnosti vůči mechanickému poškození i vlivům prostředí patří mezi nejoblíbenější materiály. Tyto vlastnosti nám umožní vytvořit model poskytující vhodné podmínky pro pěstování rostlin, a to i při jeho kompaktní velikosti.

Naším záměrem však je, aby tato verze skleníku byla výrazně menší než i ty nejmenší zahradní skleníky. Díky tomu bude možné model snadno umístit v bytě, na stole nebo polici, aniž by zabíral příliš mnoho místa. Zároveň klademe důraz na mobilitu a snadnou manipulaci. Konstrukce by měla být lehká a přenosná, aby ji uživatel mohl kdykoliv přemístit podle svých potřeb. Dalším klíčovým požadavkem je energetická nezávislost. Model by měl být schopen fungovat bez nutnosti stálého připojení k elektrické síti, což zvyšuje jeho univerzálnost a usnadňuje použití v různých podmínkách.

Pro splnění všech těchto požadavků navrhujeme konstrukci sami, přičemž zohledníme rozměry a hmotnost elektroniky, která bude integrována uvnitř, stejně jako prostor pro květináče a další případné součástky. Konstrukce bude optimalizována tak, aby byla pevná, ale zároveň lehká. Hlavní rám bude následně vyříznut pomocí laseru, což nám poskytne vysokou přesnost a flexibilitu při realizaci návrhu. Použité programy, metody a materiály pro modelování a řezání budou detailně popsány v příslušné kapitole, aby byla zajištěna plná transparentnost procesu a možnost jeho případného opakování nebo modifikace.

Pro inspiraci uvádíme příklady některých individuálních projektů s podobnou tematikou. Tyto návrhy se vizuálně i koncepčně blíží tomu, čeho bychom chtěli dosáhnout, a poskytují užitečný pohled na to, jak by mohl výsledný model vypadat. Některé z těchto projektů také slouží jako důkaz toho, že i s omezenými prostředky je možné vytvořit funkční a esteticky zajímavé zařízení (obr. 3.1, obr. 3.2).



Obrázek 3.1: Příklad vzhledu modelu č. 1 [14]



Obrázek 3.2: Příklad vzhledu modelu č. 2 [15]

3.2 Podmínky pro růst rostlin a požadované klimatické charakteristiky

Než budou vybrány konkrétní modely senzorů nebo jiných elektronických modulů a součástí, je důležité nejprve stanovit seznam úkolů, které by měla elektronika našeho modelu plnit. V tomto případě bude hlavním úkolem elektroniky měřit, kontrolovat a měnit hodnoty, které hrají klíčovou roli při růstu a vývoji rostlin. Mezi tyto hodnoty patří: teplota, čas, vlhkost půdy a vzduchu a intenzita světla. Na začátku je třeba pochopit, v jakých mezích těchto parametrů bude pracováno. Na základě toho budou vybrány elektronické součástky, které budou nejvhodnější pro konkrétní potřeby a cíle. Protože uvnitř boxu bude jeden společný prostor a nebude dělen na menší sekce, rostliny umístěné uvnitř by měly mít podobné podmínky pro pěstování. Zároveň by měl model nabízet alespoň dva globální režimy. První režim by měl nastavit mikroklima uvnitř boxu tak, aby vyhovovalo sukulentům, zatímco druhý režim by měl být přizpůsoben pro pěstování microgreens. Pro ladění a testování byly vybrány rostliny pro každý z plánovaných režimů. Již při výběru jsme se zaměřili na rostliny s podobnými klimatickými požadavky, aby bylo zajištěno, že podmínky v jednom prostoru budou pro ně optimální. Informace o pěstování rostlin byly čerpány z veřejně dostupných zdrojů, jako jsou internet, knihy a články, a částečně také z vlastních zkušeností s pěstováním těchto rostlin v domácích podmínkách. Všechna tvrzení týkající se vhodných podmínek pro konkrétní druhy rostlin jsou založena na souhrnu těchto informací.

3.2.1 Sukulenty

Pro první režim (Sukulenty) jsme vybrali rostliny: *Haworthiopsis limifolia* (obr. 3.3) a *Crassula ovata* (obr. 3.4). V tabulce níže (Tabulka 3.1) jsme přehledně porovnali základní charakteristiky těchto dvou druhů a jejich individuální optimální podmínky pro pěstování.

3 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ



Obrázek 3.3: Haworthiopsis limifolia [16]



Obrázek 3.4: Crassula ovata [17]

Tabulka 3.1: Optimální podmínky pro pěstování Haworthiopsis limifolia a Crassula ovata [18, 19]

Charakteristika	Crassula ovata	Haworthiopsis limifolia
Čeď	Tlusticovité (Crassulaceae)	Asfodelovité (Asphodelaceae)
Osvětlení	Jasně rozptýlené světlo nebo přímé slunce	Jasně světlo, snáší polostín
Zalévání	Řídké, s vysycháním substrátu.	Řídké, obzvláště citlivé na přebytek vody
Teplotní režim	Optimální: +18–24 °C, ale vydrží až do +5 °C	Optimální: +15–25 °C, ale vydrží až do +10 °C

Optimální podmínky pro společné pěstování zvolených sukulentů (*Crassula ovata* a *Haworthiopsis limifolia*) (podle [20, 21]):

- Osvětlení: Obě rostliny potřebují jasné světlo alespoň 7 hodin denně. Dlouhodobé vystavení přímým slunečním paprskům může rostliny poškodit, proto je pro ně lepší rozptýlené světlo. To lze snadno zajistit díky poloprůhlednému materiálu skleníku. Dodatečné osvětlení by mělo být přidáváno opatrně, aby nedošlo k přehřátí nebo přemíře světla.
- Teplota: Pro obě rostliny stačí udržovat teplotu mezi +18 a +25 °C po celý rok. Je důležité se vyhnout náhlým teplotním výkyvům, což by mohlo negativně ovlivnit růst rostlin.
- Zalévání: Zalévání by mělo být standardně jednou za 2-3 týdny. Je nezbytné zajistit, aby půda mezi zálivkami vyschla skoro úplně. Nadměrná vlhkost by mohla poškodit kořeny a vést k hnilobě.
- Vlhkost: Vlhkost vzduchu by měla být mírná, v průměru mezi 40-60 %. Příliš vysoká vlhkost může vést k problémům s kořeny a listy, zatímco příliš nízká může omezit růst rostlin.

3.2.2 Microgreens

Pro druhý režim (Microgreens) bylo vybráno několik odrůd jednoho druhu *Raphanus sativus* (obr. 3.5) (Ředkev Red Rambo, Ředkev Daikon, Ředkev Rose) a také jedna odrůda jiného druhu *Helianthus annuus* (obr. 3.6). Stejně jako u prvního režimu provedeme krátkou analýzu charakteristik (Tabulka 3.2) těchto druhů rostlin a jejich optimálních podmínek pro pěstování.



Obrázek 3.5: *Raphanus sativus* [22]



Obrázek 3.6: *Helianthus annuus* [22]

Tabulka 3.2: Optimální podmínky pro pěstování *Raphanus sativus* a *Helianthus annuus* [23]

Charakteristika	<i>Raphanus sativus</i> (Ředkvička)	<i>Helianthus annuus</i> (Slunečnice)
Čeleď	Brukvovité (Brassicaceae)	Hvězdicovité (Asteraceae)
Osvětlení	Mírné osvětlení, dobře roste při rozptýleném světle	Vyžaduje jasné světlo pro aktivní růst
Zalévání	Mírné	Mírné
Teplotní režim	Optimální: +18–24 °C, ale vydrží až do +15 °C	Optimální: +20–25 °C, ale vydrží až do +15 °C

Optimální podmínky pro společné pěstování zvolených microgreens (*Raphanus sativus* a *Helianthus annuus*) (podle [24, 25]):

- Osvětlení: Obě rostliny potřebují jasné, rozptýlené světlo alespoň 11–12 hodin denně po vyklíčení. Před vyklíčením však vyžadují několik dní tmu.
- Teplota: Stačí udržovat teplotu v rozmezí +20–25 °C během celého cyklu růstu, což je optimální jak před vyklíčením, tak po něm. Taková teplota podporuje rychlý růst a zdravý vývoj rostlin.
- Zalévání: Rostliny je třeba zalévat denně nebo každé 1-2 dny, aby substrát zůstal mírně vlhký, zejména v raných fázích růstu. Příliš suchý substrát může zpomalit klíčení, zatímco nadměrná vlhkost by mohla vést k hnilobě kořenů.

3 NÁVRH VLASTNÍHO ŘEŠENÍ

- Vlhkost: Vysoká vlhkost (více než 80 %) je potřebná do doby, než rostliny vyklíčí. Po vyklíčení je třeba vlhkost snížit na 50–80% a tuto úroveň udržovat po zbytek růstového cyklu. Vysoká vlhkost před klíčením podporuje lepší klíčení semen, zatímco střední vlhkost po něm zabraňuje hnilobě a podporuje zdravý růst.

Budeme se snažit zajistit tyto podmínky pomocí našeho modelu. K tomu bude nutné sledovat všechny potřebné údaje a kontrolovat jednotlivé charakteristiky mikroklimatu, jako jsou teplota, vlhkost vzduchu a půdy, a další. Pro tento účel budou použity senzory pro měření jednotlivých veličin, RTC a další kontrolní prvky. V některých případech bude systém přímo ovlivňovat charakteristiku prostředí (například upravovat teplotu nebo vlhkost), v jiných případech bude pouze signalizovat a upozorňovat uživatele. Díky vypracovaným plánům pro každý režim bude nyní možné přistoupit k samotnému návrhu našeho modelu skleníku. Na základě těchto požadavků budou vybrány senzory a kontrolní prvky mikroklimatu, které zajistí optimální podmínky pro růst rostlin. O konkrétních elektronických komponentách a o detailech jejich výběru bude napsáno v následujících kapitolách.

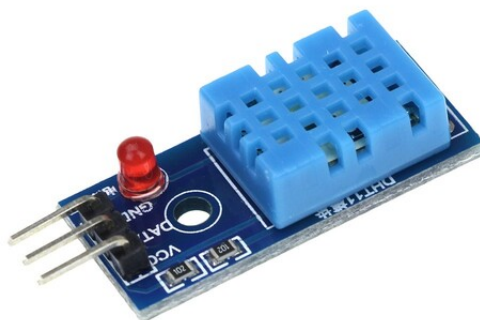
4 Senzory a prvky kontroly mikroklimatu

4.1 Senzory a Arduino

Byly vybrány senzory pro základní charakteristiky, které jsou považovány za důležité (teplota, vlhkost vzduchu, vlhkost půdy a intenzita světla). Hlavními kritérii při výběru komponent byla dostupnost na trhu a nízká cena. Byla provedena krátká analýza výhod a nevýhod, na jejímž základě bylo ověřeno, že popsané nevýhody nebudou pro práci zásadní a budou mít pouze malý vliv na získaná data. Vybrané komponenty jsou považovány za vyhovující pro naše účely.

4.1.1 Teplota a vlhkost vzduchu: DHT11

- Popis: Kombinovaný senzor pro měření teploty a vlhkosti vzduchu (podle [26]).
- Výhody:
 - Snadné připojení.
 - Nízká cena.
 - Dostatečně široký rozsah měření vlhkosti vzduchu.
- Nevýhody:
 - Pomalejší aktualizace dat (1–2 sekundy).
 - Omezený rozsah teplot: (-20 °C až +60 °C).



Obrázek 4.1: DHT11 Kombinovaný senzor pro měření teploty a vlhkosti vzduchu [27]

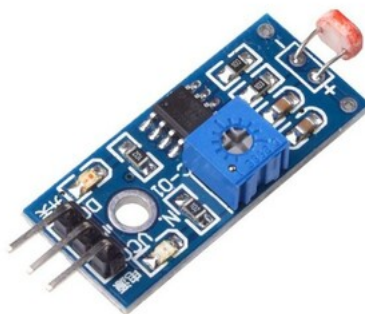
Model nebude používán pro výzkumné účely, a proto bude rychlost aktualizace dat 1–2 sekundy považována za přijatelnou. Za běžných podmínek je teplota měněna zřídka tak prudce, aby byl výrazně ovlivněn výsledek práce regulačního systému. Pro laboratorní použití by samozřejmě měla být rychlost aktualizace dat vyšší.

Rozsah okolních teplot je zcela odpovídající provoznímu rozsahu teplot senzoru. Menší interval ve srovnání s jinými senzory nebude považován za problém.

Existuje několik knihoven, které jsou vytvořeny pro práci se senzory DHT11 a DHT22. Všechny umožňují práci se senzory teploty a vlhkosti, ale liší se funkcionalitou, jednoduchostí použití a výkonem. Mezi nejpopulárnější knihovny patří: Adafruit DHT Sensor Library, DHT-Lib, SimpleDHT [28]. Rozhodli jsme se použít knihovnu Adafruit DHT Sensor Library, protože z uvedených možností je považována za nejprověřenější a široce používanou. Tato knihovna je charakterizována spolehlivostí, snadným použitím a bohatou dokumentací, která umožňuje rychlé pochopení a implementaci. Navíc je zajišťována vysoká kompatibilita s většinou hardwarových komponent, což minimalizuje problémy při integraci do různých modelů. Díky těmto vlastnostem je považována za ideální volbu jak pro začátečníky, tak pro zkušené vývojáře [29].

4.1.2 Intenzita světla: LM393

- Popis: Senzor pro měření úrovně osvětlení (podle [30]).
- Výhody:
 - Vysoká přesnost.
 - Rozsah 0,1–65535 luxů.
 - Připojení přes I2C, což snižuje počet vodičů.
- Nevýhody:
 - Nepracuje při velmi nízké úrovni osvětlení (méně než 0,1 luxu).
 - Citlivost na znečištění povrchu senzoru.



Obrázek 4.2: LM393 Senzor pro měření úrovně osvětlení [30]

Nebude potřeba zkoumat rozdíly v úrovni osvětlení v intervalech menších než 0,1 luxu. Ve všech případech, kdy je příliš nízká intenzita osvětlení zaznamenána senzorem, bude programem tato situace vyhodnocena jako „nedostatečné osvětlení“.

Senzor bude umístěn v uzavřeném prostoru uvnitř skleníku, a proto je pravděpodobnost jeho rychlého znečištění prachem nebo jinými faktory považována za poměrně malou. Měřicí část senzoru nebude zakryta uvnitř pouzdra, takže ji bude možné v případě potřeby vyčistit, aby byla obnovena přesnost měření.

Pro senzor LM393 není potřeba žádná speciální knihovna v Arduino IDE, protože tento senzor pracuje jako jednoduchý analogový nebo digitální převodník [31].

Pokud připojíme výstup senzoru LM393 na analogový vstup Arduina, získáme hodnotu, která odpovídá intenzitě světla. Tato hodnota je ve formě napětí, které Arduino převádí na číslo v rozsahu od 0 do 1023 (při standardním rozlišení 10 bitů).

4.1.3 Vlhkost půdy: Capacitive Soil Moisture Sensor

- Popis: Kapacitní senzor pro měření vlhkosti půdy (podle [32]).
- Výhody:
 - Odolný vůči korozi.
 - Postačující přesnost a dlouhá životnost.
 - Snadné připojení a čtení signálu (analogový signál).
 - Nízká spotřeba energie, ideální pro autonomní zařízení.
- Nevýhody:
 - Kapacitní senzory mohou být náchylné k elektromagnetickým rušením z okolní elektroniky.
 - Může vyžadovat kalibraci pro různé typy půdy.
 - Obvykle se používá pouze pro horní vrstvu půdy (2-5 cm).



Obrázek 4.3: Capacitive Soil Moisture Sensor - Kapacitní senzor pro měření vlhkosti půdy [32]

Při použití skleníku je hloubka výsadby rostlin omezena, takže by nebylo nutné měřit vlhkost půdy v hloubce větší než 5 cm.

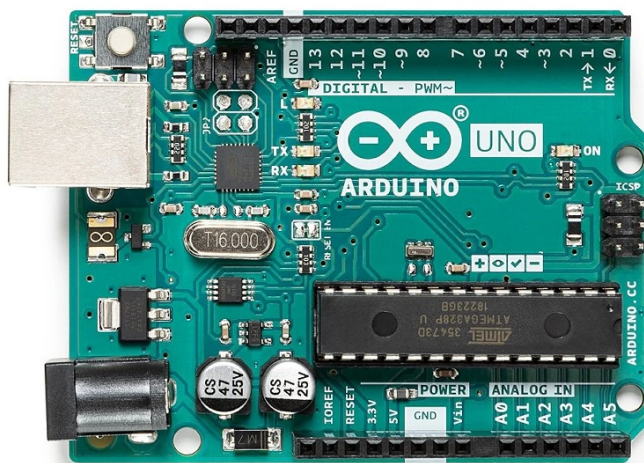
Elektrické šумы, i když mohou ovlivnit přesnost signálu, by neměly být pro běžné použití považovány za kritické, zejména v uzavřených prostorách, kde jsou vnější zdroje rušení omezené. V těchto podmínkách je signál senzoru hodnocen jako dostatečně stabilní pro spolehlivé měření. Proto lze tvrdit, že výhody tohoto senzoru, jako je jeho odolnost vůči korozi, nízká spotřeba energie a snadné použití, jsou považovány za převažující nad nevýhodami, jako je náchylnost k elektromagnetickému rušení.

Pro Capacitive Soil Moisture Sensor nejsou specifické knihovny uvedeny. Kapacitní senzor poskytuje analogový signál, který může být čten pomocí funkce `analogRead` bez nutnosti použití dalších knihoven. Úroveň vlhkosti je vyjádřena hodnotami od 0 do 1023 (při 10bitovém ADC, kterým je Arduino UNO vybaveno) [1].

Mohou být použity univerzální knihovny, které usnadňují zpracování analogových signálů, filtraci nebo mapování. Například: `RunningAverage` - pro vyhlazování hodnot, `Filters` - knihovna pro digitální filtraci signálu.

4.1.4 Hlavní řídicí jednotka: Arduino UNO

Jako hlavní řídicí jednotka v této práci bude použita deska Arduino UNO (obr. 4.4). Arduino UNO je považováno za jeden z nejpopulárnějších modelů desek Arduino, který je založen na mikroprocesoru ATmega328P. Deska je hodnocena jako univerzální a snadno použitelná, což ji činí vhodnou pro začátečníky i zkušené uživatele, kteří potřebují flexibilní a efektivní řešení pro různé typy prací. Díky svým kompaktním rozměrům a dostupnosti velkého počtu rozšíření a periférií je Arduino UNO označováno za ideální volbu pro širokou škálu aplikací. Velkou výhodou tohoto modelu je přítomnost rozsáhlé komunity, která poskytuje podporu, knihovny, příklady kódů, návody a dokumentaci, což významně usnadňuje vývoj a řešení případných problémů [33].



Obrázek 4.4: Arduino UNO - Original

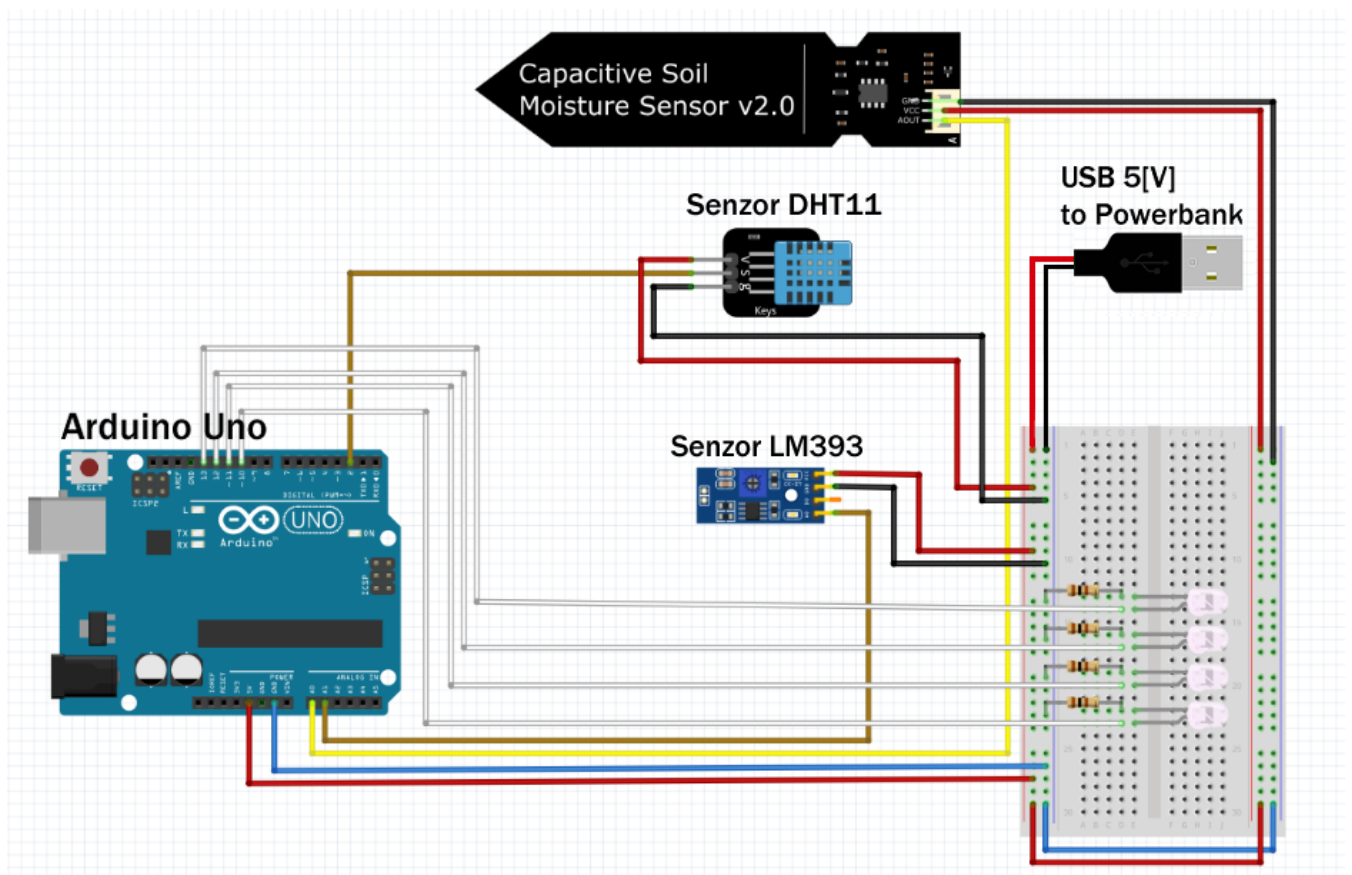
Arduino UNO je kompatibilní s mnoha senzory, moduly a rozšiřujícími deskami (shields), což z něj činí univerzální nástroj, který lze využít pro různé úkoly. Deska je vybavena 14 digitálními vstupními/výstupními piny (z nichž 6 podporuje PWM), 6 analogovými vstupy, USB portem pro programování a napájení, napájecím konektorem (9–12 V) a jednoduchou architekturou, která umožňuje rychlé prototypování.

Připojení je realizováno prostřednictvím USB, a není tak zapotřebí externí programátor. Množství vstupů a výstupů je pro naše účely považováno za dostatečné. I když existují menší kontroléry Arduino (například Arduino NANO), dostatek prostoru pro pohodlné umístění desky v krytu umožňuje použít model UNO, přičemž formát desky nebyl v této práci považován za kritické kritérium.

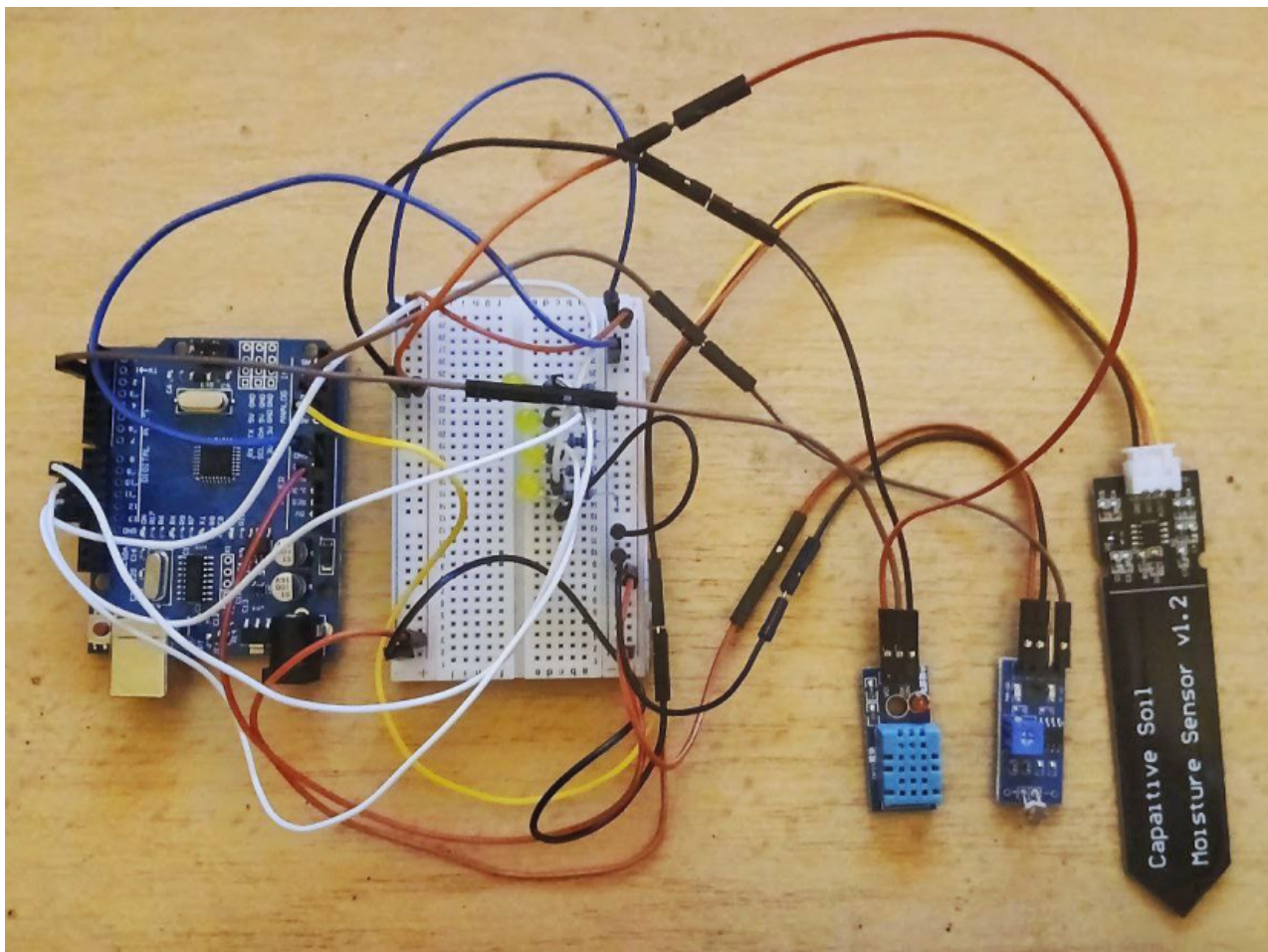
Jako jeden z nedostatků je absence vestavěné podpory pro Wifi nebo Bluetooth. Pokud bude vyžadováno nastavení upozornění pro uživatele prostřednictvím některé z těchto metod, budou muset být použity další moduly pro připojení k bezdrátovým sítím [34].

4.1.5 Připojení senzorů a ověření správnosti čtení dat

Prototyp byl nejprve sestaven připojením všech senzorů, aby byla ověřena správnost jejich fungování. Připojení bylo realizováno podle schémat uvedených v uživatelských příručkách jednotlivých komponent. Následně byly přidány diody, které by reagovali v závislosti na hodnotách získaných ze senzorů, což mělo sloužit jako „náčrt“ budoucího systému. Pro přehlednost a možnost využití v rámci jiné práce bylo schéma připojení vytvořeno v programu Fritzing.



Obrázek 4.5: Schéma připojení senzorů v programu Fritzing (Vlastní tvorba)



Obrázek 4.6: Foto zapojení snímače dle odpovídajícího schématu (Vlastní tvorba)

Hodnoty veličin použitých v kódu nejsou totožné s těmi, které používáme v režimech skenování. Hodnoty z kódu slouží k ověření správné funkčnosti senzorů. Prahové hodnoty byly zvoleny tak, aby jejich překročení bylo možné zajistit v domácích podmínkách.

V Arduino IDE byl vytvořen malý kód pro ověření funkčnosti schématu. Napájení je prozatím zajištěno z elektrické sítě prostřednictvím USB, aby bylo usnadněno kompilování a nahrávání kódu. Kód je uveden v příloze.

4.2 Nástroje pro výběr režimu

V této části byl implementován displej a joystick, které umožňují uživateli vybírat různé režimy práce systému a provádět základní nastavení parametrů. Kromě toho byl přidán modul RTC, který umožňuje systému sledovat aktuální čas a datum, což je klíčové pro plánování a nastavení časovačů zavlažovacího systému.

Byla navržena a realizována řídicí soustava, která kombinuje použití displeje, joysticku, senzorů, LCD a modulu RTC. Tato struktura nejenže zajišťuje interaktivní ovládání, ale zároveň umožňuje sběr dat a jejich prezentaci v reálném čase. Kód, který implementuje tuto funkcionalitu, je uveden v příloze.

4.2.1 LCD displej

Displej 16x2 může být k Arduino připojen pomocí I2C driveru, což výrazně zjednodušuje zapojení a zároveň snižuje počet potřebných pinů na samotné desce mikrokontroléru. Zatímco běžné paralelní připojení LCD vyžaduje až 6 digitálních pinů, I2C verze využívá pouze dva - SDA (datový) a SCL (hodinový) - což umožňuje efektivnější využití zbývajících pinů pro jiné senzory a moduly.

I2C driver, který je obvykle tvořen malou deskou s čipem PCF8574, je připojen přímo k zadní straně LCD displeje prostřednictvím standardního 16pinového rozhraní (obr. 4.7; podle [35]).

V Arduino IDE je pro komunikaci s tímto typem displeje potřeba nainstalovat knihovnu `LiquidCrystal_I2C`, která poskytuje jednoduché funkce pro inicializaci displeje, zápis textu, nastavování kurzoru a další běžné operace. Díky této knihovně je práce s I2C LCD velmi přehledná a intuitivní, což usnadňuje vývoj a ladění uživatelského rozhraní projektu [36].

- Výhody připojení přes I2C driver:
 - Úspora pinů Arduina – pro displej se používají pouze 2 linky (SDA a SCL).
 - Jednoduché připojení – méně vodičů a složitých spojení.
 - Podpora více I2C zařízení – na jednu sběrnici I2C lze připojit více zařízení (například senzory a displej).
- Nevýhody připojení přes I2C driver:
 - Závislost na knihovnách - pro správnou funkci LCD je potřeba použít specifickou knihovnu (např. `LiquidCrystal_I2C`).
 - Rychlost komunikace - přenos dat přes I2C je pomalejší než přímé paralelní připojení LCD, což může vést k mírnému zpoždění při aktualizaci displeje.



Obrázek 4.7: LCD displej 16x2 a odpovídající I2C driver

4.2.2 RTC (Real-Time Clock) DS3231

RTC DS3231 je vysoce přesný modul reálného času, který slouží ke sledování času a dat i při výpadku napájení díky záložní baterii (obr. 4.8). Modul využívá teplotně kompenzovaný krystalový oscilátor (TCXO), což zajišťuje minimální odchylky. Komunikace probíhá přes rozhraní I2C, což umožňuje snadné připojení k mikrokontrolérům, jako je Arduino. Modul je vybaven také funkcí alarmu pro spouštění událostí v nastavených časech a integrovaným senzorem teploty. DS3231 je ideální pro časovače, plánovače a systémy automatizace [37].

- Výhody:
 - Vysoká přesnost času: Díky teplotně kompenzovanému krystalovému oscilátoru (TCXO) má modul velmi malou odchylku.
 - Nízká spotřeba energie: Umožňuje delší životnost záložní baterie.
- Nevýhody:
 - Omezená paměť pro data: Obsahuje vestavěnou EEPROM, ale její kapacita je malá, což může být nedostatečné pro složitější aplikace.



Obrázek 4.8: RTC DS3231

4.2.3 Joystick

Joystick je ovládací prvek, který umožňuje detekovat pohyb ve dvou osách (x a y) a často obsahuje také tlačítko, které reaguje na stisk (obr. 4.9). Typické joysticky pro Arduino využívají potenciometry k měření úhlové polohy páčky, což generuje analogové signály. Připojuje se k pinům na Arduino pro osy x a y a tlačítko se připojuje k digitálnímu pinu.

V našem případě byl zvolen právě joystick z několika důvodů. Za prvé, jeden takový joystick byl již k dispozici. Za druhé, tento joystick nabízí poměrně široké možnosti využití, kromě volby směru obsahuje také integrované tlačítko. Pokud by byl nahrazen jinými součástkami, bylo by zapotřebí použít minimálně dvě z nich, což by zabíralo více místa a komplikovalo jejich umístění na konstrukci modelu [38].

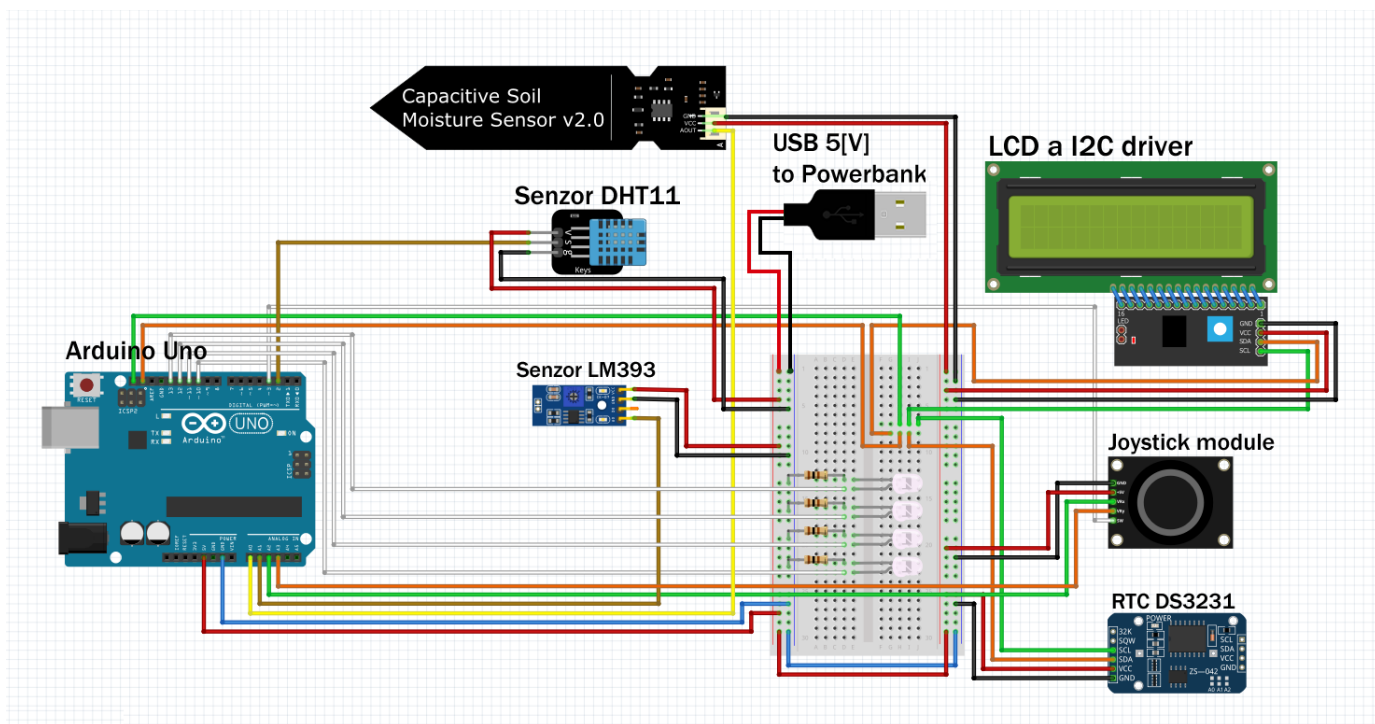
- Výhody:
 - Snadné použití: Díky analogovému výstupu je připojení jednoduché a kompatibilní s Arduinem.
 - Intuitivní ovládání: Umožňuje plynulé řízení pohybu nebo ovládání.
 - Nízká cena: Joysticky jsou široce dostupné a cenově příznivé.
 - Kompaktní rozměry: Díky malým rozměrům se snadno integrují i do menších projektových krabiček nebo modelů bez výrazného navýšení objemu zařízení.

- Nevýhody:
 - Citlivost na mechanické opotřebení: Potenciometry se mohou časem opotřebovat, což vede k nepřesnostem.
 - Omezená přesnost: Není ideální pro aplikace, které vyžadují velmi přesná měření.
 - Přítomnost analogového šumu: Analogové výstupy mohou být ovlivněny rušením, což může zhoršit kvalitu signálu.

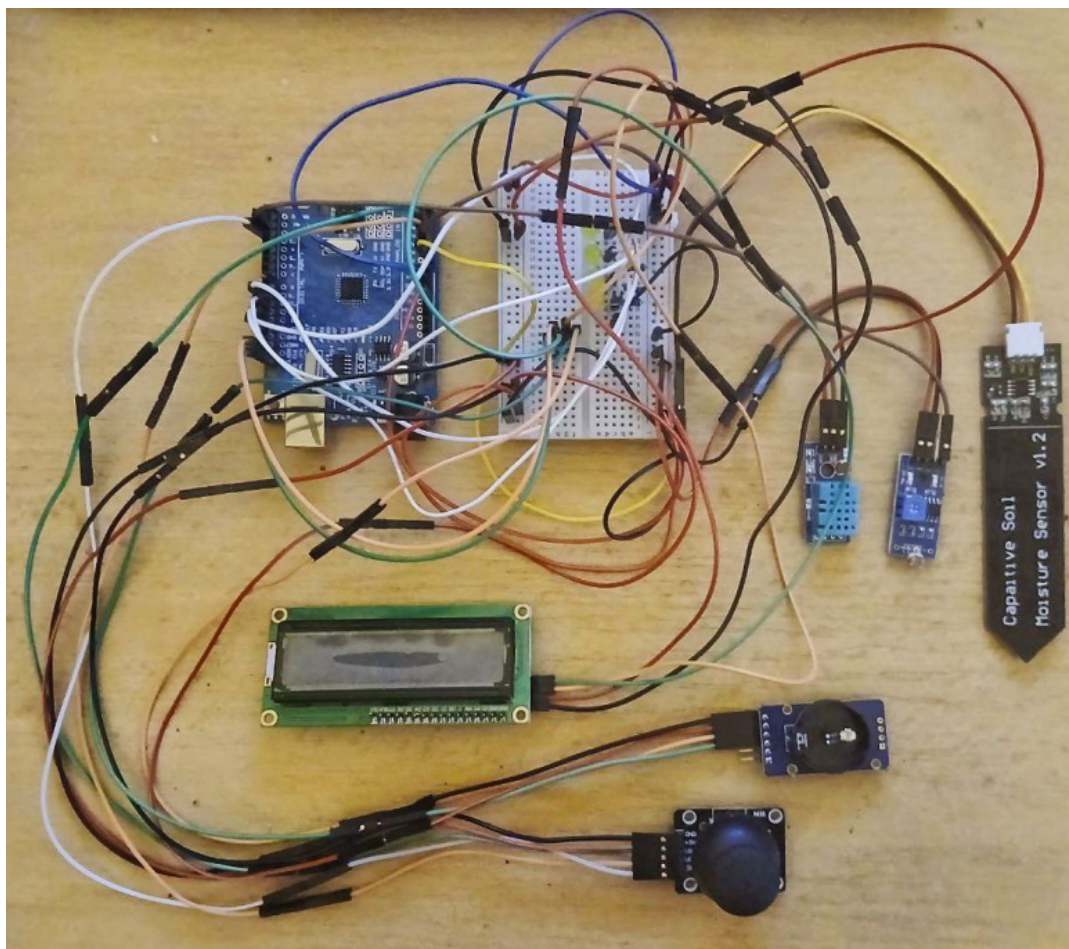


Obrázek 4.9: Arduino joystick module

Dále je uvedeno schéma zapojení všech výše zmíněných přídatných prvků, což usnadňuje pochopení funkce jednotlivých částí systému a jejich vzájemné spolupráce. Zároveň toto schéma může sloužit jako praktický návod pro případnou replikaci nebo další úpravy projektu. Díky vizuálnímu zobrazení propojení komponent je možné lépe porozumět celkové struktuře a logice řízení celého zařízení.



Obrázek 4.10: Schéma zapojení zmíněných komponent v programu Fritzing (Vlastní tvorba)



Obrázek 4.11: Foto zapojení komponent dle odpovídajícího schématu (Vlastní tvorba)

Systém poskytuje následující možnosti:

- Interaktivní ovládání pomocí joysticku a displeje:
 - Uživatel může vybírat režimy práce systému (například „Microgreens“ nebo „Sukulenty“).
 - Na displeji je zobrazeno aktuální nastavení a hodnoty senzorů (teplota, vlhkost vzduchu, vlhkost půdy, intenzita osvětlení).
 - Je realizováno přepínání mezi režimy a zobrazení dat v reálném čase.
- Připojení RTC:
 - RTC umožňuje systému sledovat aktuální datum a čas i při vypnutí napájení.
 - To umožňuje plánování činnosti, například aktivaci zařízení v určitém časovém období.
- Indikace stavu pomocí LED:
 - LED diody indikují překročení nebo nesoulad parametrů, jako je teplota, vlhkost, úroveň osvětlení nebo vlhkost půdy v závislosti na vybraném režimu.

S již připravenou logikou systému a správnou reakcí na určité hodnoty senzorů bude snadnější přidávat kroky pro kontrolu mikroklimatu a nastavovat jejich funkci. S aktuální strukturou kódu je systém připraven na integraci dalších prvků pro kontrolu a automatizaci. Pro zajištění optimálního mikroklimatu ve skleníku je nutné použít různé kontrolní a regulační prvky, které umožňují automaticky udržovat požadované podmínky. V další kapitole se podíváme na regulační komponenty systému - topné prvky, ventilaci a další zařízení, která zajistí stabilní provoz skleníku.

4.3 Prvky kontroly mikroklimatu

- Čerpadla pro kapkové zavlažování:
 - Použití dat o vlhkosti půdy pro automatické spuštění čerpadla za určitých podmínek.
 - Možnost nastavení času zavlažování prostřednictvím rozhraní.
- Topné prvky:
 - Kontrola teploty v místnosti a aktivace topení při poklesu teploty pod nastavenou hodnotu.
- Motor s ventilátorem pro snížení vlhkosti vzduchu:
 - Automatické zapnutí při překročení nastavené úrovně vlhkosti vzduchu.
 - Ovládání rychlosti ventilátoru podle aktuální úrovně vlhkosti.
- Servomotory pro automatické ovládání oken:
 - Otevírání a zavírání oken podle teploty a úrovně vlhkosti vzduchu.

Dále bude rozebráno připojení všech uvedených komponent, zmíněny a popsány konkrétní modely vybraných komponent.

Komponenty, jako jsou čerpadla a topné prvky, vyžadují pro správnou funkci relativně vysoké napětí a proud. Jejich přímé připojení k desce Arduino je nebezpečné a může také vést k přetížení a následnému poškození jak samotných komponent, tak i mikrokontroléru. Proto by měl být použit samostatný zdroj napájení, který odpovídá požadavkům připojených zařízení. Pro bezpečné spínání tohoto obvodu bez rizika pro desku Arduino je však nutné využít prvek, který tuto zátěž zvládne.

Vhodným způsobem řízení v takovém případě je použití relé. Relé umožňuje rozpojovat a spojovat napájecí obvod zátěže podle signálu z Arduina a zároveň zajišťuje galvanické oddělení mezi mikrokontrolérem a vysokonapěťovými obvody. Použití relé činí připojení bezpečným, spolehlivým a ekonomicky výhodným, protože nevyžaduje složité obvody ani drahé komponenty. Toto univerzální řešení je vhodné i pro naši práci. V našem případě použijeme modul s relé.

4.3.1 Modul s relé

Je to programovatelný elektronický spínač, který lze ovládat pomocí Arduina nebo jiných mikrokontrolérů (obr. 4.13). Používá se k řízení výkonných zátěží s vysokým napětím nebo proudem pomocí relativně slabých řídicích signálů. Po přivedení signálu na cívku relé dojde k mechanickému přepnutí kontaktů, čímž se ovládá činnost externího zařízení. Modul s relé se dělí na high level a low level, které se liší logikou spínání řídicího signálu [39].

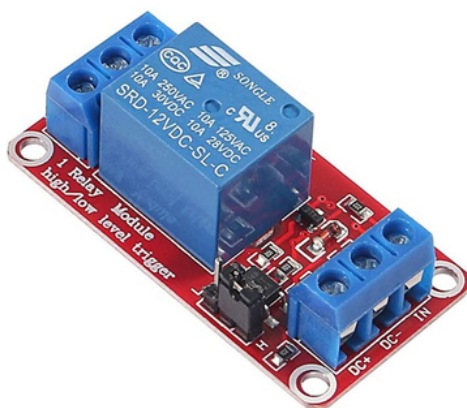
- Výhody:
 - Jednoduchá konstrukce.
 - Schopnost spínat vysoká napětí a proudy.
 - Nízká cena.
- Nevýhody:
 - Opatření mechanických kontaktů.
 - Pomalejší sepnutí ve srovnání s polovodičovými spínači, ale v našem případě to nevádí.
 - Hluk při zapínání a vypínání.

Dále na obrázku 4.12 je uveden příklad standardního zapojení modulu s relé.



Obrázek 4.12: Schéma zapojení modulu s relé [39]

- Spínač režimů:
 - Nízkoúrovňový spínač (Low Level režim): žlutý jumper je připojen na pin **LOW**
 - Vysokoúrovňový spínač (High Level režim): žlutý jumper je připojen na pin **HIGH**



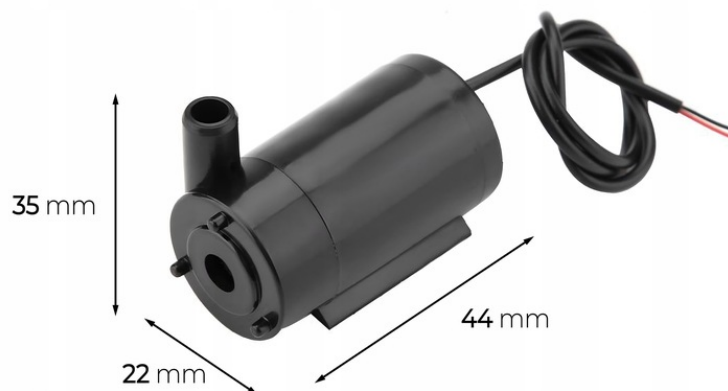
Obrázek 4.13: Modul s relé s možností volby logického režimu (High Level a Low Level)

4.3.2 Čerpadla pro kapkové zavlažování

Budeme používat standardní čerpadlo pro Arduino napájené napětím 5 V (obr. 4.14). Jedná se o kompaktní elektrické čerpadlo určené k přečerpávání kapalin. Jelikož nemáme vysoké požadavky na plynulost jeho provozu, není nutné regulovat jeho rychlost, proto bude připojení realizováno co nejjednodušším způsobem, čerpadlo bude připojeno přes modul s relé.

Ke každému květináči s rostlinami povede hadička z čerpadla, aby bylo zajištěno kapkové zavlažování v závislosti na předem nastaveném zavlažovacím režimu a na údajích senzorů.

- Specifikace (podle [40]):
 - Pracovní napětí: 3-6V
 - Odběr proudu: cca 1A / 5V
 - Průtok: 80-120 L/H



Obrázek 4.14: Odstředivé vodní čerpadlo 5 V mini

4.3.3 LED pásek

V rámci práce byl použit LED pásek pro doplňkové osvětlení skleníku, což napomáhá udržovat optimální podmínky pro růst rostlin, zejména při nedostatečném přirozeném osvětlení (obr. 4.15). LED pásek byl připojen k řídicímu systému a zapíná se automaticky. Pro zajištění potřebného napětí 12 V při použití hlavního napájení z powerbanky 5 V byl mezi mikrokontrolér a LED pásek zapojen zvyšující měnič napětí (step-up konverter z 5 V na 12 V). Toto řešení umožnilo efektivní integraci osvětlení do celkového systému.

- Specifikace (podle [41]):
 - Pracovní napětí: 12 V
 - Příkon: 12 W/m
 - Typ: bílé LED s nastavitelným spektrem



Obrázek 4.15: LED pásek 12V

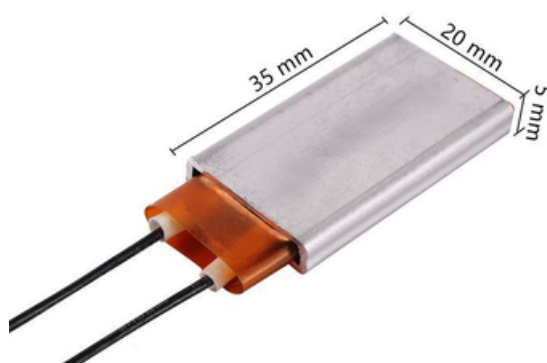
Použití LED pásku umožňuje rovnoměrné rozložení světla uvnitř skleníku, což podporuje zlepšení fotosyntetických procesů a urychluje růst rostlin. Pásek byl připojen přes relé, což umožnilo jeho zapínání a vypínání pomocí Arduina.

4.3.4 Topné prvky

Bude použit keramický topný prvek s PTC (Positive Temperature Coefficient) (obr. 4.16). Tento typ ohřívače slouží k přeměně elektrické energie na tepelnou. Jeho elektrický odpor se zvyšuje s rostoucí teplotou, což umožňuje zařízení automaticky regulovat svůj tepelný výkon. Topný prvek bude regulovat teplotu uvnitř skleníku. Nebude umístěn příliš blízko rostlin, aby nedošlo k jejich poškození. Tento typ topného prvku ovlivňuje teplotu vzduchu poměrně pomalu, ale protože potřebujeme změnu teploty v malém prostoru a pouze o několik stupňů, bude jeho rychlost dostatečná.

Použijeme kompaktní topný prvek s maximálním napájecím napětím 12 V, schopný zahřát se až na 60 °C. Toto topné těleso se používá v systémech ohřevu, inkubátorech, 3D tiskárnách a dalších zařízeních.

- Specifikace (podle [42]):
 - Maximální napájecí napětí: 12 V
 - Výkon: 5–20 W
 - Teplota ohřevu: 80 °C
 - Doba ohřevu: 10–30 s
 - Odběr proudu: 0,5–2 A



Obrázek 4.16: Topné těleso PTC s termostatem

Pro níže uvedené součástky je požadováno nižší napětí a nejsou považovány za vysokovýkonné zátěže, proto pro ně nebudeme používat relé. V těchto případech, protože ještě máme dostatek volných pinů na desce Arduino, použijeme přímé připojení přes breadboard.

4.3.5 Motor s ventilátorem

Budeme používat modul s dvoukanálovým driverem L9110 (obr. 4.17), který řídí malý stejnosměrný ventilátor. Tento modul se běžně využívá pro chlazení, vytváření proudění vzduchu v systémech s plynovými senzory a detekcí dýmu. Jednou z výhod tohoto modulu je možnost změny směru otáčení motoru a velmi jednoduché připojení k desce Arduino pomocí dvou digitálních pinů. K větrání skleníku a rychlejšímu snižování vlhkosti vzduchu a teploty v prostoru s rostlinami použijeme ventilátor.

- Specifikace (podle [43]):
 - Napájecí napětí: 5 V–12 V
 - Odběr proudu: 300–800 mA
 - Rychlost otáčení: až 8000 ot./min
 - Řízení: PWM z Arduina
 - Výstupní proud driveru: až 800 mA na kanál



Obrázek 4.17: L9110 Fan Motor Module

4.3.6 Servomotory

SG90 (obr. 4.18) je kompaktní a lehký servomotor s plastovými převody, široce používaný v Arduino projektech pro řízení úhlu natočení. Budeme ho využívat k otevírání oken skleníku za účelem snížení vlhkosti vzduchu uvnitř prostoru s rostlinami. Skleník bude vyroben z dostatečně lehkých materiálů, takže i tento malý motor bude mít dostatek výkonu k otevírání oken bez problémů a nadměrného zatížení modulu.

- Specifikace (podle [44]):
 - Točivý moment:
 - * 1,2 kg / 42,3 oz (při 4,8 V)
 - * 1,6 kg / 56,4 oz (při 6,0 V)
 - Rychlost: 0,12 s / 60°
 - Teplotní rozsah: -30 až +60 °C
 - Provozní napětí: 3,0 - 7,2 V



Obrázek 4.18: Servomotor micro - 180° SG90

4.4 Zdroje napájení a schéma zapojení

Při testování kódu v předchozích krocích byly jako zdroj napájení použity baterie. Při testování nebude nutné baterie příliš často měnit, avšak tento způsob napájení není vhodný pro běžný provoz skleníku kvůli příliš vysoké spotřebě energie. Aby mohl systém pracovat autonomně, nezávisle na dostupnosti externího napájení a bez připojení k elektrické síti, bude zapotřebí nebo jeden výkonnější zdroj energie, anebo několik méně výkonných. V našem případě byl nalezen vhodný výkonnější zdroj, který odpovídá požadavkům na rozměry i technické parametry, přičemž jeho cena je srovnatelná s cenou několika sad baterií. K napájení jak zátěží, tak i mikrokontroléru bude použita powerbanka (obr. 4.19).

- Specifikace (podle [45]):
 - Model: A10
 - Kapacita: 10 400 mAh
 - Energie: 38,48 Wh
 - Váha: 0.5 kg
 - Vstup: DC 5 V, 2,1 A
 - Výstup 1: DC 5 V, 2,1 A
 - Výstup 2: DC 5 V, 1 A



Obrázek 4.19: Model powerbanky A10 firmy Eight Eleven

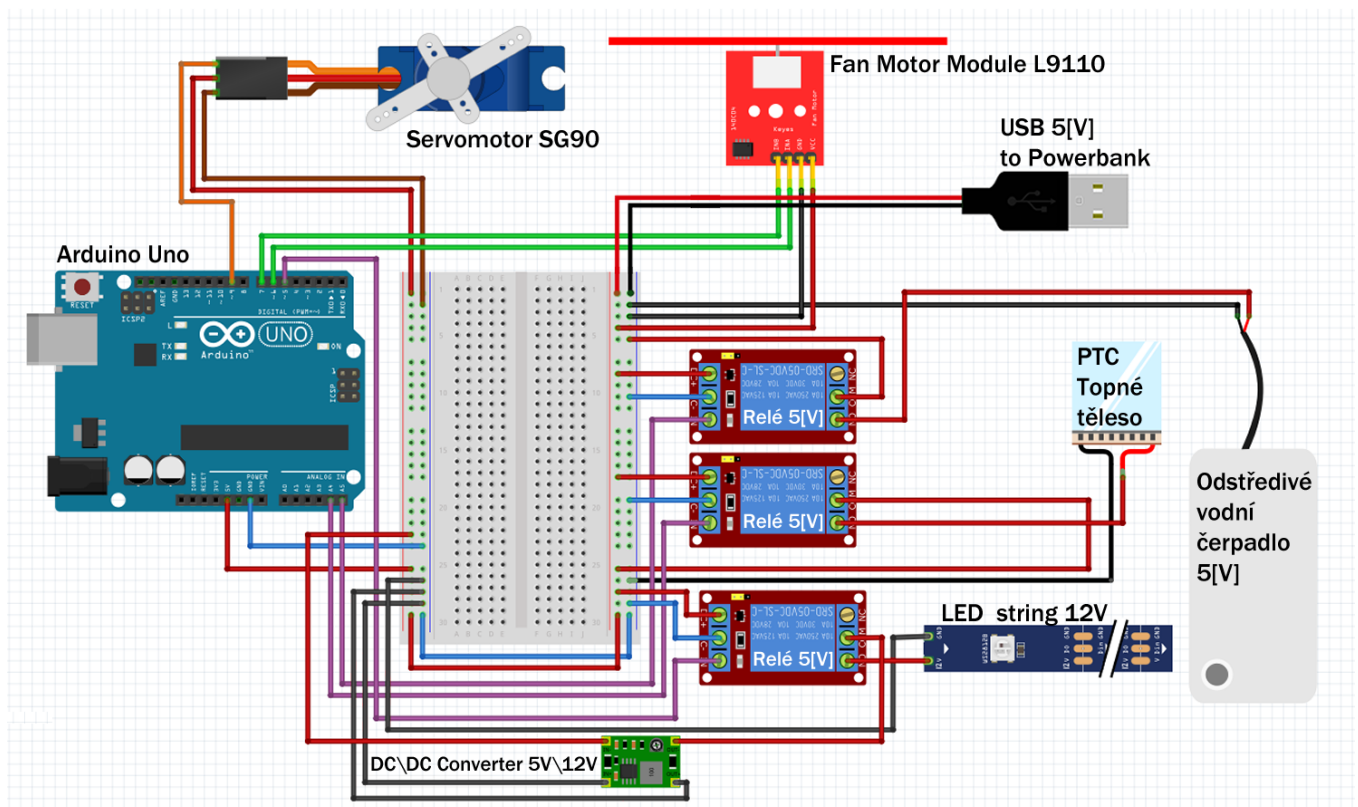
Kromě vhodné úrovně napětí a proudu je pro nás důležité, že powerbanka má kapacitu přibližně 10 000 mAh, což je mnohonásobně více než u standardních baterií. Nejde o nejmenší ani největší kapacitu powerbanky dostupnou na trhu, ale s jejím zvýšením roste i cena a velikost zařízení. Model, který budeme používat, má rozměry přibližně 7,5 x 11,5 x 3 cm, jež považujeme za relativně kompaktní. V tomto případě pro nás cena není hlavním kritériem, a všechny ostatní parametry považujeme za vhodné a přijatelné.

4 SENZORY A PRVKY KONTROLY MIKROKLIMATU

Výhodou tohoto způsobu napájení je také to, že powerbanka zůstane v původním stavu - nebude nijak upravována ani pájena k žádným komponentám. Po odpojení od mikrokontroléru ji tedy lze znovu použít k nabíjení jiných zařízení. Tento model jsme měli k dispozici a jeho parametry dobře odpovídaly našim požadavkům, a proto jsme jej použili. Ve skutečnosti však může být nahrazen jakoukoli jinou powerbankou se stejnými nebo podobnými vlastnostmi.

Níže je uvedeno schéma zapojení komponent podílejících se na regulaci mikroklimatu ve skleníku. Pro zjednodušení a zvýšení přehlednosti budou ve schématu znázorněny pouze prvky přímo související s řízením mikroklimatu, které byly podrobně popsány v této kapitole.

Dříve představené komponenty, jejichž zapojení již bylo probráno v předchozích schématech, nebudou na tomto diagramu zobrazeny. Tento přístup snižuje složitost schématu a učiní jej srozumitelnějším a přehlednějším pro analýzu. Stejně jako předchozí schémata, i toto bylo vytvořeno pomocí programu Fritzing.



Obrázek 4.20: Schéma zapojení komponent pro kontrolu mikroklimatu v programu Fritzing (Vlastní tvorba)

Po přidání všech potřebných součástek lze upravit kód a ověřit funkčnost prvků pro kontrolu mikroklimatu. Jakmile se ujistíme, že správně fungují a reagují na logické signály odesílané z mikrokontroléru, můžeme na základě rozměrů elektronických součástek navrhovat design konstrukce skleníku. Nejprve vytvoříme jednoduchý náčrt, který budeme postupně vylepšovat a přizpůsobovat s ohledem na rozměry součástek, možnosti laserového řezače a další faktory.

4.5 Software

Pro programování mikrokontroléru byla použita vývojová platforma Arduino IDE, která umožnila napsat, ladit a potom nahrávat kód přímo na desku Arduino. Práce s Arduino IDE zahrnovala připojení potřebných knihoven, nastavení vstupních a výstupních pinů a také implementaci logiky automatického řízení komponent skleníku na základě dat ze senzorů.

Do kódu byly zahrnuty následující hlavní části: Čtení dat ze senzorů a jejich zpracování. Logika hlavního menu a přepínání provozních režimů (pro microgreens a sukulenty). Zobrazování údajů a dalších textových informací na displeji. Režim spánku displeje pro úsporu energie. Časová logika, intervaly a čekací doby pro aktivaci jednotlivých regulačních komponent. Ovládání akčních členů, jako jsou čerpadlo, ventilátor, motor, topný prvek a LED pásek. Reakce systému na odchylky parametrů od nastavených intervalů hodnot. Kontrola stavu jednotlivých komponent v různých režimech, návrat do výchozího stavu po návratu do hlavního menu a vypnutí LED [46].

Pro práci se senzory a akčními prvky byly použity standardní i externí knihovny, jako například (podle [36, 47]):

- <Wire.h> - knihovna pro komunikaci přes sběrnici I2C, která umožňuje propojení mikrokontroléru s různými periferiemi, jako je například RTC modul nebo LCD displej.
- <LiquidCrystal_I2C.h> - knihovna pro ovládání LCD displeje připojeného pomocí I2C adaptéru. Zajišťuje zobrazení naměřených údajů a usnadní výběr režimu.
- <DHT.h> - knihovna pro práci se senzory řady DHT (například DHT11 nebo DHT22), které měří teplotu a vlhkost vzduchu. Knihovna poskytuje jednoduché rozhraní pro načítání aktuálních hodnot.
- <Servo.h> - pro ovládání servomotoru pro otevírání ventilačního okna.
- <RTClib.h> - pro práci s reálným časem pomocí RTC modulu, důležitého pro časově řízené úkony. Umožňuje přesné časové řízení funkcí.

Listing 4.1: Část kódu, čtení a zobrazení dat ze senzorů

```

...
float humidity = dht.readHumidity();
float temperature = dht.readTemperature();
int soilMoisture = analogRead(SOIL_PIN);
int soilMoisturePercent = map(soilMoisture, 1023, 0, 0, 100);
int lightIntensity = analogRead(LUX_PIN);

int joystickX = analogRead(JOYSTICK_X);
if (joystickX < 400 && millis() - lastDebounceTime > debounceDelay) {
    currentDisplay = (currentDisplay - 1 + 4) % 4;
    lastDebounceTime = millis();
} else if (joystickX > 600 && millis() - lastDebounceTime > debounceDelay) {
    currentDisplay = (currentDisplay + 1) % 4;
    lastDebounceTime = millis();

    lcd.clear();
    switch (currentDisplay) {
        case 0: lcd.print("Teplota: "); lcd.print(temperature); lcd.print("C");
    }
...

```

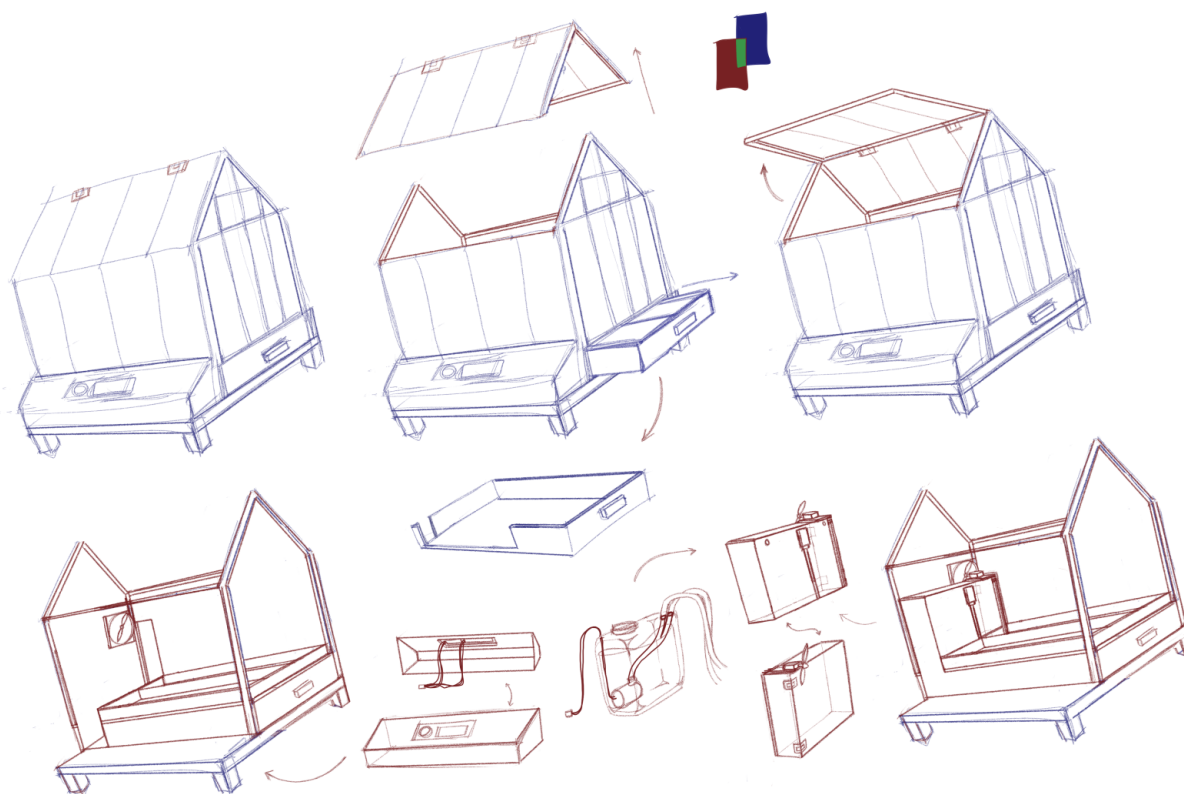
Úplný text programu včetně komentářů je uveden v příloze této práce.

5 Konstrukce skleníku

5.1 Příprava souborů a materiálů

V externím grafickém programu Clip Studio Paint jsme připravili několik náčrtů, které budou sloužit pro návrh schématu jednotlivých částí konstrukce určených k vyřezání. Tyto skici nám umožňují vizuálně si představit celkový design, upřesnit rozměry a proporce a zároveň určit optimální uspořádání jednotlivých dílů a komponent.

Na jejich základě vytvoříme přesné vektorové soubory potřebné pro laserové řezání, což zajistí správné lícování všech prvků konstrukce.



Obrázek 5.1: Náčrty vytvořené v programu Clip Studio Paint (Vlastní tvorba)

Pro vyřezávání dílů laserem budeme používat vektorové obrázky místo rastrových, protože vektorová grafika je založena na matematických křivkách a liniích, což zajišťuje vysokou přesnost a ostré kontury. Laserový stroj čte souřadnice a trajektorie vektorů, což mu umožňuje přesně řídit pohyb laserového paprsku a vytvářet dokonale rovné linie bez ztráty kvality při změně měřítka.

Na rozdíl od vektorové grafiky jsou rastrové obrázky složeny z pixelů, což omezuje jejich rozlišení - při zvětšení se kvalita zhoršuje a kontury se rozmazávají. Laserový stroj navíc obtížně interpretuje rastrové obrazy, protože neobsahují přesně definované trajektorie pohybu. Místo přesných linií by se mohl stroj pokusit reprodukovat barevné přechody nebo jednotlivé pixely, což by vedlo k nepřesným či nekvalitním výsledkům [48].

Další výhodou některých vektorových formátů je možnost předem nastavit parametry laseru, jako je rychlost a výkon, pro různé části obrázku. To je zvláště důležité při složitém řezání nebo gravírování, protože to pomáhá předejít poškození materiálu, spálení nebo roztavení hran. V naší konstrukci se budou některé díly zasouvat do sebe, a proto je pro nás klíčové, aby hrany zůstaly nepoškozené a přesné.

Použití vektorové grafiky zajišťuje vyšší přesnost, kvalitu a předvídatelnost celého procesu laserového řezání.

Nicméně, i při použití dokonale připraveného vektorového souboru může kvalita laserového řezání záviset na mnoha faktorech, které souvisejí jak s vlastnostmi samotného materiálu, tak s nastavením zařízení.

5.1.1 Faktory ovlivňující kvalitu řezání

Fyzikální vlastnosti materiálu

Pokud má například dřevo nebo překližka přirozené zakřivení či deformace, laser se nebude rovnoměrně zaostřovat, což povede k rozdílným hloubkám řezu nebo nekvalitnímu propálení. Nerovnosti povrchu nebo úhlů mohou také způsobit posunutí obrazu při řezání.

Různé druhy dřeva mají odlišnou hustotu, což ovlivňuje rychlost a výkon laseru. Například měkké dřevo se řeže rychleji, ale může se více spálit, zatímco tvrdší dřevo vyžaduje vyšší výkon. Ve vzácných případech může dřevo s vysokým obsahem pryskyřice vést k lepkavým a ztmavlým okrajům řezu.

Kvalita vektorového souboru

Pokud vektorový soubor obsahuje příliš tenké kontury nebo dvojité čáry, laser je může špatně interpretovat, což může vést k chybám při řezání. Lasery lépe pracují se zavřenými obrysy - pokud jsou kontury přerušené, řez nemusí být přesný nebo úplný.

Pokud soubor obsahuje duplicitní nebo překrývající se linie, laser může přejíždět po stejném místě opakovaně, což může způsobit přehřátí materiálu a jeho poškození.

Nastavení laserového stroje

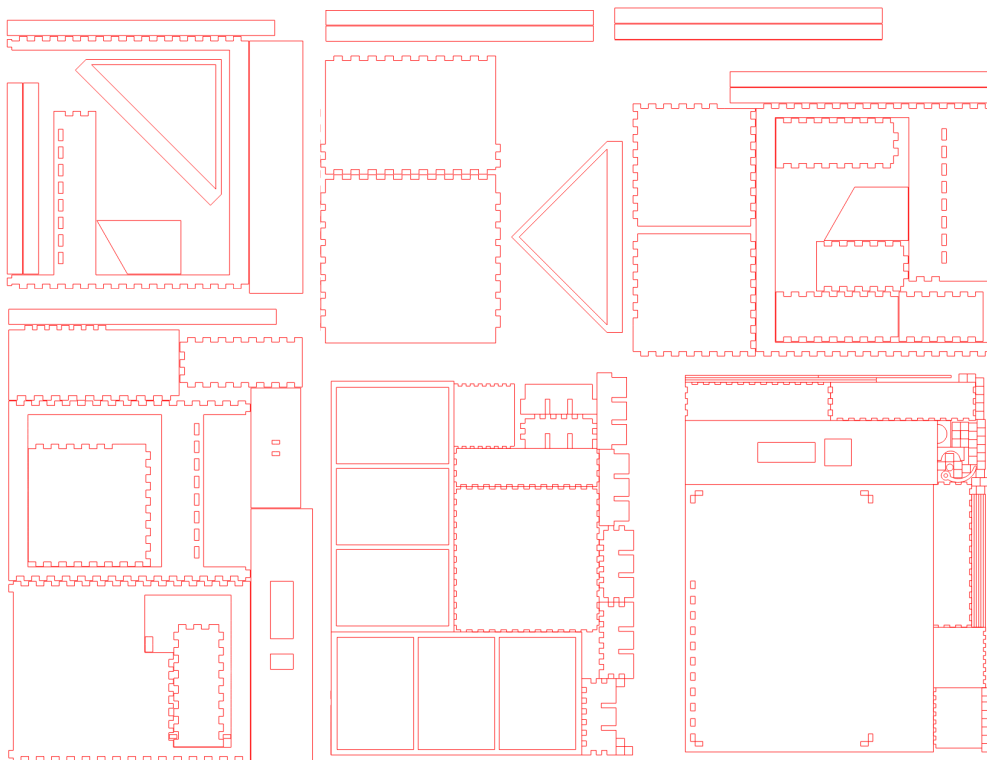
Nesprávné zaostření laserové čočky může vést k roztřepeným nebo ohořelým hranám řezu. V případě, že je nastaven příliš velký výkon, se může materiál nadměrně spálit, zatímco příliš nízký výkon může způsobit, že řez nebude mít požadovanou hloubku [49].

5.2 Použité externí programy a software

CorelDRAW a Adobe Illustrator jsou nejpopulárnější profesionální programy pro práci s vektorovou grafikou, ale liší se rozhraním, funkcemi a uživatelskou přívětivostí v závislosti na typu úkolu. CorelDRAW je více zaměřen na uživatele pracující s polygrafií, reklamními nápisy, laserovým řezáním a tvorbou maket. Je intuitivnější pro začátečníky, nabízí pohodlné panely nástrojů a rozsáhlou podporu klávesových zkratk. Umožňuje snadnější úpravu uzlů, křivek a obrysů a disponuje praktickými nástroji pro práci s tvary, což ho činí oblíbeným v technickém designu a jednoduché tištěné produkci. CorelDRAW používá vlastní formát CDR, který není vždy kompatibilní s jinými programy, ale umožňuje export do formátů AI, EPS, PDF a SVG. CorelDRAW nabízí jak jednorázový nákup licence, tak předplatné, což může být výhodné pro ty, kteří nechťejí platit měsíční poplatky.

Adobe Illustrator je primárně určen pro designéry, kteří pracují s brandingem, webdesignem, ilustracemi a animacemi. Nabízí detailnější nástroje, ale jeho rozhraní může být pro nové uživatele složitější. Illustrator poskytuje přesné nástroje pro kreslení, práci s gradienty a texturami, což ho činí ideálním pro umělecké ilustrace. Pracuje s formátem AI, který je standardem v grafickém designu, a snadno se integruje s dalšími produkty Adobe, jako jsou Photoshop, After Effects a další. Illustrator je dostupný pouze v rámci předplatného Adobe Creative Cloud, což ho při dlouhodobém používání činí nákladnějším [50].

Pro naši práci jsme se rozhodli použít CorelDRAW, protože většina dílů, pro které vytváříme vektorové soubory, má relativně jednoduchou geometrii. Nepotřebujeme barevné úpravy, gradienty ani další pokročilé funkce určené pro uměleckou tvorbu. Naším hlavním cílem je vytvořit ostré a přesné obrysy, které laserový stroj snadno zpracuje. CorelDRAW umožňuje rychlou a pohodlnou práci s obrysy, úpravu uzlů a tvorbu souborů optimalizovaných pro řezání. Díky intuitivnímu rozhraní a technicky zaměřeným nástrojům je ideální volbou pro naši práci, protože zajišťuje efektivitu a přesnost.



Obrázek 5.2: Dílce vytvořené v programu CorelDRAW (Vlastní tvorba)

Rozmístění dílů na výše uvedeném obrázku je určeno pro lepší vizualizaci na pracovní ploše, ale samotné řezání bude provedeno podle jiného souboru. Před řezáním jsme pro optimalizaci rozmístění dílců a minimalizaci materiálových ztrát použili program DeepNest.

DeepNest je bezplatný open-source program určený pro automatické rozmístění vektorových dílců na materiálovém listu s minimálními odpady. Využívá algoritmy “nesting”, které umožňují co nejvíce zhušťovat díly a efektivně využívat prostor. Použijeme ho, protože je zdarma, nepotřebujeme licenci a je velmi jednoduchý, přičemž nevyžaduje žádné složité nastavení. Výsledky, které program generuje, někdy vyžadují drobné ruční úpravy, ale celkově si dobře poradí se svou úlohou [51].

Dále jsme pro řezání připravili několik desek z lípy o rozměrech 40 × 60 cm a tloušťce 6 mm. Desky většího formátu jsme předem nařezali na několik menších, standardizovaných kusů a následně jsme zkontrolovali, že nemají vizuální prohnutí nebo defekty, které by mohly narušit proces laserového řezání.

5.3 Řezání dílů a montáž skleníku

5.3.1 Použité vybavení a materiály

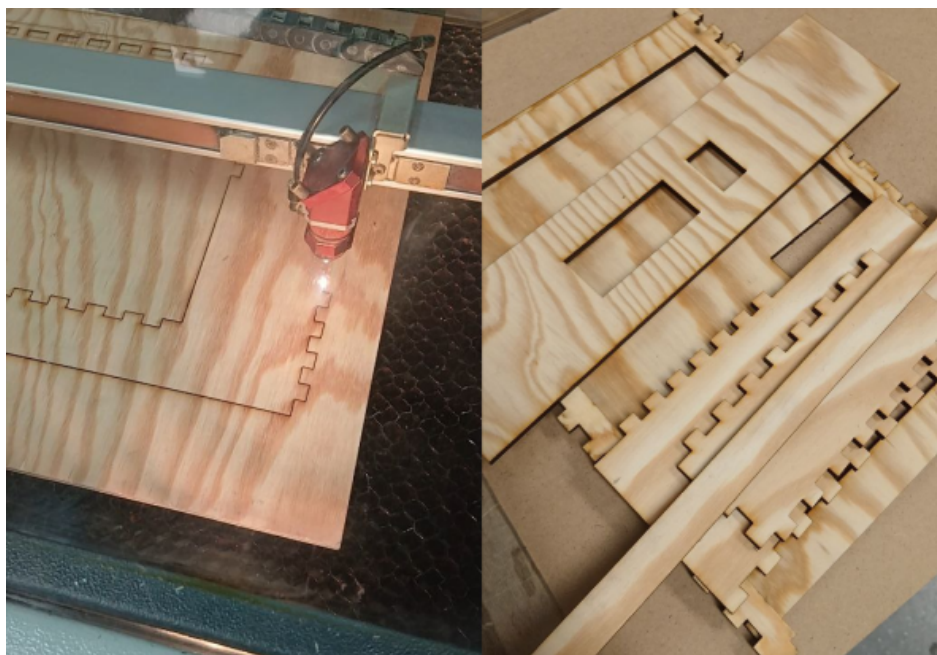
Trotec Speedy 300 (obr. 5.3) je vysoce kvalitní CO2 laserový gravírovací a řezací stroj, určený pro efektivní zpracování široké škály materiálů, jako je dřevo, akryl, plast, papír, kůže, textil, sklo nebo i kov s povrchovou úpravou. Toto profesionální zařízení vyniká nejen vysokou rychlostí gravírování, ale i mimořádnou přesností řezu, což z něj činí ideální nástroj pro průmyslovou výrobu, malosériovou produkci, zakázkovou tvorbu nebo prototypování. Díky intuitivnímu softwaru, snadné obsluze a širokým možnostem nastavení je Speedy 300 vhodný jak pro zkušené uživatele, tak i pro začínající operátory. Jeho robustní konstrukce zajišťuje dlouhou životnost a spolehlivý provoz i při intenzivním využití [52].



Obrázek 5.3: Trotec Speedy 300 CO2 laser

5 KONSTRUKCE SKLENÍKU

- Hlavní charakteristiky (podle [53]):
 - Vysoké rychlosti gravírování – až 3,55 m/s
 - Pracovní plocha - 726 × 432 mm
 - Výška zdvihu stolu - 200 mm
 - Výkon - od 30 do 120 W (v závislosti na konfiguraci)
 - Přesnost polohování - až 0,01 mm
 - Chlazení - vzduchové nebo vodní (v závislosti na konfiguraci)
 - Dostupné materiály - dřevo, plexisklo, překližka, akryl, lamináty, kůže, kov, papír, plasty, kámen, textilie a další
 - Maximální hmotnost gravírovaného předmětu - 20 kg
 - Rozlišení zobrazených obrázků – až 1000 dpi



Obrázek 5.4: Proces vyřezávání dílů (Vlastní tvorba)

Díly pro konstrukci skleníku byly vyřezány pomocí laserového řezače, jehož charakteristiky byly popsány výše v textu. Po vyřezání byly díly sestaveny do hlavní konstrukce skleníku. Ta byla následně obarvena tenkou vrstvou akrylové barvy - a to z estetických důvodů. Následně byla ještě přestříkána matným akrylovým lakem ve spreji, který povrch zafixoval a dodal mu jednotný vzhled. Pohyblivé části byly připevněny pomocí pantů, což umožňuje jejich snadné otevírání a zavírání. Na některých spojích byla nanесena tenká vrstva lepidla PVA, aby bylo dosaženo pevnějšího a stabilnějšího spojení mezi jednotlivými díly.

5.3.2 Montáž



Obrázek 5.5: Fotografie sestavené konstrukce z různých úhlů (Vlastní tvorba)

K zakrytí konstrukce byly použity desky z tenkého kompaktního polykarbonátu, který je lehký, odolný vůči UV záření a dobře propouští světlo. Pro jejich upevnění byl použit transparentní silikon, který je flexibilní, voděodolný. Použité materiály byly zvoleny s ohledem na jejich dostupnost, odolnost a vhodnost pro modelové konstrukce.

Následně byla provedena integrace elektronických komponent do dřevěného modelu skleníku. Montáž byla realizována s ohledem na snadnou budoucí údržbu. Část vodičů byla pečlivě uchycena na vnitřních stěnách konstrukce pomocí lepidla, aby nebránila pohyblivým částem. Všechna drátová spojení byla důkladně zkontrolována. Ve většině případů nebylo použito pájení, aby zůstala zachována rozebíratelnost modelu. V případě potřeby to umožní snadno vyměnit nebo upravit jednotlivé komponenty bez poškození ostatních částí zapojení.

5 KONSTRUKCE SKLENÍKU

Po dokončení vnitřních montážních prací byl skleník uzavřen deskami z polykarbonátu tloušťkou 0,5 milimetru. K jejich připevnění byl použit silikonový tmel. Tím konstrukce získala finální podobu a byla připravena k provozu.



Obrázek 5.6: Skleník s elektronikou, s microgreens uvnitř a bez nich (Vlastní tvorba)

6 Ověření funkčnosti modelu

6.1 Testování skleníku a hodnocení stavu rostlin

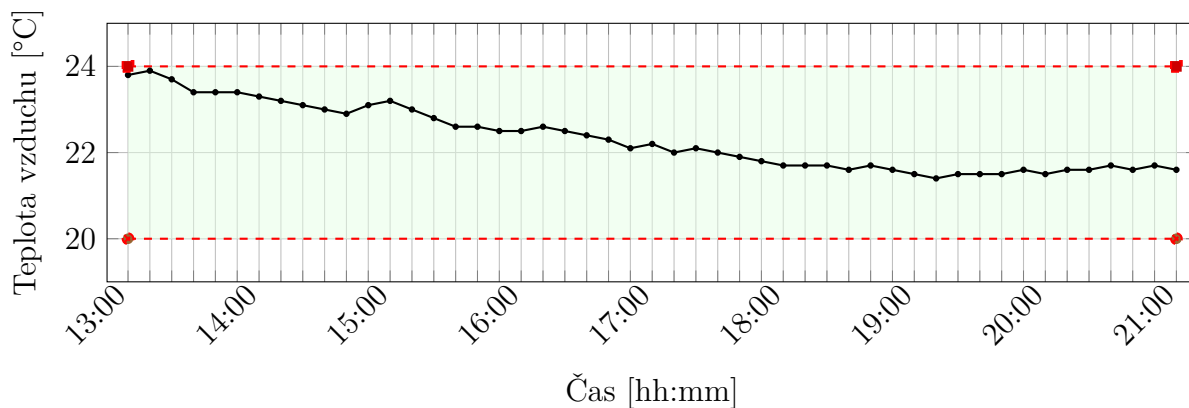
Po dokončení montáže a sestavení všech komponent byla do skleníku umístěna nádoba s připraveným substrátem a předem zasetými semeny microgreens, která již v té době začala klíčit. Pro testování v podmínkách automatizovaného skleníku byl zvolen druh *Raphanus sativus*, který je při pěstování microgreens široce používán díky své nenáročnosti a rychlému růstu. Systém byl přepnut do režimu určeného pro pěstování microgreens. Model fungoval po dobu jednoho týdne, během které byl vizuálně sledován vývoj rostlin. Fotografie byly pořízeny v několikadenních intervalech, což umožnilo sledovat dynamiku růstu a celkový stav rostliny. Během celého období pozorování systém vykazoval stabilní provoz. Vývoj rostlin probíhal skoro bez zásahu a mikroklima ve skleníku bylo udržováno automaticky. Jediným pravidelným zásahem byla údržba napájecího zdroje. Přibližně jednou za pět dní byla provedena kontrola stavu nabití. Nabíjení powerbanky však nebylo během této doby nutné.



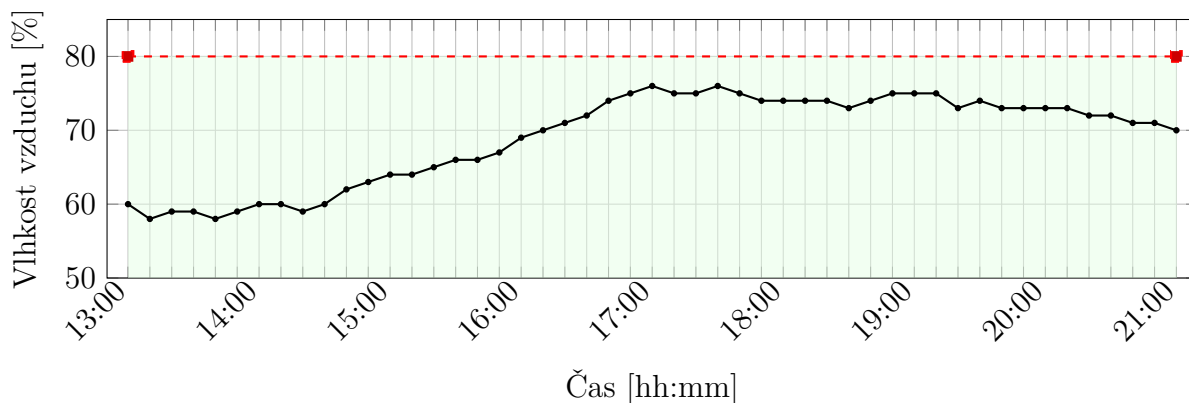
Obrázek 6.1: Kompilace fotografií rostlin – druhý den, pátý den, osmý den (Vlastní tvorba)

Sběr dat ze senzorů byl využit k názornému zobrazení správné funkce modelu během reálného provozu. Datový záznam byl pořizován v délce přibližně 8 hodin denně, což představovalo dostatečně reprezentativní interval pro sledování vývoje mikroklimatických podmínek během jednoho světelného cyklu. Měření probíhala v pravidelných intervalech každých 10 minut. Naměřené hodnoty ze senzorů teploty, vlhkosti půdy, relativní vlhkosti vzduchu a intenzity osvětlení byly automaticky ukládány do paměti EEPROM, a to především za účelem minimalizace rizika ztráty dat v případě výpadku napájení, vybití powerbanky nebo jiných technických problémů. Pro snadný přístup k uloženým údajům bylo v systému implementováno samostatné uživatelské menu, ve kterém bylo možné zobrazit jednotlivé záznamy společně s časem jejich pořízení. Na základě takto získaných dat byly sestaveny přehledné grafy znázorňující průběh a změny jednotlivých fyzikálních veličin v čase, což umožnilo podrobnou analýzu podmínek ve skleníku.

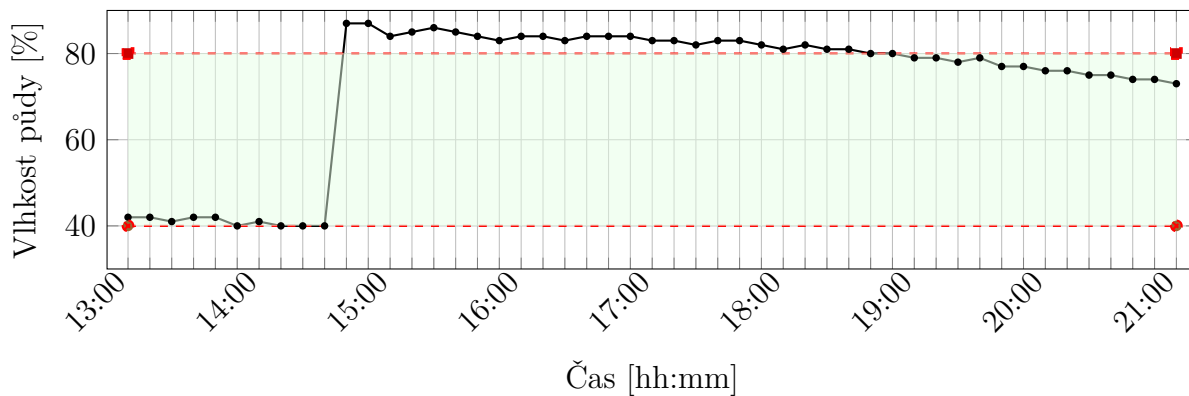
6 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI MODELU



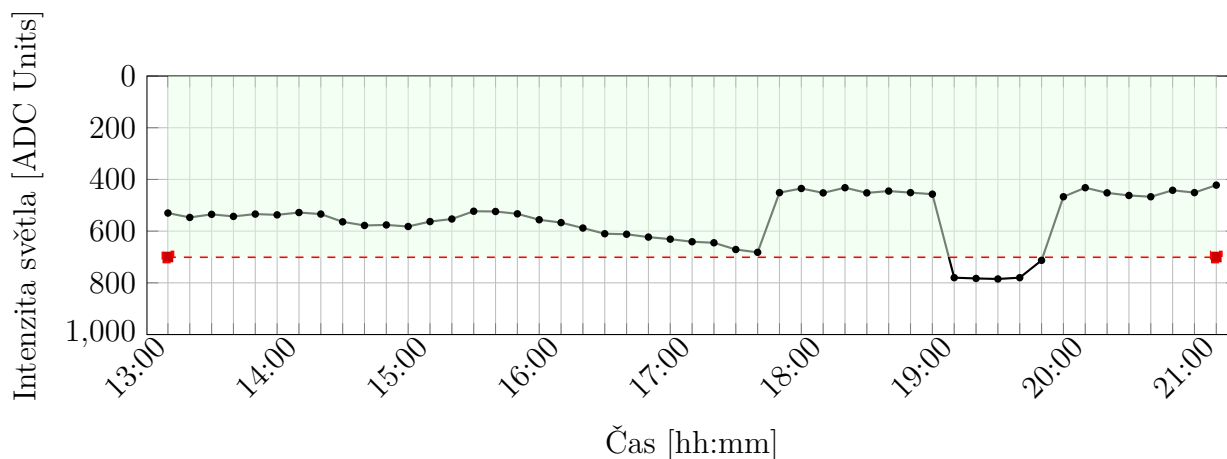
Graf 6.1: Změna teploty vzduchu během dne



Graf 6.2: Změna vlhkosti vzduchu během dne



Graf 6.3: Změna vlhkosti půdy během dne



Graf 6.4: Změna intenzity světla během dne

Z vytvořených grafů je patrné, že systém se v průběhu provozu většinou snaží udržet jednotlivé sledované charakteristiky v předem nastaveném a přijatelném rozmezí. Naměřené hodnoty jen výjimečně překračují definované meze, a pokud k tomu dojde, systém reaguje regulací a navrácí hodnoty zpět do požadovaného intervalu. Výjimku tvoří intenzita osvětlení, která vykazovala podstatně větší výkyvy ve srovnání s ostatními veličinami. Tento jev byl způsoben náhlými změnami intenzity umělého osvětlení v místnosti, ve které byl model provozován. Kromě těchto náhlých změn na grafu intenzity světla je na grafu vlhkosti půdy patrný také výrazný skok, který ukazuje moment provedení zavlažování. Po zbytek dne se hodnota vlhkosti mění poměrně plynule.

Výsledky získané během provozu modelu skleníku s automatickou regulací mikroklimatu potvrzují, že stav rostlin zůstává stejný, nebo dokonce lepší ve srovnání s tradičním sledováním klimatických podmínek. Všechny parametry, jako je teplota, vlhkost a úroveň osvětlení, jsou udržovány na optimálních hodnotách pro zdravý růst rostlin. To ukazuje, že automatizace procesu výrazně zvyšuje stabilitu a efektivitu pěstování rostlin.

6.2 Porovnání vybraných systémů sledování a automatického řízení mikroklimatu

Na základě úspěšného dokončení testování vlastnoručně navrženého a realizovaného modelu automatizovaného skleníku bylo následně možné přistoupit k jeho analytickému porovnání s komerčně dostupnými systémy. Praktické ověření funkčnosti poskytlo relevantní podklady pro komplexnější zhodnocení jeho schopností a přínosů. Pro objektivní posouzení jsme porovnali jeho vlastnosti s dříve popsányými komerčními systémy pro monitorování a regulaci mikroklimatu. Vzhledem k tomu, že jsme neměli možnost přímo otestovat všechny uvedené komerční produkty, jednalo se o srovnání založené na dostupných technických údajích a popisech výrobců.

Tabulka 6.1: Porovnání vybraných systémů sledování a automatického řízení mikroklimatu [6, 7, 8, 9, 10, 13]

Systém	Použité senzory	Možnost přidání senzorů, úprava režimů	Bezdrátové připojení	Cena	Konstrukce	Určení a prostředí použití
Rain Bird	<ul style="list-style-type: none"> • moduly senzorů lze zakoupit samostatně 	<ul style="list-style-type: none"> • Omezené (Pouze podporované firmou) • Omezené 	<ul style="list-style-type: none"> • Wi-Fi 	Střední až Vysoká	Pevně instalovaný zavlažovací systém	Profesionální skleníky, haly
IRRIOT	<ul style="list-style-type: none"> • možnost až 34 senzorů (srážkoměr, průtokoměr, atd.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ano • Ano 	<ul style="list-style-type: none"> • IoT • Cloud 	Vysoká	Pevně instalovaný zavlažovací systém	Profesionální skleníky, haly
Gardena	<ul style="list-style-type: none"> • vlhkost půdy • teplota 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne • Omezené (v aplikaci) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bluetooth • Wi-Fi 	Střední	Senzor s aplikací	Zahrady, haly
Xiomi RoPot	<ul style="list-style-type: none"> • vlhkost půdy • teplota • světlo 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne • Omezené (v aplikaci) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bluetooth 	Nízká	Chytrý květináč s aplikací a senzory	Pokožové rostliny
Xiomi Flora	<ul style="list-style-type: none"> • vlhkost půdy • teplota • světlo 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne • Omezené (v aplikaci) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bluetooth 	Nízká	Senzor s aplikací	Pokožové rostliny
Bentech	<ul style="list-style-type: none"> • světlo • vlhkost půdy 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne • Ne 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne 	Nízká až Střední	Uzavřený box	Pokožové rostliny, Microgreens
Vlastní model	<ul style="list-style-type: none"> • vlhkost vzduchu • vlhkost půdy • světlo • teplota • další dle potřeby 	<ul style="list-style-type: none"> • Ano • Ano 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne (Přizpůsobitelné) 	Nízká až Střední	Uzavřený box (Přizpůsobitelné)	Pokožové rostliny, Microgreens

Toto porovnání přináší několik důležitých závěrů. Většina komerčních systémů je určena pro specifické prostředí, například pro venkovní zavlažování, pokojové květiny nebo profesionální skleníky a jejich flexibilita bývá velmi omezená. Uživatelé nemají často možnost přidávat nové senzory, měnit hardwarové komponenty nebo výrazněji upravovat režimy řízení. V mnoha případech je možné pouze pasivní sledování hodnot nebo použití přednastavených režimů, bez možnosti hlubšího přizpůsobení konkrétním potřebám nebo experimentování.

Systémy, které určitou míru otevřenosti a přizpůsobení umožňují, dovolují nejen připojování dalších senzorů, ale také úpravu kódu, logiky řízení či konfiguraci chování, ty jsou zpravidla velmi drahé a určeny primárně pro profesionální použití ve větších provozech nebo v rámci precizního zemědělství.

Oproti tomu náš vlastní model, založený na Arduinu, nabízí vysokou míru přizpůsobitelnosti při zachování nízkých nákladů. Uživatel má plnou kontrolu nad připojenými senzory, režimy chování i hardwarem.

7 Závěr

V rámci této práce byl navržen a realizován model automatizovaného skleníku, schopný regulovat parametry mikroklimatu pomocí mikrokontroléru Arduino. Byl vytvořen funkční program, který zajišťuje všechny potřebné funkce pro řízení mikroklimatu, včetně čtení hodnot senzorů a regulace systémů, jako jsou ventilační otvory, osvětlení a zavlažování. Předem byla provedena analýza existujících komerčních řešení v této oblasti, která umožnila identifikovat klíčové funkční požadavky a formulovat cílovou architekturu zařízení zaměřenou na autonomii, energetickou účinnost a především dostupnost komponent.

Ve srovnání s dostupnými komerčními modely automatických skleníků vykazuje systém vytvořený v rámci této práce výrazně větší flexibilitu a přizpůsobitelnost. Komerční řešení jsou obvykle navržena pro široké spektrum uživatelů a nabízejí omezený soubor přednastavených režimů, které často nelze upravovat. Naproti tomu představený model, postavený na platformě Arduino, umožňuje ručně upravovat pracovní parametry, vybírat režimy podle konkrétních typů rostlin a přizpůsobit ovládání podle specifických podmínek prostředí či preferencí uživatele. Otevřená architektura systému zároveň poskytuje možnost dalšího rozšiřování funkcí - například přidáním nových senzorů, ovládacích prvků nebo integrací s externími systémy.

Vývoj potom zahrnoval výběr různých výkonných a senzorových prvků. Byla použita elektromagnetická relé pro bezpečné připojení zátěží, 5 V čerpadlo pro kapkovou závlahu, servomotor pro automatické otevírání oken, ventilátor řízený pomocí ovladače L9110 pro větrání a kompaktní topný prvek na 12 V pro zvýšení teploty uvnitř skleníku v případě potřeby. Jako zdroj napájení byla použita externí akumulátorová baterie (powerbanka), což umožnilo nezávislý provoz systému bez připojení k elektrické síti.

Po sestavení všech komponent a kontrole správné funkce regulačních prvků byl navržen a sestaven korpus skleníku z překližky, vyřezané pomocí laserového řezače. Konstrukce byla navíc pokryta akrylovou barvou a matným lakem, a také uzavřena deskami tenkého monolitického polykarbonátu, připevněnými pomocí silikonového tmelu. Elektronika byla integrována do modelu, přičemž kabeláž byla upevněna pro zvýšení spolehlivosti a usnadnění používání. Funkčnost systému byla testována v praxi. Do skleníku byla umístěna nádoba s půdou a microgreens *Raphanus sativus*, jejíž vývoj byl sledován.

Řídicí režim mikroklimatu ukázal docela stabilní práci s minimálním zásahem ze strany uživatele. Hlavní údržba spočívala v pravidelném nabíjení powerbanky. Tímto způsobem byl v rámci práce realizován kompaktní a funkční model skleníku s automatickým řízením mikroklimatu.

Seznam zkratek

RTC	Real-time Clock
RTU	Remote Terminal Unit
IOT	Internet of Things
UV	UltraViolet
I²C, IIC	Inter-Integrated Circuit
IDE	Integrated Development Environment
ADC	Analog-to-Digital Converter
PWM	Pulse Width Modulation
LCD	Liquid Crystal Display
SDA	Serial Data
SDL	Serial Clock
TCXO	Temperature Compensated Crystal Oscillator
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
LED	Light-Emitting Diode
PTC	Positive Temperature Coefficient
USB	Universal Serial Bus
PVA	Polyvinyl Acetate
AI	Adobe Illustrator
CDR	Corel Draw Vector Drawing File
SVG	Scalable Vector Graphics
PDF	Portable Document Format
EPS	Encapsulated Post Script
DC	Direct Current

Seznam obrázků

2.1	Typy konstrukce skleníků: A) Jednoduché. B) Víceprostorové. C) Speciální .	11
2.2	Schéma zavlažovacího ovladače Rain Bird řady ESP	12
2.3	IRRIOT AB Bezdrátový ovladač s RTU a cloudovým monitorovacím systémem .	13
2.4	Gardena Senzor půdní vlhkosti (1867-20)	13
2.5	Zařízení Xiaomi Mi Flora, Bluetooth Flower Care	14
2.6	Zařízení Xiaomi RoPot, Smart Flower Pot	14
2.7	Smart Garden CM01 Bentech	15
3.1	Příklad vzhledu modelu č.1	17
3.2	Příklad vzhledu modelu č.2	17
3.3	Haworthiopsis limifolia	18
3.4	Crassula ovata	18
3.5	Raphanus sativus	19
3.6	Helianthus annuus	19
4.1	DHT11 Kombinovaný senzor pro měření teploty a vlhkosti vzduchu	21
4.2	LM393 Senzor pro měření úrovně osvětlení	22
4.3	Capacitive Soil Moisture Sensor - Kapacitní senzor pro měření vlhkosti půdy . .	23
4.4	Arduino UNO - Original	24
4.5	Schéma připojení senzorů v programu Fritzing	25
4.6	Foto zapojení snímače dle odpovídajícího schémat	26
4.7	LCD displej 16x2 a odpovídající I2C driver	27
4.8	RTC DS3231	28
4.9	Arduino joystick module	29
4.10	Schéma zapojení zmíněných komponent v programu Fritzing	30
4.11	Foto zapojení komponent dle odpovídajícího schématu	30
4.12	Schéma zapojení modulu s relé	32
4.13	Modul s relé s možností volby logického režimu	33
4.14	Odstředivé vodní čerpadlo 5 V mini	33
4.15	LED pásek 12V	34
4.16	Topné těleso PTC s termostatem	35
4.17	L9110 Fan Motor Module	36
4.18	Servomotor micro - 180° SG90	36
4.19	Model powerbanky A10 firmy Eight Eleven	37
4.20	Schéma zapojení komponent pro kontrolu mikroklimatu v programu Fritzing . .	38
5.1	Náčrty vytvořené v programu Clip Studio Paint	40
5.2	Dílce vytvořené v programu CorelDRAW	42
5.3	Trotec Speedy 300 CO2 laser	43
5.4	Proces vyřezávání dílů	44
5.5	Fotografie sestavené konstrukce z různých úhlů	45
5.6	Skleník s elektronikou, s microgreens uvnitř a bez nich	46

6.1	Kompilace fotografií rostlin – druhý den, pátý den, osmý den	47
-----	--	----

Seznam tabulek

3.1	Optimální podmínky pro pěstování <i>Haworthiopsis limifolia</i> a <i>Crassula ovata</i> . .	18
3.2	Optimální podmínky pro pěstování <i>Raphanus sativus</i> a <i>Helianthus annuus</i> . . .	19
6.1	Porovnání vybraných systémů sledování a automatického řízení mikroklimatu . .	50

Seznam grafů

6.1	Změna teploty vzduchu během dne	48
6.2	Změna vlhkosti vzduchu během dne	48
6.3	Změna vlhkosti půdy během dne	48
6.4	Změna intenzity světla během dne	48

Bibliografie

- [1] ARDUINO. *UNO R3* [online]. 2025. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>.
- [2] TEXAS A&M UNIVERSITY. *Greenhouse Structures* [online]. 2025. [cit. 2025-03-13]. Dostupné z: <https://aggie-horticulture.tamu.edu/ornamental/greenhouse-management/greenhouse-structures/>.
- [3] HANAN, Joe J. *Greenhouses: Advanced Technology for Protected Horticulture*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 1998. ISBN 0-8493-1698-7. [s. 36, 50-63].
- [4] NELSON, Paul V. *Greenhouse Operation and Management*. 7th. Upper Saddle River, NJ, USA: Pearson Education, 2012. ISBN 978-1-292-02768-5. [s. 9].
- [5] BARTOK, JOHN W. *Does Light Transmission Through Greenhouse Glazing Matter?* [online]. Greenhouse Management, 2020. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: <https://www.greenhousemag.com/article/does-light-transmission-through-greenhouse-glazing-matter/>.
- [6] RAIN BIRD CORPORATION. *ESP Series Controller User Manual*. 2018. Dostupné také z: https://www.rainbird.com/sites/default/files/media/documents/2018-02/man_ESP.pdf. [cit. 12-03-2025].
- [7] IRRIDIOT AB. *Wireless Precision Irrigation IoT Platform: Technical Description*. 2021. Dostupné také z: <https://www.irriiot.com/wp-content/uploads/2021/04/IRRIDIOT-Technical-description.pdf>. [cit. 15-03-2025].
- [8] GARDENA GMBH. *Soil Moisture Sensor* [online]. 2025. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: <https://www.gardena.com/cz/vyrobky/zavlazovani/rizeni-zavlazovani/cidlo-p%C5%AFdni-vlhkosti/967926801.html>.
- [9] SMARTHOMESCENE. *Xiaomi MiFlora Plant Sensor Tuya Version HHCCJCY10 Review* [online]. 2023. [cit. 2025-03-16]. Dostupné z: <https://smarthomescene.com/reviews/xiaomi-miflora-plant-sensor-tuya-version-hhccjcy10-review/>.

- [10] HOWTOBUY. *Review of Xiaomi Ropot: Smart Pot for Plants* [online]. 2020. [cit. 2025-03-15]. Dostupné z: <https://medium.com/@howtobuy/review-of-xiaomi-ropot-smart-pot-for-plants-6012db71f26a>.
- [11] HHCC / XIAOMI. *Global edition HHCC Flower Monitor Flora Garden Care Plant Grass Soil Water Fertility Smart Tester Sensor Flower Gardening Detector For Xiaomi* [online]. 2025. [cit. 2025-03-16]. Dostupné z: <https://www.aliexpress.com/item/3256804702271423.html>.
- [12] ALLEGRO. *Flower Pot Ropot Xiaomi* [online]. 2025. [cit. 2025-03-16]. Dostupné z: <https://allegro.cz/nabidka/chytry-kvetinac-smart-bluetooth-ropot-3-hhcc-xiaomi-14424243968>.
- [13] BENTECH. *Hydroponický chytrý květináč Bentech CM01* [online]. 2025. [cit. 2025-03-16]. Dostupné z: <https://www.bentech.eu/cs/chytre-kvetinace/hydroponicky-chytry-kvetinac-bentech-cm01>.
- [14] QUANTORIUM TOMSK. *Agrarian revolution* [online]. 2025. [cit. 2025-03-21]. Dostupné z: <https://kvanoriumtomsk.ru/agrper>. Přeloženo autorem práce.
- [15] ADMINISTRATOR. *Smart House* [online]. 2021. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: <https://megadevice.xyz/2021/12/21/mega-happy/>. Přeloženo autorem práce.
- [16] MY-PLANTS.COM. *My Plants – collectible cacti and succulents* [online]. 2025. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: <https://my-plants.com>.
- [17] VIVRE. *Tlustice vejčitá – Crassula ovata* [online]. 2025. [cit. 2025-03-23]. Dostupné z: <https://cz.vivre.eu/p-6639302/tlustice-vejcita-crassula-ovata-sunset-vyska-30-35cm-17cm>.
- [18] GUIDE TO HOUSEPLANTS. *House Plants Encyclopedia A-Z* [online]. 2025. [cit. 2025-03-17]. Dostupné z: <https://www.guide-to-houseplants.com/house-plants-encyclopedia-a-z.html>.
- [19] PASEČNÝ, Petr; ULLMANN, Jaroslav. *Sukulenty*. Praha, Czech Republic: GRADA, Česká zahrada, 2005. ISBN 978-80-247-1183-6. [s. 44, 54].
- [20] ALLAWAY, Zia; BAILEY, Fran. *Das große Buch der Zimmerpflanzen: Über 330 Pflanzen – auswählen, gestalten, pflegen. Design-Ideen und Pflege-Knowhow im praktischen Nachschlagewerk*. München, Germany: Dorling Kindersley Verlag, 2024. ISBN 978-3-8310-4926-4. [s. 39] Přeloženo autorem práce.

- [21] BRICKELL, Christopher (ed.). *Encyklopedie zahradničení*. Praha, Czech Republic: Knižní klub, 2012. ISBN 978-80-242-3368-0. [s. 480, 481].
- [22] MICROGROW. *Microgrow – Inteligentní technologie pro pěstování rostlin* [online]. 2025. [cit. 2025-03-21]. Dostupné z: <https://www.microgrow.cz>.
- [23] GAVRISHPROF. *Watering microgreens when growing in soil (Zalévání mikrozeleniny při pěstování v půdě)* [online]. 2025. [cit. 2025-03-21]. Dostupné z: <https://gavrishprof.ru/info/publications/poliv-mikrozeleni-pri-vyrashchivanii-v-grunte>. Přeloženo autorem práce.
- [24] GUPTA, Ajay Kumar; KUMAR, Ashwani; SINGH, Avinash. Microgreens. *ResearchGate*. 2024. ISSN 2582-6344. Dostupné také z: https://www.researchgate.net/publication/384356449_Microgreens. [cit. 2025-04-04].
- [25] NETHRA, Jagarlamudi; KUMAR, S. Muni; BALASUBRAMANIAN, M.; KUMAR, K. S. Microgreens: A Comprehensive Review Emphasizing Urban Agriculture. *International Journal of Environment and Climate Change*. 2024, roč. 14, č. 12, s. 1390–1398. ISSN 2581-8627. Dostupné z DOI: 10.9734/ijecc/2024/v14i124615. [cit. 2025-04-04].
- [26] SEED STUDIO. *Grove - Temperature & Humidity Sensor (DHT11)* [online]. 2025. [cit. 2025-04-03]. Dostupné z: <https://www.seeedstudio.com/Grove-Temperature-Humidity-Sensor-DHT11.html>.
- [27] KUONGSHUN ELECTRONIC. *DHT11 Temperature and Humidity Sensor Module with LED* [online]. 2025. [cit. 2025-03-17]. Dostupné z: <https://cz.szks-kuongshun.com/uno/uno-sensor/dht11-temperature-and-humidity-sensor-module-with.html>.
- [28] SANTOS, Rui. *Complete Guide for DHT11/DHT22 Humidity and Temperature Sensor with Arduino* [online]. 2020. [cit. 2025-03-16]. Dostupné z: <https://randomnerdtutorials.com/complete-guide-for-dht11dht22-humidity-and-temperature-sensor-with-arduino/>.
- [29] KARVINEN, Tero; KARVINEN, Kimmo; VALTOKARI, Ville. *Make: Sensors: A Hands-On Primer for Monitoring the Real World with Arduino and Raspberry Pi*. O'Reilly Media, 2014. ISBN 978-1449368104.
- [30] LASKAKIT. *Light sensor, 4 pin module* [online]. 2025. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/en/arduino-svetelny-senzor--4-pin-modul/>.
- [31] TEXAS INSTRUMENTS. *LM393 Low Power Low Offset Voltage Dual Comparator*. 2015. Dostupné také z: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393.pdf>. [cit. 2025-05-23].

- [32] BIOMAKER TEAM. *Capacitive Soil Moisture Sensor* [online]. 2021. [cit. 2025-04-16]. Dostupné z: <https://www.biomaker.org/block-catalogue/2021/12/17/soil-moisture-sensor-aideepen-v12>.
- [33] LASKAKIT.CZ. *Arduino Uno* [online]. 2025. [cit. 2025-04-24]. Dostupné z: <https://www.laskakit.cz/en/arduino-uno-rev3--original/>.
- [34] VODA, Zbyšek; HW KITCHEN, tým. *Průvodce světem Arduina* [online]. 2. vyd. Bučovice, Czech Republic: Martin Stríž, 2017 [cit. 2025-04-25]. ISBN 978-80-87106-93-8. Dostupné z: <https://stary.robotikabrno.cz/docs/arduino/Pr%C5%AFvodce-sv%C4%9Btem-Arduina-CZ.pdf>.
- [35] DRÁTEK.CZ. *IIC I2C Display LCD 1602 16x2 znaků LCD modul*. 2025. Dostupné také z: <https://dratek.cz/arduino/1570-iic-i2c-display-lcd-1602-16x2-znaku-lcd-modul-modry.html>. [cit. 23-05-2025].
- [36] BLUM, Jeremy. *Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry* [online]. Indianapolis, IN, USA: Wiley, 2013 [cit. 2025-05-23]. ISBN 978-1-118-54936-0. Dostupné z: https://mirzaproject.ir/_files/En/Wiley.Exploring.Arduino.Jul.2013.pdf. s. 200-209.
- [37] LASKAKIT.CZ. *DS3231 Real-Time Clock Module – Datasheet* [online]. 2025. [cit. 2025-03-24]. Dostupné z: https://www.laskakit.cz/user/related_files/ds3231.pdf.
- [38] DRÁTEK.CZ. *Arduino Joystick PS2 – návod k použití* [online]. 2025. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/arduino-joystick-ps2.html>.
- [39] ARDUINOGETSTARTED.COM. *Arduino Relay Tutorial* [online]. 2025. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-relay>.
- [40] DRÁTEK.CZ. *Mini DC Čerpadlo – návod k použití* [online]. 2025. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://navody.dratek.cz/navody-k-produktum/mini-dc-čerpadlo.html>.
- [41] GOLED.CZ. *RGB+W LED pásek do interiéru 5050 60 SMD/m 5m bal.* [online]. 2025. [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: <https://www.goled.cz/led-pasek-interier-5050-rgbw-60-smdm-5m-bal/>.
- [42] PTC-HEATER.COM.TW. *Představení PTC termistoru* [online]. 2025. [cit. 2025-04-18]. Dostupné z: <https://www.ptc-heater.com.tw/cs/produkt/predstaveni-termistoru-ptc/>.

- [43] BOTLAND.CZ. *Ventilátor s motorem + regulátor L9110* [online]. 2025. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: <https://botland.cz/montazni-ventilatory/8239-ventilator-s-motorem-regulator-19110-5904422308681.html>.
- [44] ESES. *eses servo motor 9g* [online]. 2025. [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://dratek.cz/docs/produkty/0/741/eses1420669476.pdf>.
- [45] NUGSM. *Eight Eleven A10 10400mAh Power Bank Portable Charger* [online]. 2025. [cit. 2025-04-17]. Dostupné z: <https://nugsm.com/product/eight-eleven-a10-10400mah-power-bank-portable-charger/>.
- [46] BENEŠ, Pavel. *Automatizace a automatizační technika: prostředky automatizační techniky*. 5., rozšířené a aktualizované vydání. Brno, Czech Republic: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-3747-5.
- [47] MONK, Simon. *Programming Arduino: Getting Started with Sketches*. 2nd. New York, USA: McGraw-Hill Education, 2016. ISBN 978-1259641633.
- [48] ADOBE. *Raster vs. Vector Images: What's the Difference?* [online]. 2025. [cit. 2025-03-12]. Dostupné z: <https://www.adobe.com/creativecloud/file-types/image/comparison/raster-vs-vector.html>.
- [49] ACCTEK LASER. *Factors Affecting the Speed and Effect of Laser Cutting* [online]. 2025. [cit. 2025-05-17]. Dostupné z: https://www.accteklaser.com/ru/%D1%84%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%8B-%D0%B2%D0%BB%D0%B8%D1%8F%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B5-%D0%BD%D0%B0-%D1%81%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C-%D0%B8-%D1%8D%D1%84%D1%84%D0%B5%D0%BA%D1%82/?srsltid=AfmB0orAA1N4J8JeL0xtfaE_tUBr1N5oPnXHS92U1Nbr_1b-YV3D2Auf. Přeloženo autorem práce.
- [50] MILESTONE INSTITUTE OF TECHNOLOGY. *CorelDRAW vs Adobe Illustrator: What are the Major Differences* [online]. 2024. [cit. 2025-04-25]. Dostupné z: <https://milestone.ac.in/blog-mit/coreldraw-vs-illustrator/>.
- [51] DEEPNEST. *Deepnest — open source nesting software* [online]. 2025. [cit. 2025-04-25]. Dostupné z: <https://deepnest.io>.
- [52] TROTEC LASER GMBH. *Ruby® and JobControl: software for laser machines* [online]. 2025. [cit. 2025-03-27]. Dostupné z: <https://www.troteclaser.com/en-us/laser-machines/laser-software>.

- [53] TROTEC LASER GMBH. *Trotec Speedy 300* [online]. 2025. [cit. 2025-03-16]. Dostupné z: <https://scientificservices.eu/item/trotec-speedy300-laser-cutting-and-engraving-machine/4157>.