



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

**NÁVRH A REALIZACE ŘÍDICÍHO SYSTÉMU
INTELIGENTNÍHO SKLENÍKU**

SMART GREENHOUSE CONTROL SYSTEM DESIGN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jiří Šindelář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky
Student:	Bc. Jiří Šindelář
Studijní program:	Mechatronika
Studijní obor:	bez specializace
Vedoucí práce:	doc. Ing. Stanislav Věchet, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

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 diplomové práce:

Návrh a realizace řídicího systému inteligentního skleníku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat návrhem vestavného řídicího systému pro inteligentní skleník na bázi běžně dostupných mikrokontrolérů umožňující automatizaci provozu skleníku. Koncepční řešení skleníku bude obsahovat zařízení pro automatizaci procesů, webovou aplikaci pro sledování aktuálních stavů a statistik a také potřebné ovládací prvky pro manuální ovládání aktorů na dálku. Dále bude navržený systém podporovat napojení na nadřazený server, který umožní vzdálený monitoring a řízení.

Cíle diplomové práce:

1. Seznamte se s problematikou provozu a automatizace inteligentních skleníků.
2. Navrhněte architekturu škálovatelného řídicího systému.
3. Vybranou architekturu zrealizujte na vhodném skleníku.
4. Prakticky ověřte vlastnosti navrženého systému.

Seznam doporučené literatury:

LIGHT, R. A., Mosquitto: server and client implementation of the MQTT protocol, The Journal of Open Source Software, vol. 2, no. 13, May 2017, DOI: 10.21105/joss.00265.

BALÁTĚ, J.: Technické prostředky automatického řízení. Praha, SNTL 1986.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Jindřich Petruška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem vestavného řídicího systému pro inteligentní skleníky na bázi běžně dostupných mikrokontrolérů umožňující automatizaci provozu skleníku při zachování minimálních nákladů. Konceptní řešení skleníku obsahuje zařízení pro automatizaci procesů, webovou aplikaci pro sledování aktuálních stavů a statistik a také potřebné ovládací prvky pro manuální ovládání aktorů na dálku. Dále navržený systém podporuje napojení na nadřazený server, který umožňuje vzdálený monitoring a řízení.

Abstract

This thesis deals with the design of an embedded control system for a smart greenhouse based on commonly available microcontrollers, enabling the automation of greenhouse operation while maintaining minimal costs. The conceptual greenhouse solution includes equipment for process automation, a web application for monitoring current status and statistics, as well as the necessary controls for manual remote control of the actuators. Furthermore, the proposed system supports connection to a parent server which allows remote monitoring and control.

Klíčová slova

Inteligentní skleníky, inteligentní senzory, webová aplikace, automatizace, ESP32, ESP8266

Key words

Smart greenhouse, smart sensor, web application, automation, ESP32, ESP8266

Bibliografická citace

ŠINDELÁŘ, Jiří. Návrh a realizace řídicího systému inteligentního skleníku [online]. Brno, 2022 [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140229>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Stanislav Věchet.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci *Návrh a realizace řídicího systému inteligentního skleníku* vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Stanislava Věcheta, Ph.D., s použitím materiálů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Jiří Šindelář

Brno

.....

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Stanislavu Věchetovi, Ph.D., za svědomité vedení mé diplomové práce. Dále také mému otci Jiřímu Šindelářovi za pomoc při zdokonalování konceptu automatizace skleníku.

Jiří Šindelář

Obsah

1	ÚVOD	9
2	REŠERŠE	10
2.1	INTELIGENTNÍ SKLENÍK	10
2.2	PROVOZ AUTOMATIZOVANÝCH SKLENÍKŮ S PŮDOU	11
2.2.1	Průmyslové skleníky a botanické zahrady s jednoduchou automatizací	11
2.2.2	Průmyslové skleníky a botanické zahrady s komplexní automatizací	15
2.2.3	Menší soukromé skleníky	22
3	ZHDNOCENÍ REŠERŠE A SPECIFIKACE VLASTNÍHO ŘEŠENÍ	27
3.1	POROVNÁNÍ AKTUÁLNÍCH PŘÍSTUPŮ AUTOMATIZACE SKLENÍKU	27
3.2	CÍL PRÁCE	28
4	ŘEŠENÍ A VÝSLEDKY	29
4.1	VÝBĚR ŘÍDÍCÍHO MIKROKONTROLERU	29
4.1.1	ESP-32	29
4.2	VÝBĚR SENZORICKÉ ČÁSTI.....	31
4.2.1	ESP-8266	31
4.2.2	Senzor teploty a vlhkosti vzduchu	31
4.2.3	Senzor venkovní teploty, teploty půdy a teploty vody	33
4.2.4	Senzor deště	34
4.2.5	Senzor vlhkosti půdy.....	35
4.3	VÝBĚR AKČNÍCH ČLENŮ.....	37
4.3.1	Spínací relé	37
4.3.2	Elektrický ventil.....	37
4.3.3	Elektrický lineární pohon.....	38
4.3.4	LED přísvit	39
4.3.5	Přímotop a ventilátor.....	40
4.4	SOFTWARE	40
4.4.1	Inicializace senzorů a aktuátorů	40
4.4.2	Inicializace nadřazeného mikrokontroleru.....	43
4.4.3	Automatické párování senzorů a aktuátorů s nadřazeným mikrokontrolerem.....	44
4.4.4	Ukládání senzorů a aktuátorů do paměti	45
4.4.5	Webová aplikace.....	45
4.4.6	Automatizace	52
4.4.7	Propojení softwaru a hardwaru	59
4.4.8	Příprava na propojení se serverem inteligentní domácnosti.....	60
4.5	OŽIVENÍ INTELIGENTNÍHO SKLENÍKU	61
4.5.1	Rozvržení hardwaru	62
4.5.2	Rozvodná skříň	64
4.5.3	Rozmístění hardwaru	64
4.5.4	Kontrola funkčnosti a oprava chyb	65
4.5.5	Propojení se serverem inteligentní domácnosti Loxone.....	66
4.6	PROSTOR PRO ZLEPŠENÍ.....	67
5	ZÁVĚR	69
6	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	72

1 Úvod

Tato práce je vytvářena na přelomu let 2021/2022. Svět zažívá krizi v oblasti elektroniky, energetiky, cestovního ruchu a mnoha dalších odvětvích. Zároveň se nebezpečně zvyšuje inflace a s ní prudce zdražují potraviny jako je zelenina nebo ovoce [1]. Tyto skutečnosti nutí společnost, ale i jedince čím dál více přemýšlet nad soběstačností a optimalizací, která by jim mohla zajistit lepší podmínky v takto těžké době. Převážně jedinci pak řeší otázky, jak se stát částečně nezávislí na dodavatelích energií nebo jak ušetřit při vytápění domu. Dále čím dál častěji řeší, na první pohled banální otázky, týkající se pečení vlastního chleba anebo třeba pěstování vlastního ovoce a zeleniny. Zde není důvodem jenom vyšší cena v obchodech, ale také lepší chuť domácích potravin a menší nebo vůbec žádná přítomnost chemikálií a pesticidů.

Pěstování plodin jako jsou kukuřice, brambory, jablka, cibule, mrkve, hrušky a švestky nevyžaduje zvláštní péči a plody stihnou téměř vždy bez větších problémů dozrát. Problém nastává u teplomilných rostlin jako jsou například rajčata, jahody, papriky a citrusy. Jejich největšími vývozci jsou země jako Španělsko, Itálie, Turecko a Řecko, jejichž průměrná teplota se pohybuje kolem 20 °C a na většině území těchto států panuje typické středomořské podnebí [2][3]. Oproti tomu podnebí v Česku je mírné, vyznačuje se kontinentálními vlivy a průměrná roční teplota nepřesahuje 10 °C [4]. To způsobuje, hlavně ve vyšších nadmořských výškách, že se takovéto plodiny pěstují podstatně hůře. Výnosnost není ideální, plody častokrát nedozrají a chuť je méně výrazná. Člověk pak začíná logicky uvažovat o způsobech, jak rostlinám vytvořit místo, které bude co nejvíce připomínat jejich přirozené prostředí a zajistí jejich správný růst.

Skleník je jednou z možností, která rostlinám zajistí vyšší průměrnou teplotu a celkově menší kolísání teplot během roku. Skleník je ideální pro pěstování téměř všech plodin. Obecně se používá pro pěstování teplomilných rostlin, kterým se daří například v oblasti středomoří a mají tak rády teplá slunečná léta. Pro větší úrodu si tak lidé pořizují skleníky, do kterých zasadí své rostliny. Tímto ale práce na skleníku nekončí a celý rok je čeká starání se o rostliny v podobě pravidelného zalévání, větrání, hnojení a odplevelování. Proto vlastníci skleníků hledají čím dál častěji způsoby, jak si práci ulehčit. Odpovědí může být právě inteligentní skleník, na jehož návrh se zaměříme i v této práci.

2 Rešerše

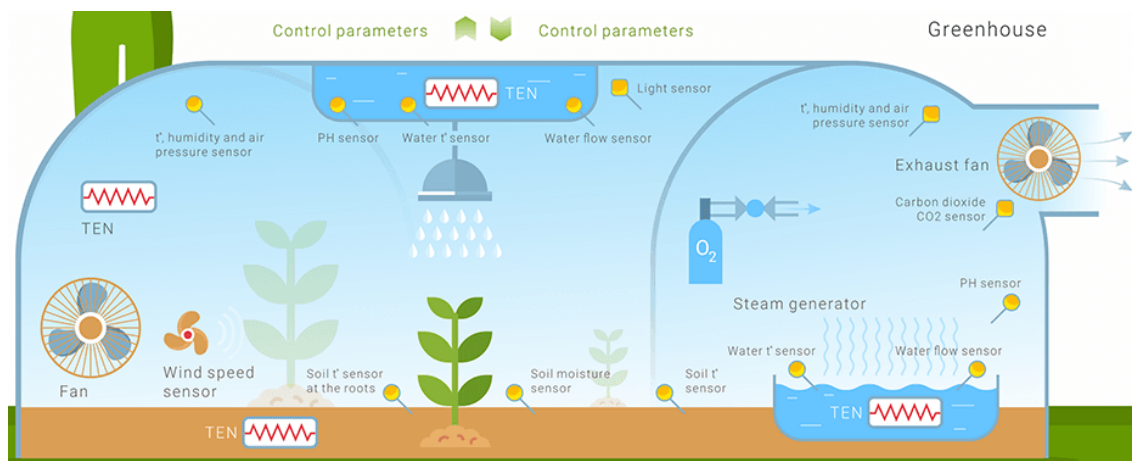
2.1 Inteligentní skleník

Jestliže chce dnešní produkt držet krok s dobou a být pro veřejnost zajímavý, častokrát pomůže před jeho název vložit slovo „inteligentní“ nebo „chytrý“. K tomu je ještě potřeba vybavit produkt Wi-Fi modulem, který zajistí připojení zařízení na domácí síť a tím uživateli umožní ovládat a kontrolovat stav zařízení na dálku pomocí svého chytrého telefonu. Příkladem může být inteligentní pračka, myčka, dům ale i skleník.

U inteligentních skleníků většinou platí, že Wi-Fi modulem a uživatelskou aplikací to teprve začíná. Největší jejich přínos tkví v možné automatizaci, která dokáže zásadním způsobem zjednodušit a zefektivnit pěstování plodin. Aby celý proces automatizace fungoval co nejlépe, je potřeba skleník vybavit dostatečným počtem vhodně zvolených senzorů. Tyto senzory pak snímají všechny důležité veličiny, které je potřeba znát v daném typu skleníku. Nejčastěji se jedná o senzory teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, teploty půdy a vlhkosti půdy. Některé skleníky jsou navíc vybaveny senzory pH půdy a vody. Dále se používají kamery, které jsou schopny rozeznat plevel nebo třeba hmyzího škůdce uvnitř skleníku. V případě používání takto sofistikovaného sensorického systému je potřeba mít dostatečný výpočetní výkon, který umožní v krátké době zpracovat obrazová data a na základě natrénovaných konvolučních neuronových sítí vyhodnotit, zda se na pořízeném snímku nenachází hmyz, který ve skleníku nechceme. V případě plevele se dá využít jednodušší metody, kdy kamera přesně ví, v jakých místech byly zasazeny plodiny, a tak jednoduše označí za plevel každou rostlinu, která roste mimo vyznačené oblasti.

Pomocí senzorů tak kontrolujeme aktuální podmínky, ve kterých rostou naše plodiny. Pokud podmínky nejsou ideální, je potřeba tento stav změnit. K tomu slouží aktuátory. V případě inteligentního skleníku se nejčastěji jedná o elektrické ventily, které dokážou regulovat přívod vody do skleníku, a tak zalévat místa, kde není půda dostatečně vlhká. Dále můžou být použity lineární pohony k otvírání oken v případě, že je ve skleníku příliš teplo nebo vlhko a naše rostliny by mohla napadnout plíseň. Často bývají skleníky vybaveny speciálním přísvitem a vyhříváním v případě, že je pod mrakem a teplota ve skleníku je příliš nízká. V některých případech bývá k rozvodům vody připojen dávkovač hnojiva, který zajistí všechny potřebné živiny pro pěstované rostliny.

Pokud je automatizace skleníku správně nastavená, dokáže uživateli výrazně usnadnit práci se skleníkem a zvýšit výnosnost rostlin. Na druhou stranu je potřeba dodat, že transformace klasického skleníku na skleník inteligentní je častokrát velmi nákladná a vyžaduje spoustu elektroniky uvnitř skleníku. Také správné umístění senzorů a s tím spojené naladění automatizace může být těžší, než se na první pohled zdá. V případě, že skleník není automatizován ideálně, může v krajních případech dojít k devastaci celého skleníku.



Obrázek 2.1: Příklad vybavení inteligentního skleníku (TEN = ohřev) [6]

2.2 Provoz automatizovaných skleníků s půdou

V praxi se vyskytují převážně dva druhy inteligentních skleníků využívající půdního substrátu. Prvním typem jsou skleníky, u kterých je kladen důraz na co nejnižší cenu automatizace a často si je vytváří nadšenci, kteří jsou zblbělí v základech elektroniky a programování. Tyto skleníky se nejčastěji nachází na zahradách svých majitelů a slouží pro pěstování nejrůznějších druhů zeleniny. Druhým typem jsou velké automatizované skleníky sloužící pro průmyslové pěstování rostlin nebo okrasných dřevin. Patří sem také botanické zahrady, které často využívají různé míry automatizace svých skleníků.

2.2.1 Průmyslové skleníky a botanické zahrady s jednoduchou automatizací

Také u průmyslových skleníků je výběr automatizace ovlivněn pořizovací cenou. V případě menšího rozpočtu bývají tyto skleníky vybaveny oddělenými jednoúčelovými prvky, které samostatně provádí vždy jen jednu konkrétní činnost.

Tento způsob automatizace může vést k horší regulaci požadovaných stavů uvnitř skleníku. Důvodem je pouze lokální řešení problému, které nemusí zajistit plně optimální podmínky. Jednoduchým příkladem může být nastavené pravidelné zavlažování pomocí zavlažovacího počítače. V případě, že počítač nemá data o vlhkosti v dané části skleníku, není schopen reagovat na proměnlivé odpařování vody z půdy, a tak může docházet k nedostatečné nebo naopak přílišné závlaze rostlin.

Výhodou této automatizace je dobrá dostupnost jednotlivých prvků regulace na tuzemském trhu, jednoduchá instalace a nízká cena v porovnání s komplexním řešením automatizace.

2.2.1.1 Zavlažování

Zavlažování rostlin v průmyslových sklenících se mění v závislosti na potřebách dané rostliny. Nejčastěji se jedná o zavlažování ke kořenům nebo na list. K tomu se používají nejčastěji zavlažovací počítače, které umožňují nastavení pravidelné závlahy pomocí jednoduchého ovládacího panelu a integrovaného časovače. Modernější zařízení dále umožňují připojení senzoru vlhkosti půdy, díky němuž lze operativně prodloužit nebo zkrátit zalévací cyklus. Ceny se pohybují přibližně od 400 do 3000 Kč.

Zavlažovací počítač PARKSIDE

Jedná se o velmi levný produkt v dané kategorii, jehož cena se pohybuje okolo 500 Kč. Tento zavlažovací počítač umožňuje nastavení až šesti nezávislých zavlažovacích intervalů. U každého intervalu si uživatel může vybrat dobu zavlažování a také periodu opakování. Dobu zavlažování lze nastavit od 1 minuty až po 10 hodin. Opakování zavlažování pak lze nastavit v rozmezí jednoho dne až týdně.

Počítač je napájen pomocí alkalických baterií a výrobce udává provozní dobu v rámci měsíců. V případě potřeby výměny baterií je uživatel upozorněn na vybité baterie kontrolkou na zobrazovacím panelu. [7]



Obrázek 2.2: Zavlažovací počítač PARKSIDE [7]

Zavlažovací počítač Gardena MultiControl duo 1874-29

MultiControl duo představuje zástupce z opačného konce cenového spektra zavlažovacích počítačů. Cena za zařízení se pohybuje kolem 2500 Kč a jak už samotný název napovídá, umožňuje zalévat dva oddělené záhony nezávisle na sobě. Na každém výstupu mohou být naprogramovány až tři zavlažovací cykly za den v trvání až 4

hodiny. Opakování každého cyklu lze nastavit každých 8, 12, 24 hodin nebo každý 2., 3. nebo 7. den. Výhodou je možnost dodatečného připojení čidla půdní vlhkosti.

Zařízení je podobně jako u konkurence napájeno pomocí alkalických baterií, se kterými dokáže pracovat celý rok. Informace o vybitých bateriích se pak zobrazuje na displeji zařízení. [8]



Obrázek 2.3: Zavlažovací počítač Gardena MultiControl duo [8]

Čidlo půdní vlhkosti Gardena

Čidlo je kompatibilní téměř se všemi zavlažovacími počítači firmy Gardena. Pomocí pětimetrového kabelu lze propojit s konkrétním počítačem, na který jsou následně posílána naměřená data. Počítač tak v případě dostatečně vlhkého záhonu dokáže automaticky vynechat nadcházející zavlažovací cyklus. Díky tomu chrání rostliny před přílišnou závlahou, která by v krajním případě mohla znamenat jejich úhyn.

Nevýhodou čidla je nulová kompatibilita s jinými výrobci zavlažovacích počítačů a také nutnost použití alkalických baterií, na které dokáže čidlo pracovat až jeden rok. Také cena je poměrně vysoká a pohybuje se okolo 1200 Kč. [9]



Obrázek 2.4: Čidlo půdní vlhkosti Gardena [9]

2.2.1.2 Větrání

Převážně během teplých letních dní je potřeba odvádět přebytečné teplo uvnitř skleníku ven tak, aby se rostliny nacházely v ideálních podmínkách pro jejich růst. Ventilátor s časovačem dokáže zajistit pravidelnou cirkulaci vzduchu a tím také podobnou teplotu v celém objemu skleníku. Sám o sobě však pouze eliminuje lokální extrémy a teplotu nesnižuje. K tomu je potřeba vybavit skleník automatickým otvíráním oken.

Automatický otvírač skleníkových oken

Na trhu je celá řada automatických otvíračů oken, které fungují na principu tepelné roztažnosti látek vlivem změny teplot. Uvnitř otvíračů se nejčastěji nachází směs ethanolu, která představuje kapalinu s velkou tepelnou roztažností a při zvýšení teploty uvnitř skleníku tak zajistí vysunutí pístu a otevření okna. Při ochlazení dochází k opačnému procesu.

Pro správnou funkci je potřeba nastavit teplotu, při které se bude okno otvírat. K tomu slouží závit na pístu otvírače, který je potřeba vyšroubovat nebo zašroubovat v závislosti na tom, jestli potřebujeme okno otvírat při vyšších či nižších teplotách, než tomu je nyní. Samotný píst musí být udržován čistý, neboť i malé mechanické nečistoty mohou negativně ovlivnit pohyblivost a těsnění otvírače. Dále je potřeba otvírač chránit před mrazem a v zimním období ho ideálně demontovat. [10]



Obrázek 2.5: Automatický otvírač skleníkových oken [10]

2.2.1.3 Vytápění

Vytápění je prováděno pomocí termostatu umístěného uvnitř objektu a vytápěcí soustavy. V případě skleníku se nejčastěji jedná o tepelná čerpadla nebo plynové a kamnové kotle. Termostat je v dnešní době častokrát vybaven bezdrátovým připojením, které umožňuje nastavování teplot a spínání kotle pomocí mobilní aplikace.



Obrázek 2.6: Plynový ohříváč vzduchu Renzor [27]

2.2.2 Průmyslové skleníky a botanické zahrady s komplexní automatizací

Provedení komplexní automatizace skleníku vyžaduje oslovení zkušené firmy, která provede požadovanou automatizaci přesně podle požadavků zákazníka a potřeb automatizovaného skleníku. Zákazník je častokrát odkázaný pouze na produkty jedné

firmy, které musí instalovat pouze profesionální obsluha. S tímto je spojena vysoká cena, která se pohybuje ve stovkách tisíc korun za jeden automatizovaný skleník.

Výhodou takového řešení je jednoduchá obsluha celého skleníku nejčastěji z jednoho centralizovaného zařízení. Tyto systémy dokáží kontrolovat celou řadu stavů uvnitř skleníku. Jmenovitě se může jednat o teplotu, vlhkost, zavlažování, mlžení, osvětlení, zatemňování, větrání, vytápění, pH a obsah CO₂ dle předem zadaného časového plánu s přihlédnutím ke klimatickým podmínkám uvnitř a vně objektu. Díky tomu je automatizace schopna zajistit perfektní podmínky pro růst rostlin.

Na trhu existuje pouze několik společností, které se zabývají touto problematikou. Nejzkušenější je firma Senmatic, která na trhu nejdéle nabízí komplexní řešení automatizace skleníků. Senmatic má celou automatizaci rozdělenou do třech částí. První část představuje kontrolu ideálního klimatu uvnitř skleníku. Druhá část se stará o hnojení jednotlivých rostlin. Třetí část představuje software „SuperLink 6“, který má za úkol spojit předešlé dvě části a pomocí běžného PC je kompletně monitorovat a nastavovat. Každá část je i bez SuperLinku plně funkční a lze ji nastavovat pomocí svého vlastního ovládacího panelu.

2.2.2.1 Kontrola klimatu

Jedná se o komponenty, které mají za úkol udržovat ideální klima pro růst nasazených rostlin. Veškerou logiku a zpracování dat této části automatizace zastřešuje průmyslový počítač, který firma nazývá „Logic Climate Control (LCC)“. Na něj jsou napojeny všechny senzory a aktuátory, které slouží pro dosažení ideálního klimatu uvnitř skleníku.

LCC4 Climate Control

Tento průmyslový počítač představuje vrcholný model z nabídky počítačů pro kontrolu klimatu firmy Senmatic. Základem je uživatelsky srozumitelné prostředí, které bylo vyvinuto ve spolupráci s dětmi předškolního věku pro dosažení co největší intuitivnosti. Ovládání probíhá pomocí dotykového panelu barevné obrazovky, přes kterou lze monitorovat a nastavovat veškeré potřebné záležitosti.

Počítač podporuje připojení na ethernet a vzdálené ovládání pomocí bezdrátové komunikace, kterou firma nazývá SuperLink. Jednotka dokáže obstarávat 16 skleníků, kde každý skleník dokáže rozdělit na 2 individuální zóny, pro které je možné regulovat klima odděleně. Celý den pak lze pro každou zónu rozdělit na dalších 6 časových úseků, pro které lze definovat konkrétní požadavky na klima. Tím se zajistí dokonalé podmínky pro růst simulující ideální den rostliny.

Jednotka umožňuje ovládat zalévání ke kořenům až 16 individuálně řízenými ventily. Zalévání na list lze provádět pomocí osmi ventilů pro tvorbu vodní mlhy. Pro dosažení ideálních podmínek lze ovládat až 4 ventily topení a 4 individuální segmenty osvětlení. Samozřejmostí je možnost připojení všech dostupných senzorů své mateřské firmy. [11]



Obrázek 2.7: Průmyslový počítač LCC4 [11]

RTFC-7 senzor

Představuje kombinovaný senzor pro snímání teploty vlhkosti a oxidu uhličitého. Okolní vzduch je nasáván pomocí ventilátoru do senzoru, kde následně probíhá veškeré měření. Pro snímání oxidu uhličitého využívá princip absorpce infračerveného záření tímto plynem. Senzor se doporučuje jednou ročně kalibrovat.

Teplotu lze snímat v rozmezí -10 až $+60$ °C a chyba měření by neměla přesáhnout $0,3$ °C. Vlhkost vzduchu dokáže snímat v rozmezí 10 až 100 % a chyba měření by měla být menší jak 3 %. Výskyt oxidu uhličitého ve vzduchu pak měří v rozmezí 0 až 2000 ppm kde odchylka by neměla být větší jak 100 ppm. [12]



Obrázek 2.8: Kombinovaný senzor RTFC-7 [12]

Q20 senzor

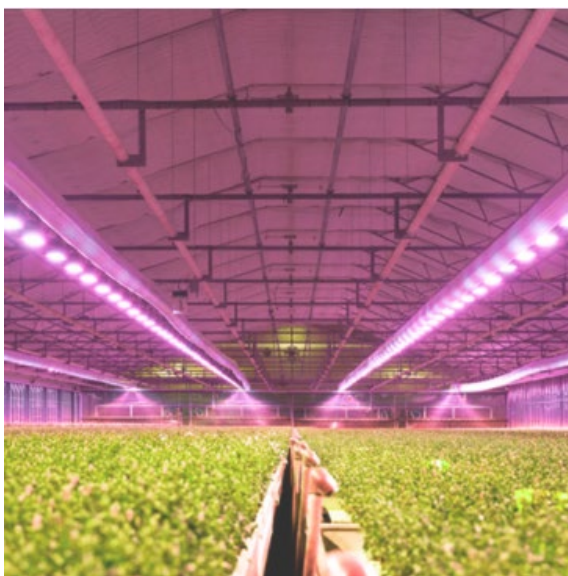
Jedná se o senzor snímající vlnovou délku dopadajícího světla. V případě, že se vlnová délka neshoduje s optimálním světlem pro pěstovanou rostlinu, počítač LCC4 je schopen nastavit přidavný přísvit tak, aby rostlina měla ideální podmínky pro její růst. [13]



Obrázek 2.9: Senzor vlnové délky světla Q20 [13]

LED přísvit

Správná vlnová délka světla dokáže snížit množství hnojiva, které pěstovaná rostlina potřebuje. Přísvit se tak používá nejen v prostorách, které trpí nedostatkem slunečního záření. V kombinaci s úspornými LED diodami představuje přísvit jednoduchý způsob, jak zvýšit efektivitu pěstování a částečně snížit náklady za hnojivo. Firma Senmatic nabízí celou řadu LED osvětlení s různými spektry vlnových délek, které se liší podle konkrétních potřeb pěstovaných rostlin. [14]



Obrázek 2.10: Aplikace LED přísvitu ve skleníku [14]

Půdní senzor

Pro snímání stavu půdy, ve které rostou nasazené rostliny, slouží půdní senzor. I zde se jedná o kombinovaný senzor, který měří jak vlhkost, tak teplotu půdy. Na základě těchto dat lze spouštět zalévání nebo otevřít ventil pro ohřev půdy. [15]



Obrázek 2.11: Kombinovaný půdní senzor Senmatic [15]

Senzor teploty listu

Sluneční paprsky mohou listy tepelně stresovat, což způsobuje zbytečné vysilování rostliny. Odhalení tohoto problému v určitou denní dobu může být klíčové pro správné nastavení zatemňování skleníku. Podobně mohou být listy podchlazené. Při tomto zjištění je potřeba vhodně přenastavit vyhřívání vzduchu a půdy skleníku. Obecně teplota listu udává rychlost růstu rostlin a ideální hodnoty zabraňují zpoždění produkce.

Senzor měří teplotu pomocí infračerveného záření a naměřená data posílá do počítače LCC4, na kterém lze zobrazit aktuální hodnoty teplot včetně statistik pro kontrolu vývoje teploty po celý den. [16]



Obrázek 2.12: Senzor teploty listu [16]

Meteorologická stanice MS900C

Pro nastavení automatizace skleníku je vhodné znát venkovní povětrnostní podmínky a na jejich základě provádět správné akce. K tomu slouží meteorologická stanice MS900C obsahující 6 senzorů. Tyto senzory měří venkovní teplotu, směr větru, rychlost větru, intenzitu slunečního záření, přítomnost deště i venkovní vlhkost. Každý senzor je umístěný tak, aby měřené hodnoty byly co nejpřesnější a nebyly ovlivněny nežádoucími vlivy. [29]



Obrázek 2.13: Meteorologická stanice MS900C [29]

2.2.2.2 Hnojení

Ideální klimatické podmínky jsou základ pro správný růst rostliny. Jakmile však rostlině chybí potřebné živiny v půdě, dochází ke zpoždění produkce což u průmyslových skleníků může znamenat snížení celoročních příjmů. Proto je potřeba rostlinám dodávat všechny potřebné látky pomocí vhodných hnojiv.

AMI Penta fertilizer Mixer

Firma Senmatic nabízí komplexní řešení hnojení v podobě zařízení s názvem „AMI Penta fertilizer Mixer“. Toto zařízení má za úkol zajistit správné přimíchávání biomasy a hnojiv do vody přesně podle požadavků každé rostliny. Ve výsledku tak dvě čerpadla rozvádí vodu až pomocí 200 elektrických zavlažovacích ventilů. Jednotka si pamatuje až 20 různých hnojících receptur, které zajistí správné hnojení každé rostliny ve skleníku. Tomu napomáhají také senzory měřící pH a elektrickou vodivost namíchaného výživného roztoku, které lze napojit přímo na jednotku AMI Penta.

Trendem poslední doby je efektivita, na kterou myslí i AMI Penta. Jednotka tak dokáže pracovat se stanicí pro úpravu recyklované vody. Ta se nejčastěji čistí pomocí UV záření, které zabíjí organismy přítomné ve vodě. [28]



Obrázek 2.14: AMI Penta fertilizer Mixer [28]

2.2.2.3 SuperLink 6 a WebLink

Software SuperLink 6 slouží k centralizaci veškerého pořízeného vybavení od firmy Senmatic. Program obsahuje grafické prostředí, pomocí kterého lze kontrolovat a ovládat všechny průmyslové počítače jako jsou LCC4 nebo AMI Penta společně s veškerým připojeným hardwarem. Na jednom zařízení tak uživatel dokáže sledovat nejrůznější statistiky skleníku a nastavovat automatizaci do budoucna. Program dále umožňuje export všech naměřených dat pro vlastní rozbor. SuperLink lze dále ovládat pomocí programu WebLink, který umožňuje vzdálený přístup z jakéhokoliv zařízení přes internetovou síť. [30]



Obrázek 2.15: Grafické prostředí softwaru SuperLink 6 [30]

2.2.3 Menší soukromé skleníky

Pro automatizaci menších soukromých skleníků mívá uživatel většinou výrazně nižší rozpočet, než tomu je u firem vlastnících velké průmyslové skleníky. Proto častokrát sáhne po podobné automatizaci jako je popsána v kapitole 2.2.1.

Tato automatizace dokáže do určité míry usnadnit práci se staráním se o rostliny. V porovnání s automatizací od firmy Senmatic však chybí spousta užitečných senzorů, které majiteli popisují přesné podmínky, ve kterých jeho rostliny aktuálně rostou. Také samotná automatizace je do značné míry omezená a uživatel musí veškerá nastavení provádět přímo uvnitř skleníku na každém zařízení zvlášť. Tato zařízení většinou nepodporují vzdálený přístup a možnost je ovládat pomocí mobilní aplikace. Dále zařízení neumožňují integraci do většího celku, který by bylo možné kontrolovat z jednoho místa. Není tak divu, že lidé vymýšlí způsoby, jak si vytvořit vlastní automatizaci, která se přiblíží komplexnímu řešení profesionálních firem, a to za zlomek ceny.

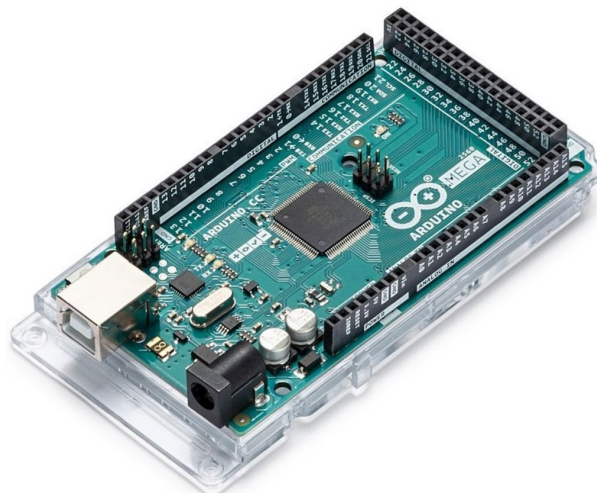
2.2.3.1 Řídící počítač

Řídící počítač má sloužit jako náhrada průmyslového počítače, na který bude připojeno veškeré vybavení skleníku. Jmenovitě se pak jedná o nejrůznější senzory, akuátory a další periferie, které umožňují interakci uživatele s řídicím systémem skleníku. Uživatel tak potřebuje zařízení, které disponuje dostatečným počtem analogových a digitálních pinů, které připojení hardwaru umožní. Nejčastěji se tak rozhoduje mezi mikrokontrolery s procesorem Atmega2560 od firmy Atmel nebo osobním mini počítačem Raspberry Pi 4, který je vybavený čipem ARM Cortex-A72. Obě zařízení nabízí velké množství vstupních a výstupních pinů společně s dostatečným výkonem za nízkou cenu.

Arduino MEGA

Jedná se o běžně využívaný mikrokontroler s procesorem Atmega2560. Výhodou je možnost zakoupit klon originálního zařízení, a tím výrazně ušetřit za řídicí mikrokontroler. Cena klonu se na tuzemském trhu pohybuje kolem 350 Kč, zatímco originální zařízení stojí kolem 1100 Kč.

Zařízení disponuje 54 digitálními vstupně výstupními piny kde 15 z nich může být využito pro generaci pulzně šířkové modulace. Pro snímání analogového signálu má Arduino vyhrazeno dalších 16 vstupů. Deska je dále vybavena SRAM pamětí o velikosti 8 KB, EEPROM pamětí o velikosti 4 KB a Flash pamětí o velikosti 256 KB z nichž lze využít 248 KB. [18] I přes nižší frekvenci krystalu, která je v tomto případě 16 MHz, lze s mikrokontrolerem obstojně pracovat. Vzhledem k absenci operačního systému je nutno programovat veškerou logiku v jazyce C/C++.

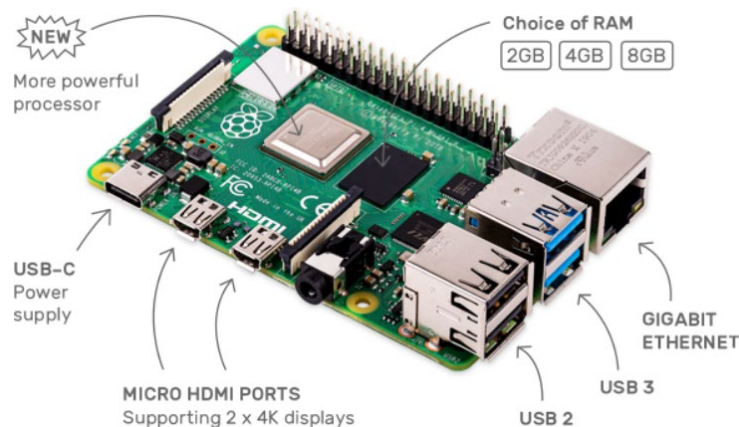


Obrázek 2.16: Deska Arduino MEGA [18]

Raspberry Pi 4

Raspberry Pi lze považovat za malý výkonný počítač, jehož cena se na tuzemském trhu pohybuje kolem 1100 Kč. Zařízení je vybaveno čtyřjádrovým procesorem s kmitočtem 1,5 GHz, pamětí RAM o velikosti až 8 GB a velkým množstvím již zapojených periférií. Jmenovitě se jedná o grafický čip, WiFi a Bluetooth modul, gigabitový ethernet, 2x USB 2.0 konektor, 2x USB 3.0 konektor, 2x microHDMI 2.0 konektor a spoustu dalších. Pro automatizaci skleníku se především hodí 40 GPIO pinů, které lze používat mimo jiné pro generování PWM signálu a pro komunikaci pomocí sériových protokolů jako jsou SPI, I2C a UART. Samozřejmostí je možnost připojení nejrůznějších senzorů, aktuátorů a displejů. [31]

Protože je Raspberry Pi malý počítač, lze ho i podobně programovat. Pro inteligentní skleník by šel využít programovací jazyk Python, který je již na zařízení předinstalován. Nevýhodou může být to, že se jedná o interpretovaný jazyk, jehož rychlost je výrazně nižší v porovnání s kompilovaným jazykem C/C++. V kombinaci s 1,5 GHz procesorem by to však neměl být velký problém. Ve výsledku tak bude záležet především na výsledné náročnosti vytvořené automatizace.



Obrázek 2.17: Počítač Raspberry Pi 4 [31]

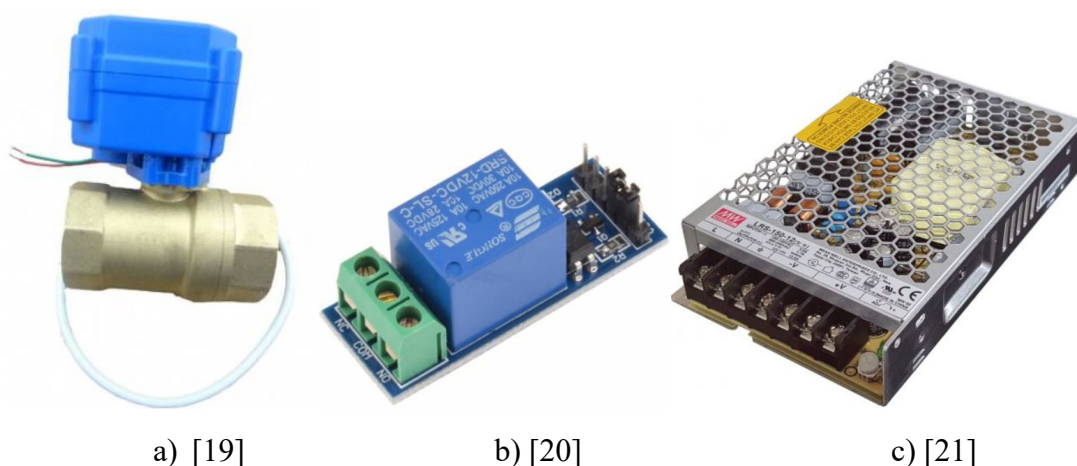
2.2.3.2 Zavlažování

Pravidelné zavlažování uvnitř skleníků provádí nejčastěji sami majitelé. Není tedy divu, že se jedná o první věc, kterou se snaží zautomatizovat. Obecně se dají použít 2 způsoby. Jako první lze pro zavlažování využít barel s dešťovou vodou, který je umístěný výše jak samotné záhony. Díky tomu stačí na výstup z barelu připojit pouze jeden elektrický ventil, který bude zodpovědný za pravidelné zavlažování.

Jako druhý způsob lze využít domácí vodárnu s čerpadlem, která udržuje stálý tlak uvnitř potrubního systému, na jehož konec je potřeba opět umístit elektrický ventil, který pravidelným otvíráním zajistí závlahu rostlin. Nejčastěji se používá elektromagnetický ventil, který se otevře v případě, že je na jeho vstup přivedeno napětí 12 nebo 24 V. Uzavření ventilu se pak provádí buďto otočením polarity napětí, nebo přivedením nulového potenciálu na vstup ventilu. V praxi to pak může vypadat následovně. Výstupní pin z řídicího počítače spíná pomocí předem definovaného napětí elektromagnetické relé, které následně přivádí na vstup elektrického ventilu správné napětí, které zajistí buďto jeho otevření nebo zavření.

Výše zmíněnou logiku zalévání lze doplnit o čidla vlhkosti půdy, díky kterým lze provádět zalévání pouze v případech, kdy je to potřeba a vyhnout se tak jednoduchému zalévání s časovačem. Podobně lze použít ultrazvukové čidlo pro snímání výšky hladiny rezervoáru vody. Toto čidlo může sloužit jako kontrolní prvek, který počítači napoví, že je potřeba šetřit s vodou. Veškerou logiku zavlažování si musí uživatel individuálně naprogramovat v závislosti na použitém hardwaru.

Cena jednoho elektromagnetického ventilu se pohybuje kolem 500 Kč. Pokud k ceně připočteme 50 Kč za spínací relé, dokážeme v ideálním případě zavlažovat jeden segment skleníku za 550 Kč. Pokud bychom skleník rozdělili do třech segmentů, které chceme zavlažovat individuálně, mohla by se cena kompletní automatizace i s řídicím počítačem, napájecím zdrojem a drobným materiálem udržet pod hranicí 3500 Kč.



Obrázek 2.18: a) Elektrický ventil, b) Spínací relé, c) Zdroj 12 V pro ovládání ventilů

2.2.3.3 Větrání

Správná teplota uvnitř skleníku se nejčastěji udržuje pomocí otvírání a zavírání oken. V nejjednodušším případě lze použít automatické otvírače oken, které není potřeba nijak napájet. Nevýhodou může být fakt, že je nelze napojit na řídicí počítač a uživatel tak nemá přehled o tom, jestli jsou okna momentálně otevřená nebo zavřená. Dále je znemožněna jakákoliv pokročilá automatizace otvírání oken, která by například zavírala okna v případě deště nebo naopak odvětrávala příliš vlhký vzduch uvnitř skleníku.

Proto je možnost vybavit skleník elektrickým lineárním pohonem, který může buďto přímo, nebo pomocí nějakého mechanismu otvírat okna skleníku. Obecně se volí takový pohon, který se ovládá stejným napětím jako již použité elektrické ventily pro zavlažování. V takovém případě lze totiž využít již pořízený napěťový zdroj. Automatizace větrání je často doplněna o senzory teploty a vlhkosti vzduchu společně se senzorem deště.

Lineární pohony bývají vybaveny koncovými spínači, a ovládají se pouze přivedením správného napětí na jejich vstup. Pomocí polarity napětí lze řídit směr vysouvání pístu. Koncový spínač ukončí pohyb pístu v krajních polohách i v případě, že řídicí systém drží na pohonu stále napětí odpovídající pohybu pístu. V praxi tedy řídicí počítač opět spíná relé tak, aby bylo na kontaktech pohonu správné napětí, které odpovídá požadovanému pohybu. Dále je vhodné znát rychlost posuvu a v požadované poloze napětí odpojit a nespolehat se pouze na koncové spínače.

Cena pohonu se různí v závislosti na jeho zdvihu a maximální nosnosti. Obecně se ceny na tuzemském trhu pohybují od 1000 do 6000 Kč. Ke každému pohonu je potřeba dále započítat jedno dvoukanálové elektromagnetické relé, jehož cena se pohybuje kolem 50 Kč. Jedná se tak o jednu z nejdražších částí domácí automatizace skleníku.



a) [22]

b) [23]

Obrázek 2.19: a) Lineární pohon, b) Dvoukanálový relé modul

2.2.3.4 Ostatní automatizace a software

Jakmile má uživatel zprovozněnou automatizaci zavlažování a případně větrání, je již velmi jednoduché přidat senzory snímající například teplotu půdy, nebo rychlost větru vně skleníku. Podobně lze přidat nespočet aktuátorů jako jsou například přímotopy a ventilátory uvnitř skleníku, které zajistí ideální teplotu i v podzimních měsících.

Veškerý použitý hardware bývá přímo spojený s řídicím počítačem pomocí kabeláže. Ve výsledku tak bývá množství hardwaru omezeno pouze výpočetním výkonem a množstvím vstupních a výstupních pinů řídicího počítače. Veškerá logika automatizace je následně vytvořena v programu řídicího počítače, který má přesně definované piny, na kterých je připojený hardware skleníku. Jak s jednotlivými signály uživatel naloží je pouze na jeho preferencích a programovacích schopnostech. Ve výsledku je tedy podoba domácího softwaru automatizace silně individuální a nelze přesně říct, jak bude vypadat. Obecně však platí, že uživatel nemívá přístup ke statistikám použitých senzorů a aktuátorů.

Ke komunikaci s řídicím počítačem používá uživatel nejčastěji displej, pomocí kterého lze sledovat aktuální stavy jednotlivých senzorů a aktuátorů a následně je i ovládat. Zkušenější uživatelé doplňují nebo úplně nahrazují displej možností vzdáleného přístupu pomocí nejrůznějších aplikací. Uživatel tak může z pohodlí domova sledovat fungování vlastní naprogramované automatizace a změnit stav aktuátorů v případě potřeby.

3 Zhodnocení řešerše a specifikace vlastního řešení

3.1 Porovnání aktuálních přístupů automatizace skleníku

Při výběru automatizace hraje vždy největší roli pořizovací cena. Komplexní automatizace skleníku firmou Senmatic velmi rychle přesáhne částku 100 000 Kč. Jen cena průmyslového počítače LCC4, který slouží pro udržování správného klimatu, se pohybuje kolem 80 000 Kč. K ceně jednotky je dále nutné přičíst všechn potřebný hardware, který bude napomáhat správné automatizaci skleníku. Ve výsledku se tak jedná o automatizaci, které je určena převážně pro botanické zahrady nebo firmy s velkými průmyslovými skleníky. Výhodou je instalace profesionální firmou, která dokáže zajistit prvotřídní podmínky pro pěstování rostlin. Vlastník pak může kontrolovat a upravovat chování skleníku z jednoho zařízení pomocí aplikace SuperLink a WebLink. Nevýhodou takové automatizace je její cena a nutnost nadále kupovat drahé produkty pouze jedné firmy. Také škálovatelnost není ideální, neboť každé řídicí zařízení má přesně daný počet jednotlivých komponent, které ním lze ovládat.

Jestliže je člověk majitelem skleníku s kaktusy a poohlíží se po možné automatizaci, nedává úplně smysl pořizovat produkt za stovky tisíc pro rostliny, které nejsou příliš náročné na pěstování. Takovému uživateli častokrát postačí jednoduchá automatizace, která se může skládat ze zavlažovacích počítačů, automatických otvíračů oken a vyhřívání pomocí termostatu a vhodně zvolené vytápěcí soustavy. Výhodou takovéto automatizace je jednoduchá instalace a nižší cena v porovnání s komplexní automatizací. Nevýhodou je nemožnost kontrolovat celkový stav skleníku z jednoho zařízení. Veškerá nastavení je potřeba provádět přímo ve skleníku a v případě, že uživatel bude chtít obměnit pěstované rostliny za náchylnější, může být použitá automatizace nedostatečná.

Třetí způsob automatizace zmíněný v řešerši volí převážně nadšenci, kteří by svým rostlinám rádi dopřáli podmínky přesně podle svých představ. Nevýhodou je nutná znalost elektroniky a programování. Uživatel si musí vše správně rozvrhnout, připojit a naprogramovat. Už zde lze cítit, že tento způsob není pro každého a častokrát bývá plný kompromisů. Výhodou je nízká cena, vysoká kompatibilita a jednoduchá škálovatelnost, která je omezena pouze množstvím pinů řídicího počítače.

Proto vznikl nápad vytvořit vestavěný systém, který si vezme klady ze všech výše zmíněných přístupů automatizace a z jakéhokoliv skleníku vytvoří chytrý skleník, který se bude starat o co nejvíce věcí sám bez nutnosti do něj jakkoliv zasahovat. Celý systém by měl být co nejjednodušší a nejlevnější, aby si ho mohla nasadit široká veřejnost bez nutnosti platit vysoké částky za značkové produkty, a to vše při zachování jejich aktuálních standardů. K dispozici bude automaticky generovaná webová aplikace poskytující možnost vše sledovat a ovládat z dálky, a to z jakéhokoliv zařízení. Dále je

v plánu vytvořit jednoduchý a univerzální způsob, díky kterému si bude moct každý nastavit automatizaci svého skleníku přesně podle svých představ bez nutnosti znalosti jakéhokoliv programovacího jazyka. Celý tento vestavěný systém by měl být velmi rychle rozšiřitelný o další senzory bez nutnosti kontrolovat volné piny řídicího počítače a bez nutnosti jakkoliv upravovat software hlavního serveru. Vše bude automatizované, jednoduché a levné.

3.2 Cíl práce

Cílem této práce je navrhnout a vytvořit vestavěný řídicí systém pro inteligentní skleníky na bázi běžně dostupných mikrokontrolerů umožňující automatizaci provozu skleníku. Řešení bude obsahovat zařízení pro automatizaci procesů, webovou aplikaci pro sledování aktuálních stavů a statistik a také potřebné ovládací prvky pro manuální ovládání aktuátorů na dálku. Dále bude navržený systém podporovat napojení na nadřazený server, který umožní vzdálený monitoring a řízení. Jednotlivé cíle práce jsou následující:

- Seznámení se s problematikou provozu a automatizací inteligentních skleníků.
- Navržení architektury škálovatelného řídicího systému.
- Vybranou architekturu zrealizovat na vhodném skleníku
- Prakticky ověřit vlastnosti navrženého systému

4 Řešení a výsledky

4.1 Výběr řídicího mikrokontroleru

Vybraný mikrokontroler by měl splňovat několik základních požadavků. Měl by mít vysoký výkon, možnost bezdrátové komunikace a nízkou cenu. Pro bezdrátovou komunikaci bylo upřednostněno Wi-Fi připojení před Bluetooth technologií. Bluetooth je primárně navržen pro komunikaci dvou zařízení a řešení plánuje umožnit ovládat inteligentní skleník několika uživatelům najednou. Také komunikace akčních členů a senzorů s řídicím mikrokontrolerem může probíhat bezdrátově. To umožní lepší škálovatelnost a nezávislost na množství vstupních a výstupních pinů řídicího mikrokontroleru.

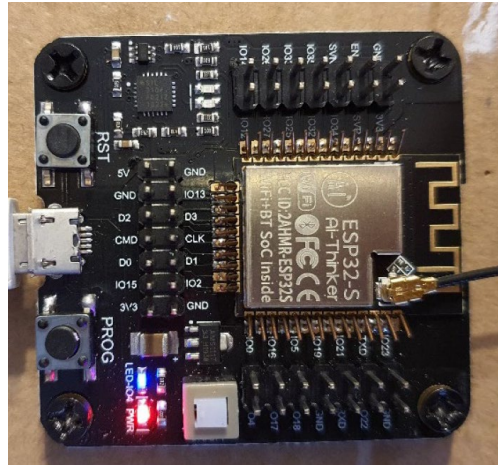
4.1.1 ESP-32

Pro tuto práci byl zvolen čip ESP-WROOM-32. Jedná se o vysoce výkonný mikroprocesor vybavený Wi-Fi modulem, rádiem a Bluetooth ve verzi 4.2 s podporou BLE (Bluetooth Low Energy). Procesor obsahuje dvě výpočetní jádra pracující s maximální frekvencí 240 MHz a jeho SRAM paměť má velikost 512 kB [5]. Tento výkon se hodí právě v případech, kdy je potřeba bezdrátově komunikovat s větším množstvím senzorů a akčních prvků najednou.

Bylo rozhodnuto, že komunikace uživatele s mikrokontrolerem bude probíhat pomocí Wi-Fi a webového rozhraní. To umožní řídit a kontrolovat inteligentní skleník z jakéhokoliv zařízení, které se dokáže připojit k přístupovému bodu samotného procesoru nebo routeru, ke kterému je mikrokontroler zrovna připojený. „Není tedy potřeba používat speciálně vyvinuté aplikace pro komunikaci s procesorem. Jedinou podmínkou je základní internetový prohlížeč, který bude schopen načíst danou webovou aplikaci.“ [32]

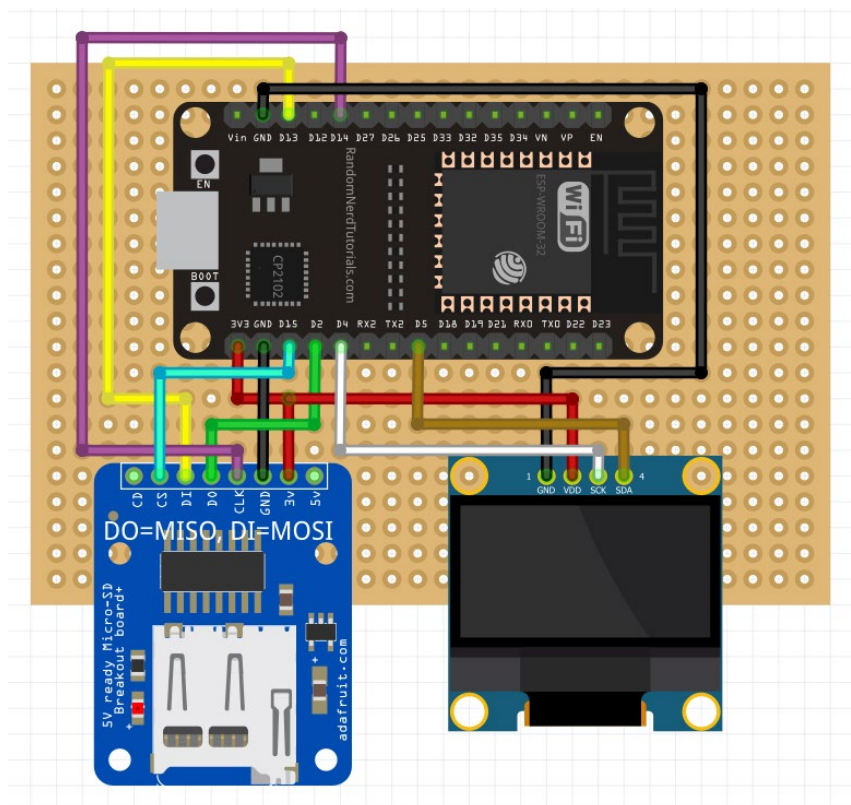
Procesor je dále vybaven dostatečným množstvím výstupních a vstupních pinů pro případné připojení hodin reálného času nebo rozšíření paměti pomocí čtečky paměťových karet. Cena mikrokontroleru ani v tuzemských obchodech nepřesahuje 300 Kč, což z ESP-32 dělá velmi dobrou volbu s perfektním poměrem cena/výkon.

„Velkou výhodou je možnost programovat procesor v prostředí Arduino IDE. V tomto prostředí lze jednoduše přidávat potřebné knihovny, nebo nahrávat podobu webových stránek procesoru přímo do jeho flash paměti.“ [32]



Obrázek 4.1: Programování čipu ESP-32. Foto Jiří Šindelář [32]

K nadřazenému mikrokontroleru byl nakonec připojený vlastní OLED displej pro zobrazování základních informací. Dále byla k němu připojena periferie umožňující čtení a zápis na SD karty. Dohromady tak vznikla finální podoba serveru, který bude zodpovědný za řízení celého skleníku.



Obrázek 4.2: Zapojení nadřazeného mikrokontroleru

4.2 Výběr senzorické části

Aby byl uživatel schopen nastavit automatizaci skleníku podle svých představ, je zapotřebí snímat různé stavy skleníku. V této práci se budou snímat pouze základní stavy, které bude chtít snímat drtivá většina uživatelů. Důraz je opět kladen na nízkou cenu, dostupnost a jednoduchost práce s těmito senzory.

Každý senzor by měl být schopen bezdrátově komunikovat s řídicím mikrokontrolerem. K tomu bylo potřeba vybrat další mikrokontroler, ke kterému bude vždy daný senzor připojen. Na mikrokontroler jsou kladeny podobné nároky, jako na ten řídicí. Jedinou změnou je menší důraz na výkon, který zde není úplně prioritní. Mikrokontroler by měl být schopen odbavovat všechny požadavky bez zbytečných prodlev, ale jeho zatížení nebude nikterak velké. Jeho úkolem bude občasná komunikace s nadřazeným mikrokontrolerem a pravidelné měření požadovaného stavu.

4.2.1 ESP-8266

ESP-8266 je ve spoustě věcí podobný mikrokontroleru ESP-32. Tato podobnost není náhodná. Oba produkty vyrábí čínská firma Espressif a ESP-32 představuje nástupce mikrokontroleru ESP-8266. ESP-8266 tak má menší maximální kmitočet a to 160 MHz. Také množství analogových a digitálních pinů je menší. Na druhou stranu jeho cena nepřesahuje 200 Kč a když uvážíme, že tento mikrokontroler má být přítomný u každého senzoru a má mít za úkol obsluhovat pokaždé pouze jeden senzor společně s občasnou komunikací s nadřazeným mikrokontrolerem, je zřejmé, že se jedná o dobrou volbu, u které zhoršení oproti čipu ESP-32 nijak nepocítíme.

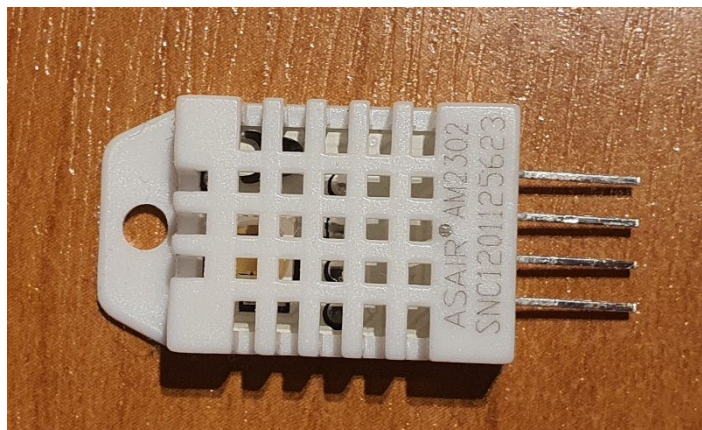
4.2.2 Senzor teploty a vlhkosti vzduchu

Během teplých letních dní se může stát, že teplota uvnitř skleníku velmi rychle přesáhne teplotu 30°C. Obecně se má za to, že teplota uvnitř skleníku by neměla být větší jak 32°C, proto je potřeba mít povědomí o aktuální teplotě a v případě přesáhnutí této teploty ideálně skleník vyvětrat například otevřením oken. Podobně je potřeba sledovat dolní hranici teploty. Teplota ve skleníku by neměla klesnout pod 18 °C, proto by bylo vhodné okna zavřít v případě, kdy teplota klesne pod 20 °C.

Dále je potřeba kontrolovat vlhkost vzduchu, která dokáže ovlivnit třeba míru vysychání půdy. Například okurky na proschnutí půdy reagují rychlým vadnutím. Ztrátu vody proto pomůže omezit vysoká vlhkost vzduchu, optimálně kolem 90 %. Na druhou stranu rajčata trpí na plísně a vzduch by měl mít ideálně vlhkost kolem 60 %. Proto je potřeba mít povědomí o vlhkosti uvnitř skleníku a přizpůsobit větrání plodinám, které jsou uvnitř vysazené.

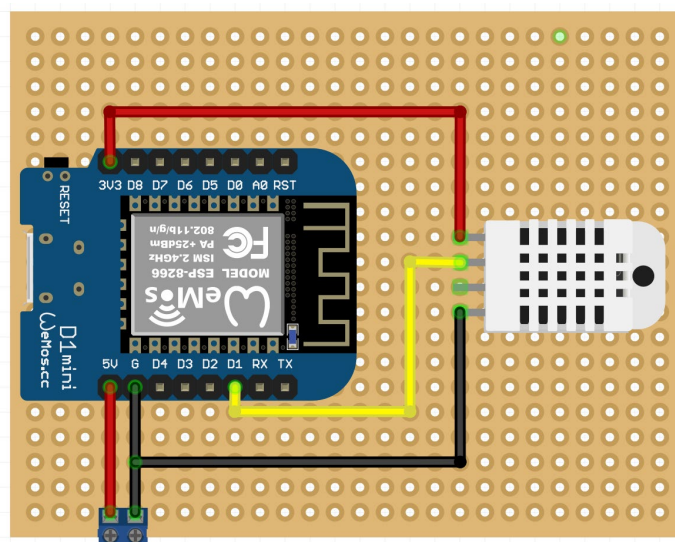
Pro snímání byl vybrán senzor DHT22, který dokáže měřit jak vlhkost, tak teplotu vzduchu v rozmezí -40 až 80 °C. Chyba měření teploty by podle dokumentů

neměla přesáhnout 0,5 °C a u vlhkosti by chyba neměla být větší jak 2 %. Rozlišitelnost teploměru a vlhkoměru je dostačujících 0,1°C a 1 %. Tento senzor je potřeba napájet napětím 3,3V a komunikace s připojeným ESP8266 pak probíhá přes sériovou linku. Jakmile chce mikrokontroler znát aktuální data teploty nebo vlhkosti vzduchu, stačí se senzoru přes sériovou linku dotázat a on vzápětí odpoví. Celý tento komunikační proces obstarává veřejně přístupná knihovna, díky které je práce s tímto senzorem velmi jednoduchá.



Obrázek 4.3: Senzor DHT22. Foto Jiří Šindelář

Senzor DHT22 byl připojen k mikrokontroleru ESP-8266 přesně podle níže přiloženého schématu. Chytrý senzor jako celek je následně napájený pomocí svorek, na které je potřeba přivést stejnosměrné napětí 5 V.



Obrázek 4.4: Zapojení chytrého senzoru vlhkosti a teploty vzduchu

4.2.3 Senzor venkovní teploty, teploty půdy a teploty vody

Teplota půdy je další ukazatel, který se může hodit v případě pěstování náchylnějších plodin. Pro zdravou úrodu je ideální udržet teplotu půdy nad 15 °C. V případě, že teplota půdy klesne pod 17 °C, je vhodné zvážit napojení senzoru na automatizaci, která zapne vyhřívání skleníku přímotopem nebo třeba tepelným čerpadlem.

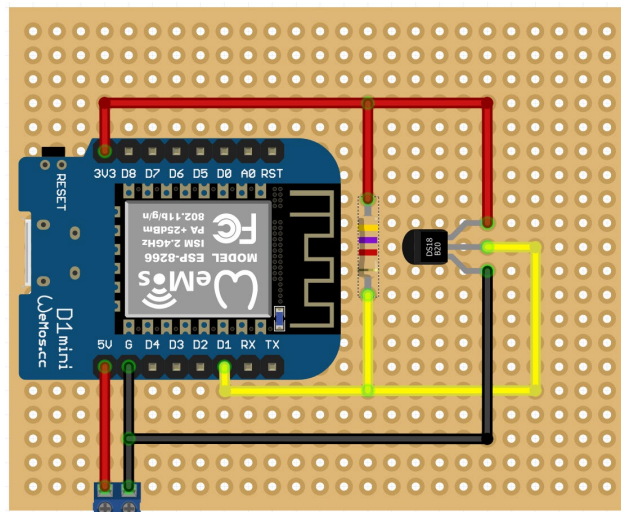
V některých případech může být žádoucí měřit teplotu vody, kterou chceme zalévat. V případě pěstování kaktusů se nedoporučuje zalévání studenou vodou. Proto se může hodit vyhřívání nádoba, ve které se nechá odstát voda, kterou se bude v budoucnu zalévat. Do nádrže je pak ideální umístit teploměr a vodu ohřívat v případě kaktusů na 25 °C.

Pro měření venkovní teploty společně s teplotou půdy a vody bylo potřeba vybrat senzor, který bude umístěn ve vodotěsném a pokud možno odolném pouzdře. Proto byl vybrán senzor Dallas s označením DS18B20 uvnitř vodotěsného nerezového pouzdra. Teploměr měří v rozmezí -55 až 125 °C s přesností $\pm 0,5$ °C a citlivostí až 0,05 °C. Napájení je stejné jako v případě senzoru DHT22, tedy 3,3V. Komunikace se pak trochu liší. U teploměru Dallas je použita speciální jednovodičová sběrnice, která umožňuje na tento komunikační vodič připojit velké množství senzorů, kde každý má svou unikátní 64bitovou adresu. Následně pomocí veřejně dostupných knihoven lze odečítat hodnoty každého teploměru zvlášť.



Obrázek 4.5: Teploměr Dallas DS18B20. Foto Jiří Šindelář

Pro správné měření teplot je zapotřebí připojit komunikační pin teploměru na správný vstupní pin mikrokontroleru. Následně je potřeba pomocí pull-up odporu zajistit propojení komunikačního pinu s napětím 3,3 V. Odpor by měl mít v tomto případě velikost 4700 Ω . Poté je potřeba chytrý senzor napájet přivedením napětí 5 V na příslušné svorky. Pro větší srozumitelnost je zobrazeno zapojení inteligentního senzoru na přiloženém schématu.



Obrázek 4.6: Chytrý senzor pro snímání teploty

4.2.4 Senzor deště

Jako snímač deště byl zvolen jednoduchý odporový senzor, který se skládá z destičky o rozměrech 50x40 mm, která má na obou stranách vyvedeny kontakty napájení a země. Tyto kontakty pokrývají co největší plochu destičky a nejsou nikde propojeny. Jejich povrch není lakován, což umožňuje kapkám deště nebo vločkám sněhu uzavřít obvod a změnit odpor mezi elektrodami. Tento odpor je měřen pomocným obvodem obsahujícím komparátor LM393 jehož analogový výstup je přiveden na 10-bitový AD převodník mikrokontroleru ESP8266. Mikrokontroler pak po převodu měří hodnoty v rozmezí 0 až 1023, které nám sami o sobě neříkají nic o tom, jaké je momentálně počasí. Proto byla provedena řada experimentů a sledování, které měly za úkol zjistit, jaké hodnoty jsou měřeny za deště, po dešti anebo když je senzor úplně suchý.



Obrázek 4.7: Senzor deště s komparátorem LM393. Foto Jiří Šindelář

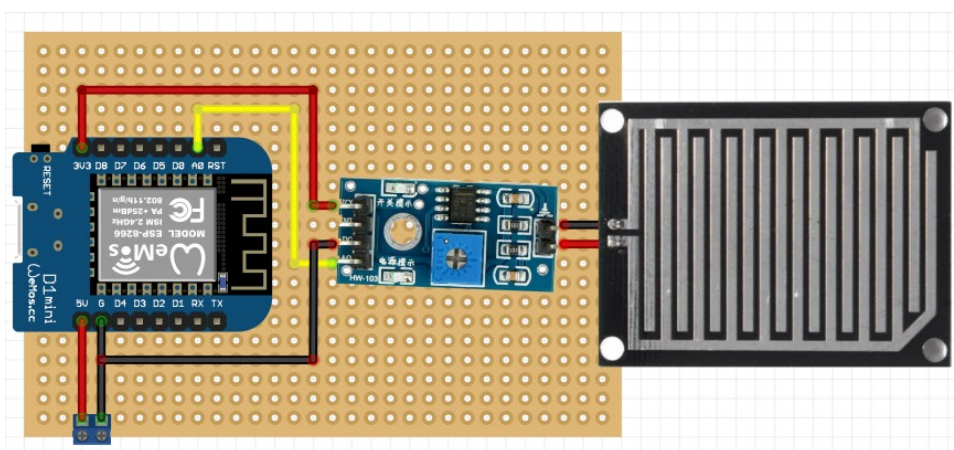
Prvotní pokusy probíhaly v domácím prostředí a výsledky byly následně ověřeny i experimenty v reálných podmínkách. Pro větší srozumitelnost měřených dat, byla vytvořena stupnice „indexu deště“, jehož hodnota určuje, jaké venku momentálně panuje počasí. Její rozložení je zobrazeno v tabulce níže.

Index deště	Měřené hodnoty	Počasí
0	1000-1023	Bez deště
1	500-1000	Po dešti
2	0-500	Děšť

Tabulka 4.1: Závislost indexu deště na aktuálním počasí

Senzor deště tak neposílá nadřazenému mikrokontroleru přímo hodnoty získané pomocí AD převodníku, místo toho posílá aktuální index, který jednoznačně určuje, jestli nedochází ke srážkám.

Nevýhodou těchto senzorů je, že se jich vyrábí celá řada a neexistuje žádná norma, která by je unifikovala. Každý senzor tak může mít trochu jinou charakteristiku. Proto je potřeba používat vždy stejný senzor nebo pomocí experimentů upravit získanou hodnotu indexu v závislosti na aktuálních měřených hodnotách tak, aby to odpovídalo stavu počasí popsaném v tabulce 4.1. Níže přiložené schéma zobrazuje zapojení inteligentního senzoru deště.



Obrázek 4.8: Zapojení chytrého senzoru deště

4.2.5 Senzor vlhkosti půdy

Správné zalévání rostlin je nezbytné pro jejich růst. Zalévat by se mělo brzo ráno, nebo až pozdě večer, a to správným množstvím vody. Každá rostlina potřebuje jiné množství vláhy a pomocí senzoru vlhkosti půdy jsme schopni určit, jestli se jí tato vláha dostává ve správném množství. Dále můžeme zalévací cyklus vynechat v případě, kdy půda stále obsahuje dostatek vody.

Pro snímání vlhkosti půdy byl zvolen senzor podobného typu jako v případě senzoru deště. Jedná se opět o odporový senzor, který má tentokrát tvar vidličky se dvěma ostny. Každý osten je pokryt vodivou vrstvou bez vrchního laku a na jeden je přivedeno napájení a na ten druhý zem. Při zasunutí do vlhké půdy dochází ke změně odporu mezi elektrodami. Tento odpor je měřen pomocným obvodem obsahujícím komparátor LM393 jehož analogový výstup je opět přiveden na 10-bitový AD převodník mikrokontroleru ESP8266.



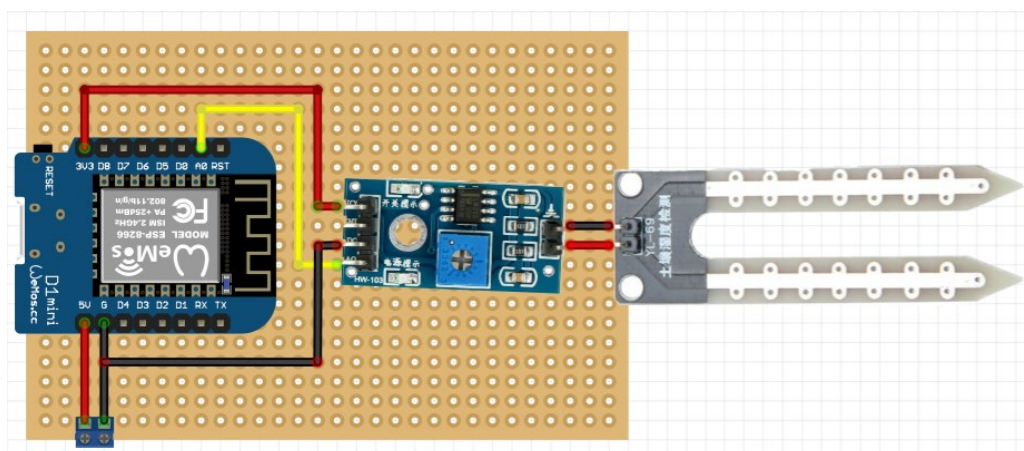
Obrázek 4.9: Použitý senzor vlhkosti půdy s komparátorem LM393. Foto Jiří Šindelář

Podobně jako u senzoru deště i zde byla experimentálně vytvořena tabulka indexů vlhkosti půdy, která definuje relativní míru její vlhkosti, neboť samotná hodnota z AD převodníku není příliš vypovídající. Popsané stavy půdy v tabulce 4.2 jsou čistě subjektivní, neboť nebyl k dispozici profesionální nástroj pro měření vlhkosti půdy.

Index vlhkosti půdy	Měřené hodnoty	Relativní stav půdy
0	1000-1023	Suchá
1	875-1000	Velmi málo vlhká
2	750-875	Málo vlhká
3	625-750	Vlhká
4	450-625	Velmi vlhká
5	0-450	Čerstvě zalitá

Tabulka 4.2: Závislost indexu vlhkosti půdy na relativním stavu půdy

Před aplikováním automatizace zalévání, která se bude řídit na základě aktuálního indexu vlhkosti půdy, je potřeba si fyzicky ověřit, jak vlhká je půda v případě každého z indexů. Měření je silně ovlivněno složením půdy, a tak se může stát, že stejná rostlina bude potřebovat v jiné půdě zalévat při vyšším nebo nižším indexu, než tomu bylo v půdě předchozí. Také u tohoto senzoru platí, že se jich vyrábí celá řada a neexistuje pro ně žádná norma. Proto je potřeba používat vždy stejný senzor nebo pomocí experimentů získanou hodnotu indexu kalibrovat. Celé zapojení inteligentního senzoru je zobrazeno na obrázku 4.10.

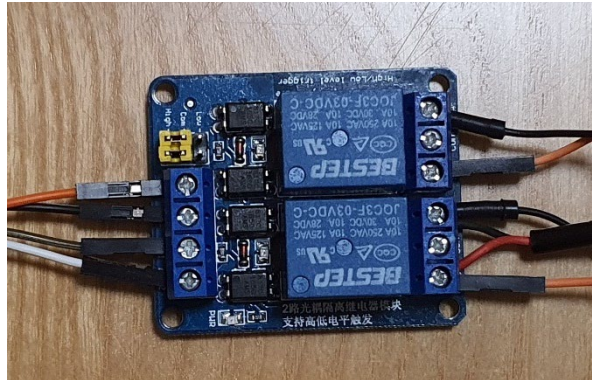


Obrázek 4.10: Zapojení inteligentního senzoru vlhkosti půdy

4.3 Výběr akčních členů

4.3.1 Spínací relé

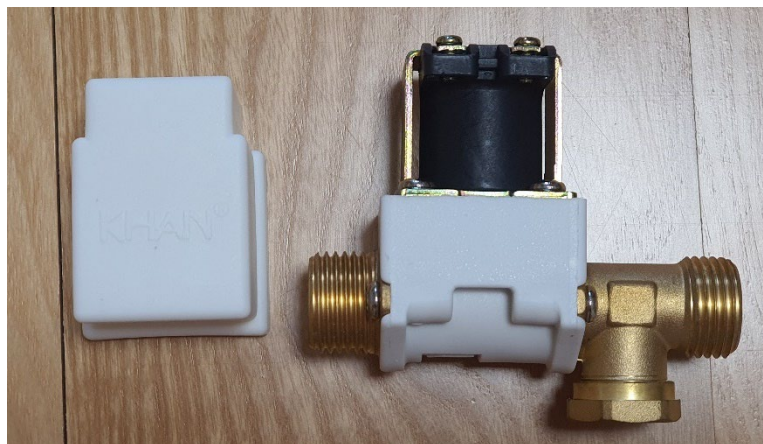
Elektromagnetické relé představuje základní prvek každého aktuátoru. Jedná se o zařízení, díky kterému dokáže mikrokontroler řídicí daný aktuátor přivést na vstup aktuátoru takové napájení, které zajistí požadovanou změnu stavu.



Obrázek 4.11: Dvoukanálové relé pro ovládání lineárního pohonu. Foto Jiří Šindelář

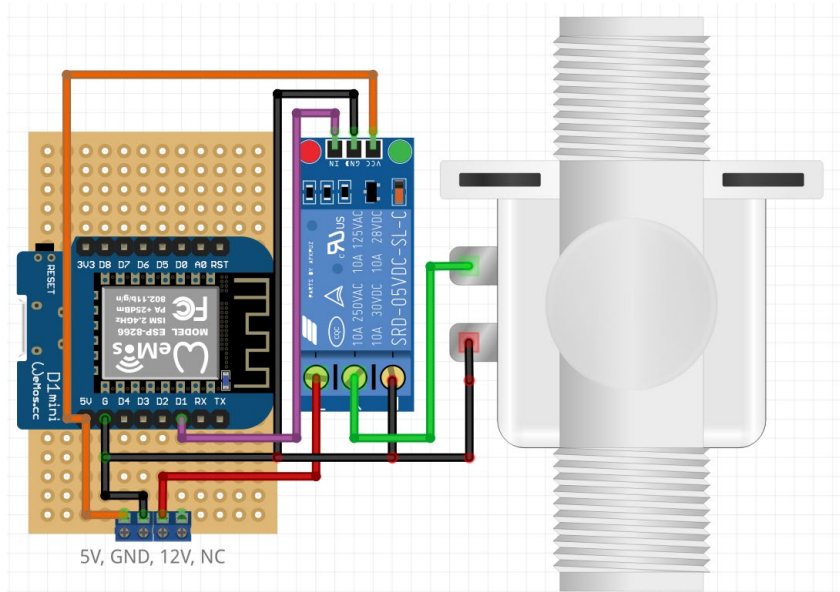
4.3.2 Elektrický ventil

Pro automatizaci zalévání byl použit elektrický normálně zavřený ventil (NC ventil) pracující s napětím 12 V. Po přivedení napájení na vstupní svorky prochází cívkou ventilu proud. Následně síla magnetického pole cívky zdvihá píst proti pružině, která jej naopak tlačí zpět dolů. Po odpojení napájení magnetické pole mizí a pružina píst opět stlačí do původní polohy. Ventil je tak uzavřen. K ovládání nám tedy stačí pouze jedнокanálové elektromagnetické relé.



Obrázek 4.12: Použitý elektromagnetický ventil. Foto Jiří Šindelář

Schéma celého zapojení aktuátoru i s řídicí částí lze vidět na obrázku 4.13.



Obrázek 4.13: Zapojení aktuátoru pro spínání zavlažovacího ventilu

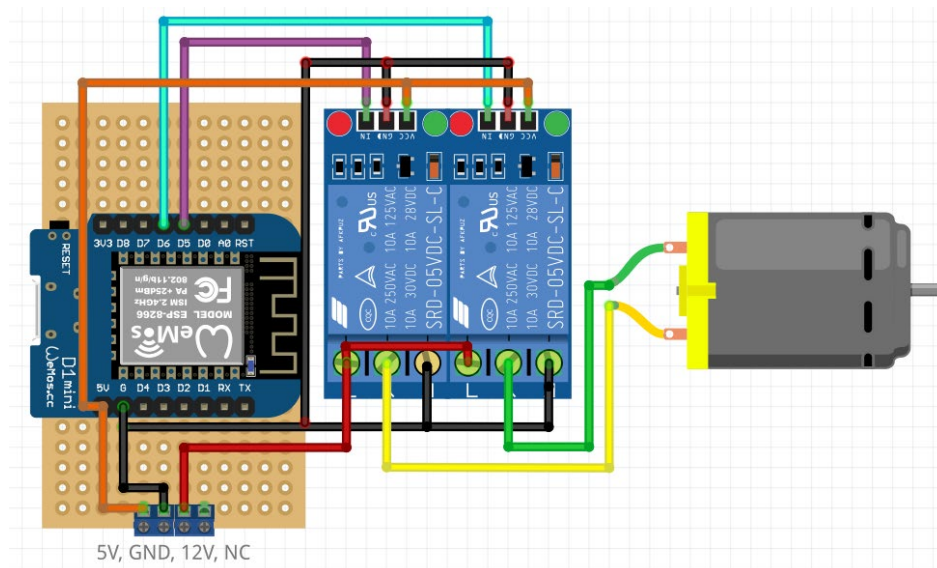
4.3.3 Elektrický lineární pohon

Pro ovládání větrání a otvírání oken byl vybrán elektrický lineární pohon pracující s napětím 12 V. Zdvih použitého pohonu je 200 mm a nosnost byla zvolena 180 N. Pohon je vybaven koncovými spínači a polaritou přivedeného napětí lze jednoduše ovládat směr, kterým se bude pohon pohybovat. Pro správné ovládání tak bylo potřeba použít dvoukanálové relé, které zajistí možnost měnit polaritu přivedeného napětí.



Obrázek 4.14: Použitý lineární pohon. Foto Jiří Šindelář

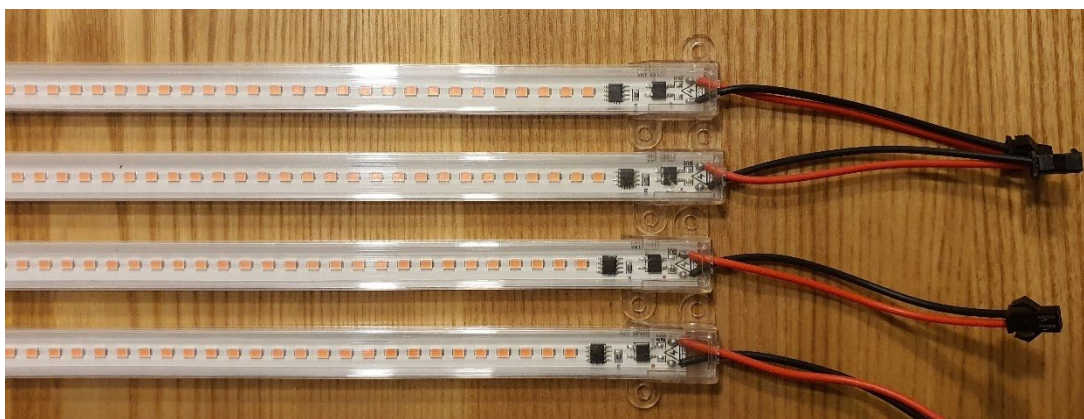
Konečné zapojení aktuátoru pro otvírání oken lze vidět na níže přiloženém schématu. Software mikrokontroleru pak obstarává správné spínání obou relátek tak, aby se lineární pohon pohyboval požadovaným směrem.



Obrázek 4.15: Zapojení aktuátoru pro otvírání oken skleníku

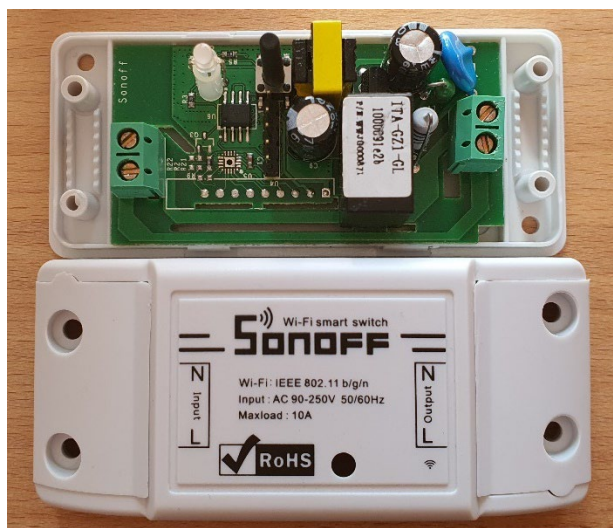
4.3.4 LED přisvit

Správný LED přisvit dokáže příznivě ovlivnit růst rostlin. Proto i v této práci jsme se rozhodli vybavit inteligentní skleník LED přisvit, který by měl zajistit rostlinám světlo se správnou vlnovou délkou společně s nízkou spotřebou energie. Použitý LED přisvit pracuje s napětím 230 V. Celý akční člen se tak skládá z mikrokontroleru ESP8266, jednobáňového relé a LED lamp.



Obrázek 4.16: Použité LED lampy jako přisvit ve skleníku. Foto Jiří Šindelář

Akční člen pro ovládání LED lamp byl vytvořen z chytrého vypínače značky Sonoff s označením „Basic R2“. Tento vypínač již v základu obsahuje veškerý potřebný hardware, který je umístěný v plastové krabičce. Sonoff obsahuje jednobáňové relé, mikrokontroler ESP-8266 a měnič napětí, který zajišťuje správné napájení mikrokontroleru. Ve výsledku tak stačí na vstup přivést síťové napětí 230 V a na výstup připojit LED přisvit. Pro správné ovládání bylo potřeba pouze přeprogramovat mikrokontroler ESP-8266 tak, aby fungoval podle našich představ.



Obrázek 4.17: Akční člen pro ovládání LED přisvitu. Foto Jiří Šindelář

4.3.5 Přímotop a ventilátor

Pro udržení ideální teploty uvnitř skleníku během chladných dní byl skleník vybaven ventilátorem a přímotopem. Ventilátor přímotopu pomáhá vyhrát celý objem skleníku a zabraňuje tak přehřívání vzduchu pouze v určité části. Obě zařízení pracují s napětím 230 V a jsou tak napájeny přímo ze sítě. Esp8266 pak pomocí elektromagnetického relé spínače zapíná jak ventilátor, tak přímotop.

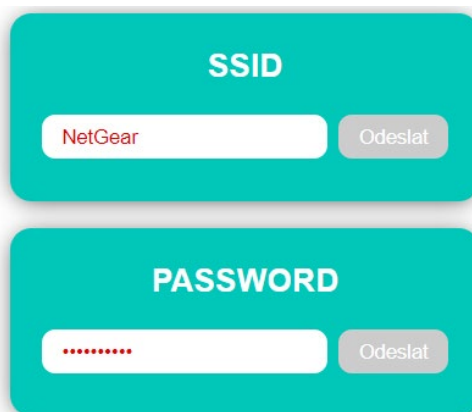
Jako akční člen zajišťující správné ovládání přímotopu a ventilátoru byl opět použit inteligentní spínač Sonoff Basic R2, u kterého bylo potřeba změnit software mikrokontroleru.

4.4 Software

4.4.1 Inicializace senzorů a aktuátorů

Jelikož veškerá komunikace senzorů a aktuátorů s řídicím mikrokontrolerem probíhá bezdrátově, je zapotřebí, aby všichni byli připojeni ke stejnému přístupovému bodu Wi-Fi sítě. Při prvním spuštění nebo v případě, že se mikrokontroleru nedaří připojit k nastavenému přístupovému bodu déle jak deset sekund, vytvoří si mikrokontroler vlastní přístupový bod. Uživatel se pak může připojit k tomuto mikrokontroleru přímo a navštívit jeho vlastní webové stránky, které umožní provést nebo opravit základní nastavení a přihlašovací údaje k přístupovému bodu. Každý mikrokontroler má pak toto nastavení uloženo ve své paměti EEPROM.

Aplikace zařízení má jednotlivé možnosti nastavení zobrazeny v barevných kartách, jejichž název uživateli napovídá, co konkrétně daným nastavením mění. Karty jsou vždy předvyplněny přesně podle posledního zadání a uživatel tak může nastavit pouze to co potřebuje. První dvě karty slouží k zadání názvu a hesla centrálního přístupového bodu.



Obrázek 4.18: Karty pro nastavení jména a hesla přístupového bodu

Další karty již slouží k vytvoření identifikační zprávy, kterou v pravidelných intervalech posílají aktuátory a senzory nadřiznému mikrokontroleru. První kartou je název senzoru nebo aktuátoru, pod kterým chceme zobrazovat naše zařízení v hlavní webové aplikaci. Další kartou se nastavuje, o jaký typ hardwaru se jedná. Zde máme na výběr ze dvou možností, můžeme si tak vybrat mezi senzorem nebo aktuátorem.



Obrázek 4.19: Karty pro nastavení názvu a typu zařízení

Třetí karta udává, jakými povely lze ovládat dané zařízení. Aktuátory se dají ovládat většinou dvěma způsoby. První způsob jsou pouze povely zapnuto a vypnuto, které se hodí například pro spouštění zavlažování. Druhým způsobem může být zadávání konkrétního čísla z rozsahu hodnot. Tyto hodnoty pak mohou například představovat v procentech míru otevření okna skleníku. U senzorů většinou předpokládáme, že žádná data nepřijímá, proto lze v kartě vybrat i tuto možnost. Jako doplnění pak bylo potřeba vytvořit další 2 karty nastavení, do kterých se zadává případná maximální a minimální hodnota přijímaných dat. Díky tomu pak hlavní

webová aplikace nedovolí uživateli zadat hodnotu, která je mimo rozsah hodnot přijímaných daným akčním členem.

The image shows three stacked blue configuration cards. The top card, titled 'RECEIVE', has a dropdown menu with 'Range' selected and an 'Odeslat' button. The middle card, titled 'MIN VALUE', has a text input field containing '0' and an 'Odeslat' button. The bottom card, titled 'MAX VALUE', has a text input field containing '100' and an 'Odeslat' button.

Obrázek 4.20: Karty pro nastavení typu přijímaných dat

Pro lepší orientaci v hlavní aplikaci bylo potřeba doprovodit název zařízení také obrázkem, který ho bude jednoduše vystihovat. Proto byla vytvořena karta, která umožňuje vybrat si jeden ze sedmi základních obrázků, který bude zobrazován vedle názvu daného zařízení.

The image shows a blue configuration card titled 'PICTURE'. It features a dropdown menu with 'Thermometer' selected and an 'Odeslat' button. The dropdown menu is open, showing a list of options: 'Nothing', 'Cloud', 'Grass', 'Hose', 'Humidity', 'Light-bulb', 'Thermometer', and 'Window'. 'Thermometer' is highlighted in blue.

Obrázek 4.21: Karta pro nastavení obrázku vystihující dané zařízení

Poslední karta nastavení, která je společná pro všechny senzory a aktuátory, je karta nastavení UDP portu. Do ní je potřeba zadat port, na kterém bude dané zařízení přijímat a odesílat UDP pakety [25].

Jelikož senzory pravidelně posílají svá naměřená data, byla speciálně pro senzory vytvořena další karta nastavení, pomocí které lze jednoduše určit periodu, s jakou budou naměřená data posílána na server. Senzor si počítá, kolik měření za

danou periodu provedl a nadřazenému kontroléru pak posílá pouze výslednou zprůměrovanou hodnotu. Zvětšováním periody tak průměrujeme větší počet měření a zároveň méně zatěžujeme server, který nemusí tak často zapisovat naměřená data na SD kartu.

Po zmáčknutí tlačítka „Odeslat“ dochází k uložení všech nových dat do EEPROM paměti mikrokontroleru a jeho restartování. Proto je vhodné nejdříve vyplnit všechny změny a následně je potvrdit tlačítkem „Odeslat“.

4.4.2 Inicializace nadřazeného mikrokontroleru

The image shows three stacked teal cards for configuration. The top card is labeled 'CLEAR EEPROM'. The middle card is labeled 'SSID' and contains a text input field with 'NetGear' and a button labeled 'Odeslat'. The bottom card is labeled 'PASSWORD' and contains a text input field with red dots and a button labeled 'Odeslat'. The bottom-most card is labeled 'TIMESTAMP' and contains a text input field with '1641741079' and a button labeled 'Odeslat'.

*After send it will restart ESP32

Obrázek 4.22: Karty pro nastavení řídicího mikrokontroleru

Podobně jako u senzorů a aktuátorů, i zde platí, že po prvním spuštění, nebo v případě, kdy server nedokáže navázat spojení s požadovaným přístupovým bodem déle jak deset sekund, dochází k vytvoření vlastního přístupového bodu, na kterém může uživatel zadat všechna potřebná nastavení. Stejně jako u senzorů a aktuátorů lze změnit název a heslo přístupového bodu, ke kterému chceme, aby se server připojil. Navíc zde je karta „TIMESTAMP“, která slouží k zadání aktuálního času v případě, kdy mikrokontroler nemá přístup k internetu a nedokáže tak získat data o aktuálním čase.

V případě větších změn nebo nečekaných problémů lze celou EEPROM paměť vymazat pomocí tlačítka „CLEAR EEPROM“.

4.4.3 Automatické párování senzorů a aktuátorů s nadřazeným mikrokontrolerem

Při vytváření softwaru pro inteligentní skleník bylo potřeba zajistit způsob, kterým se spojí senzory a aktuátory se serverem. Pro co nejlepší škálovatelnost byla vytvořena automatická párovací sekvence. Díky ní stačí pouze zajistit, aby byly všechny mikrokontrolery připojeny ke stejnému přístupovému bodu.

Nadřazený mikrokontroler má připravenou strukturu, ve které má uloženy všechny důležité informace k senzorům a aktuátorům. Uspořádání struktury je názorně zobrazeno v tabulce 4.3.

Struktura pro ukládání senzorů/aktuátorů	
Název proměnné	Význam proměnné
mac	MAC adresa mikrokontroleru
ip	IP adresa mikrokontroleru
description	Název mikrokontroleru
type	Typ mikrokontroleru (aktuátor/sensor)
file	Název souboru, do kterého se ukládají příchozí data
receive	Typ dat, které daný mikrokontroler přijímá (nepřijímá / zapnuto, vypnuto / rozsah hodnot)
max	Maximální číselná hodnota, kterou je schopno zařízení přijmout
min	Minimální číselná hodnota, kterou je schopno zařízení přijmout
picture	Obrázek, který se má zobrazovat v aplikaci u daného zařízení
port	Přidělený komunikační port pro UDP pakety

Tabulka 4.3: Struktura nadřazeného mikrokontroleru pro ukládání senzorů/aktuátorů

Tato struktura je vždy vyplněna pro každý senzor nebo aktuátor zvlášť, jakmile se poprvé ohlásí nadřazenému mikrokontroleru. Sensory a aktuátory posílají pravidelně UDP datagram, který obsahuje všechny potřebné informace k vyplnění struktury v tabulce 4.3. Tento datagram je posílán na takzvanou „broadcast“ IP adresu a předdefinovaný port, na kterém naslouchá řídicí mikrokontroler. Dopředu totiž není známo, jaká IP adresa byla přidělena serveru skleníku. Datagram má formu JavaScriptového objektového zápisu ve formátu „JSON“, což zlepšuje čitelnost a robustnost celého datagramu. Pokud server vyhodnotí, že se jedná o nové zařízení, zprávu si rozklíčuje a data o zařízení uloží do výše zmíněné struktury. Následně si řídicí kontrolér vytvoří na své SD kartě soubor, který slouží pro zápis příchozích dat z toho zařízení. Jako poslední si vymezí port, na kterém bude přijímat data tohoto senzoru nebo aktuátoru. Tento port pak pošle jako odpověď danému zařízení. V případě, že server vyhodnotí, že se jedná o zařízení, které již zná, automaticky odešle port, který mu byl již v minulosti vyhrazen. Tento postup zajistí funkčnost celého procesu i

v případech, kdy bylo nějaké ze zařízení odpojeno od napájení anebo z nějakých jiných důvodů zapomnělo dříve přiřazený port.

Jakmile zařízení přijme UDP datagram obsahující přiřazený port, zapamatuje si ho a v budoucnu bude sloužit jako port, kam budou odesílána důležitá data. U senzorů se jedná o naměřená data. U aktuátorů pak tento port funguje velmi podobně akorát s tím rozdílem, že data jsou serveru odesílány jen tehdy, pokud se nějakým způsobem změnil stav aktuátoru.

Odesílání UDP datagramu s informacemi o daném senzoru nebo aktuátoru probíhá pravidelně každé 2 minuty. Pokud totiž dojde k restartování serveru skleníku a vyčištění jeho EEPROM paměti, server si již nebude pamatovat informace o všech zařízeních přítomných ve skleníku a bude se s nimi muset opět spárovat a vyhradit jim nové komunikační porty. Proto se může stát, že například senzoru teploty vzduchu přiřadí jiný port, než který měl teploměr přiřazen doposud. Mikrokontroler senzoru tuto změnu zaznamená a sám si změni port, na který bude od teď data posílat. V případě že senzor již poslal naměřená data na port, který byl z jakéhokoliv důvodu přiřazen jiným zařízením, server to rozpozná a tuto zprávu ignoruje. Výsledkem je robustní řešení celého automatického párovacího cyklu.

4.4.4 Ukládání senzorů a aktuátorů do paměti

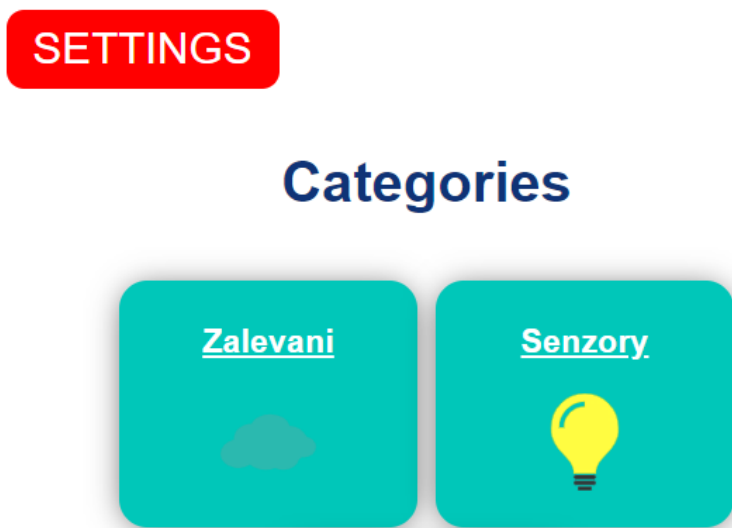
Aby si řídicí mikrokontroler pamatoval všechny senzory a aktuátory i po jeho restartování, bylo potřeba vymyslet způsob, jakým je uložit do paměti mikrokontroleru. Původně se všechna důležitá data ukládala do paměti EEPROM. S narůstajícím počtem senzorů a informací, již nebylo možné ukládat všechna data do paměti EEPROM. Proto se rozhodlo ukládat do EEPROM paměti pouze základní informace jako jsou přihlašovací údaje k přístupovému bodu Wi-Fi sítě a číslo odpovídající počtu senzorů, se kterými se zatím stačil server spárovat. Zbytek informací k jednotlivým senzorům a aktuátorům je uložený na SD kartě připojené k řídicímu mikrokontroleru. Jednotlivé informace ke každému zařízení jsou uloženy ve formě JavaScriptového objektového zápisu, který v případě restartu zajišťuje jednoduché a spolehlivé načtení všech dat do požadované struktury.

4.4.5 Webová aplikace

Podobu hlavní webové aplikace dynamicky vytváří nadřazený mikrokontroler. Soubory definující základní design jednotlivých oken aplikace společně s obrázky a styly jsou uloženy ve flash paměti mikrokontroleru ESP32.

4.4.5.1 Generování kategorií

Hlavnímu oknu aplikace uprostřed dominují různé kategorie, ve kterých se po rozkliknutí nachází senzory a aktuátory, které si zde uživatel sám vložil. Vlevo nahoře se pak nachází možnost otevřít nastavení hlavního mikrokontroleru, které je zobrazeno na obrázku 4.22.



Obrázek 4.23: Výchozí okno webové aplikace

Název, obrázek a obsah jednotlivých kategorií, které budou zobrazeny, si určuje uživatel sám zápisem do souboru „categories.txt“, který je umístěný na SD kartě serveru. Zápis jednotlivých kategorií se provádí opět formou JavaScriptového objektového záznamu, kde každý tento objekt je odřádkován a každá kategorie se tak píše na jeden řádek textového souboru.

Příklad podoby zápisu jedné kategorie (příklad byl pro větší srozumitelnost odřádkován podle proměnných):

```
{
  "catID":1,
  "elementCnt":2,
  "element":["5C:CF:7F:1A:F4:96.ZaléváníRajcat","F4:CF:A2:D1:5C:D6.Teplota"],
  "catName":"Rajcata",
  "picture":"grass"
}
```

Na příkladu můžeme vidět definici kategorie, která obsahuje 2 zařízení. Každé zařízení je definované unikátním klíčem, který se skládá z jeho názvu a MAC adresy. Tyto dva údaje spojuje tečka a dohromady tvoří jedinečnou kombinaci. Důvodem volby takového klíče je fakt, že existují senzory, které obsahují jak teploměr, tak vlhkoměr. V takovém případě se tento senzor musí hlásit nadřazenému mikrokontroleru jako 2 oddělené senzory a jsou jim tak přiděleny 2 odlišné porty pro komunikaci. Problém by tedy nastal, pokud bychom je chtěli rozlišovat pouze pomocí MAC adresy, která by byla v tomto případě stejná. Na tomto příkladu můžeme také vidět jakým způsobem se

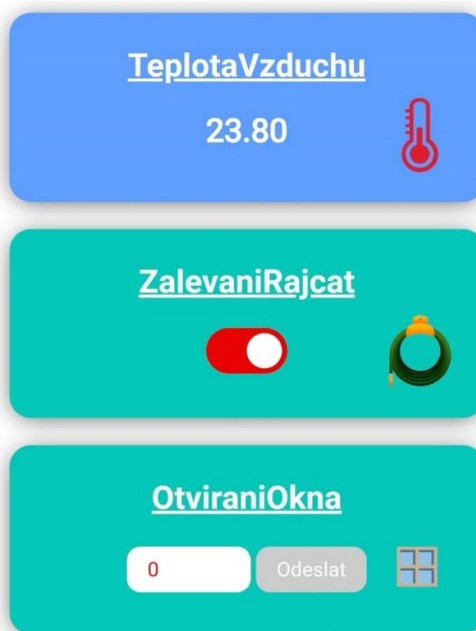
zadává jméno kategorie a obrázek, který u ní chceme zobrazit. Při výběru obrázku je potřeba dbát na to, aby bylo vybíráno pouze z dostupných kreseb, jejichž list je vidět na obrázku 4.21.

Při zápisu do souboru „categories.txt“ je potřeba dbát na přesnost zadávání názvů jednotlivých proměnných, aby došlo ke správnému načtení každé kategorie. Také se nabízí otázka, jak může uživatel jednoduše zjistit MAC adresu a název senzoru, který chce zobrazit v dané kategorii. K tomu může využít soubor „EEPROM2.0.txt“, který obsahuje všechny důležité informace k jednotlivým sensorům a aktuátorům a primárně slouží k načtení potřebných dat po případném restartu serveru.

4.4.5.2 Generování karet aktuátorů a senzorů

Po rozkliknutí kategorie dojde k zobrazení všech zařízení, která má daná kategorie obsahovat. Karty k těmto zařízením jsou vytvářeny plně automaticky pouze na základě informací, které obsahuje ke každému z nich struktura zobrazena v tabulce 4.3. Prvotně se zobrazují senzory. Pro všechny karty senzorů platí, že mají modrou barvu a obsahují jméno, obrázek a poslední naměřená data.

Za senzory jsou pak umístěny aktuátory. Každá karta aktuátoru má zelenou barvu a podobně jako u senzorů obsahuje název a charakteristický obrázek. Liší se pouze v tom, že místo poslední naměřené hodnoty je zde zobrazen ovládací prvek charakteristický pro daný aktuátor. V případě, že se jedná o ventil pro zavlažování a přijímá pouze hodnoty vypnuto a zapnuto, je ovládacím prvkem jednoduchý přepínač. Jestliže sensor přijímá celý rozsah hodnot, je ovládacím prvkem políčko, do kterého lze zadat jakoukoliv hodnotu z daného rozsahu. V případě, že se uživatel pokusí napsat hodnotu mimo zadaný rozsah, bude vyzván k upravení vložené hodnoty společně s nápovědou, která zobrazuje nejbližší možnou krajní hodnotu.



Obrázek 4.24: Příklad zobrazení karet senzorů a aktuátorů ve vybrané kategorii

Jakmile systém nebo uživatel v aplikaci změní stav aktuátoru, bude o novém stavu vyrozuměn změnou hodnoty v příslušné kartě. Řídící mikrokontroler pak rozešle zprávu o této změně na všechny další aktivní klienty přes komunikační kanál „WebSocket“ [26]. Díky tomu dojde k okamžité aktualizaci hodnot ve všech aktivních aplikacích a uživatelé tak mají vždy aktuální informace o stavech aktuátorů.

Kliknutím na název senzoru si může uživatel zobrazit graf popisující vývoj naměřených hodnot v čase. Podobně u aktuátorů se zobrazí graf popisující časový vývoj jeho stavu. Dále může uživatel kliknout na obrázek vybrané periferie, což ho přeměruje přímo na webové stránky daného zařízení, které slouží k jeho inicializaci. Provedení jakékoliv změny se projeví v obsahu identifikační zprávy, kterou každé dvě minuty dané zařízení odesílá. Tuto změnu server zaznamená a aktualizuje si tak informace k danému senzoru.

4.4.5.3 Sběr dat a generování statistik

Po nastavení automatizace skleníku, které je detailně popsáno v další kapitole, je potřeba si ověřit, jestli se vše chová přesně podle očekávání. K této kontrole již nestačí znát pouze aktuální stavy aktuátorů a poslední naměřená data senzorů. Je potřeba mít přístup k celé historii chování systému. Systém proto ukládá stavová data do souborů se statistikami. Tyto statistiky se také můžou hodit v případě, kdy uživatele zajímá vývoj některé z veličin v minulosti.

Senzory pravidelně odesílají UDP datagramem na přiřazený port zprůměrovaná data, která za nastavený časový úsek naměřily. Odeslaná data mají opět tvar JSON zápisu a mohou vypadat například následovně:

```
{  
  "mac": "F4:CF:A2:D1:5C:D6",  
  "description": "Teplota",  
  "data": "25.6 "  
}
```

Jakmile server zaznamená takovou zprávu, nejdříve si ověří, jestli se odesílatel shoduje se zařízením, kterému byl přiřazen port, na který zpráva přišla. Pokud je vše v pořádku, příchozí data si uloží do příslušného souboru na SD kartě. Do souboru se uloží tři údaje. Prvním je čas a datum ve formátu ISO 8601. Druhým údajem je čas v unixovém formátu. Jedná se o množství sekund, které oddělují začátek dne 1. ledna 1970 a okamžik zápisu dat. Třetím záznamem jsou příchozí data, která budou zobrazena na vertikální ose grafu statistik. Po delším testování se dospělo k závěru, že nelze ukládat všechna příchozí data z daného zařízení do jednoho souboru. Množství záznamů je po pár dnech natolik velké, že znemožňuje jakoukoliv orientaci v nashromážděných datech. Proto bylo rozhodnuto vytvořit na každý den senzorům a aktuátorům nový soubor. Každý soubor pak nese ve svém názvu také hodnotu unixového času, která odpovídá začátku dne, pro který byl tento soubor vytvořen.

Aktuátory se chovají velmi podobně jako senzory pouze s tím rozdílem, že data o svém stavu posílají pouze tehdy, když dojde k jeho změně. Server odesílá povely

aktuátorům v případě, kdy uživatel požaduje změnu stavu aktuátoru v hlavní aplikaci, nebo když změnu vyžaduje automatizace. Jakmile tedy aktuátor přijme zprávu s povelem, vykoná požadavek a zpět posílá zprávu se svým novým stavem. Tuto zprávu server zachytí a teprve tehdy uloží příchozí data do soboru na SD kartě. Díky tomu se nemůže stát, že by aktuální stav aktuátoru neodpovídal poslednímu stavu, který si u něj pamatuje nadřízený kontrolér. V případě, kdy aktuátoru povel nedojde, povel se nevykoná a aktuátor tak nevrátí serveru žádnou zprávu. Výjimkou je samozřejmě případ ztráty datagramu s odpovědí.

Jakmile byly připraveny první soubory s daty, bylo možné přistoupit k vytváření části aplikace, která bude schopna zobrazit nasbíraná data v grafu. K tomu byla použita knihovna „Highcharts“ [24] která umožňuje rychlé vkládání bodů do předpřipravených grafů. Knihovna dále zajišťuje zobrazování popisků k jednotlivým bodům v případě, že uživatel na některý z nich ukáže nebo klikne. Další výhodou je možnost využití automatického škálování os na základě dat, které byly do grafu vloženy.

Interní komunikace webového klienta se serverem, probíhá pomocí WebSocketů. Jedná se o komunikační protokol umožňující obousměrnou komunikaci mezi klientem a serverem. Před zobrazením grafu tak klient běžící na zařízení uživatele zažádá pomocí WebSocketu o potřebná data. Zpráva má tvar JSON a vypadá například následovně:

```
{
  "type": "graph",
  "macDesc": "F4:CF:A2:D1:0A:C4.VlhkostVzduchu",
  "halfDaysFrom": 2,
  "halfDaysTo": 0
}
```

Klient tak informuje o tom, že by chtěl zobrazit graf k senzoru s názvem „TeplotaVzduchu“. Graf by měl obsahovat data od teď dva půldny do minulosti.

Komunikace pak vypadá takto:

Je 12. ledna 11:01 dopoledne. Uživatel žádá server o data ke grafu zprávou zobrazenou výše. Po přečtení této zprávy si server vygeneruje 2 unixové časy, které vytvoří tento časový úsek:

11.ledna 12:00 – 12.ledna 11:01

Následně server prohledá soubory, ve kterých by se měly vyskytovat data zaznamenaná v tomto časovém intervalu. Pokud je nalezeno méně než 80 záznamů, jednoduše zapíše všechny nalezené hodnoty společně s jejich časy do zprávy, kterou pak s dalšími informacemi odešle zpět klientovi. Pokud je nalezených záznamů více, rozdělí vytyčený časový úsek dodatečně na dalších 80 podúseků. Tento postup byl zvolen na základě poznatku, že při snaze zobrazit v grafu více než 80 bodů dochází k výraznému prodloužení doby potřebné pro načtení grafu. Tento problém nebyl způsoben samotnou knihovnou „highchart“, ale dobou čtení dat přijatého WebSocketu klientem. Nejdélší dobu pak trvá rozklíčování celé zprávy ve tvaru JSON. Server proto analyzuje každý podúsek zvlášť. V případě, že byl pořízen více než jeden záznam v daném časovém

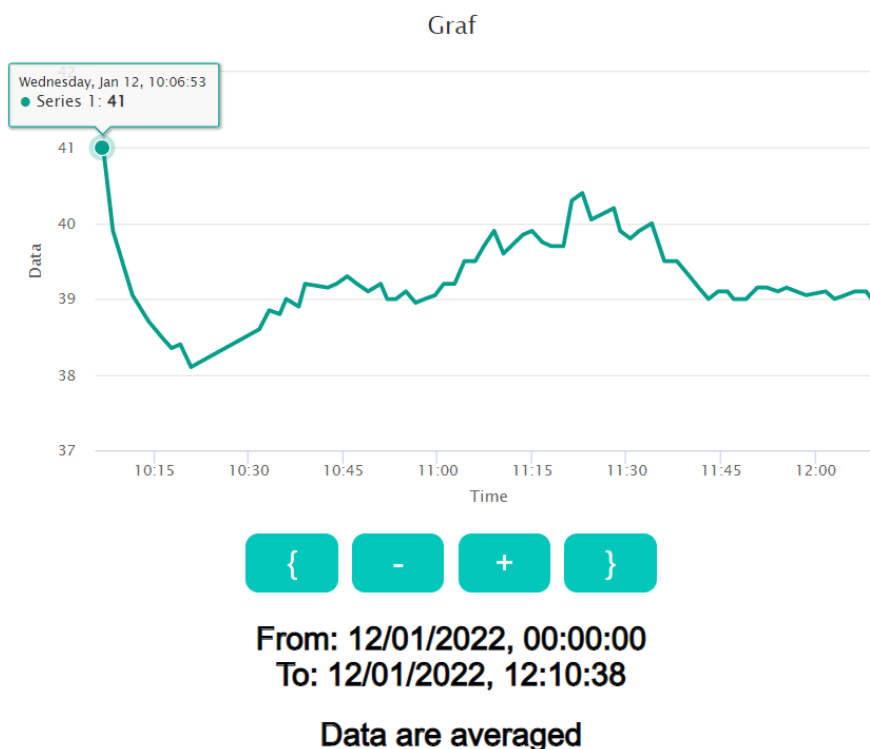
podúseku, budou data průměrována. V opačném případě bude tento bod společně s jeho přesným časem odeslán webové aplikaci přímo. Takto server zpracuje všech 80 intervalů a následně sestaví výslednou odpověď pro webového klienta, která obsahuje maximálně 80 bodů pro zobrazení.

Odpověď v případě, kdy byly nalezeny pouze 3 záznamy může vypadat třeba takto:

```
{
  "device": "F4:CF:A2:D1:0A:C4.VlhkostVzduchu",
  "cnt": 3,
  "data": [41.70, 40.30, 40.00],
  "date": [1641981967, 1641982027, 1641982088],
  "averaged": 0,
  "sensor": "out"
}
```

Výsledná zpráva obsahuje informaci o tom, které zařízení poskytlo tato data, kolik bodů bude potřeba zobrazit, jaké jsou jejich hodnoty a kdy byly jejich záznamy pořízeny. Dále server informuje klienta o tom, jestli bylo potřeba data před odesláním nějakým způsobem průměrovat, a jestli bylo dané zařízení senzorem nebo aktuátorem („Out“ je označení pro senzor, neboť primárně vrací data serveru. Opakem je pak „in“, které označuje aktuátor). Jakmile klient obdrží tuto zprávu, dojde k jejímu přečtení a zobrazení v grafu.

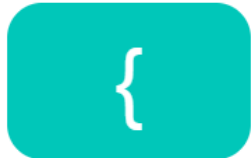
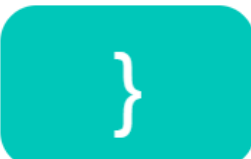

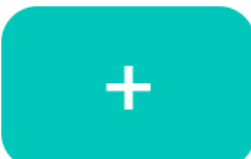
VlhkostVzduchu



Obrázek 4.25: Zobrazení grafu vlhkosti vzduchu skládajícího se z 80 bodů

Graf je doplněn o informace, které definují časový úsek, který byl vyžádán. Dále se zde nachází informace o tom, jestli se jedná o čisté záznamy anebo je bylo potřeba nějakým způsobem průměrovat. Na daném příkladu si můžeme všimnout, že ačkoliv byl interval nastaven od začátku dne 12.ledna, první naměřená data byla nalezena až v 10:06 téhož dne. Proto by bylo neefektivní rozdělovat celý zadaný interval na 80 časových podúseků v celé jeho délce, když stačí začít bodem, kdy byl pořízen první záznam. Tím se zjemní celé rozdělení a ve výsledku tak v grafu bude více detailů. Na základě této úvahy pak byl pozměněn i výsledný způsob selekce dat určených pro klienta.

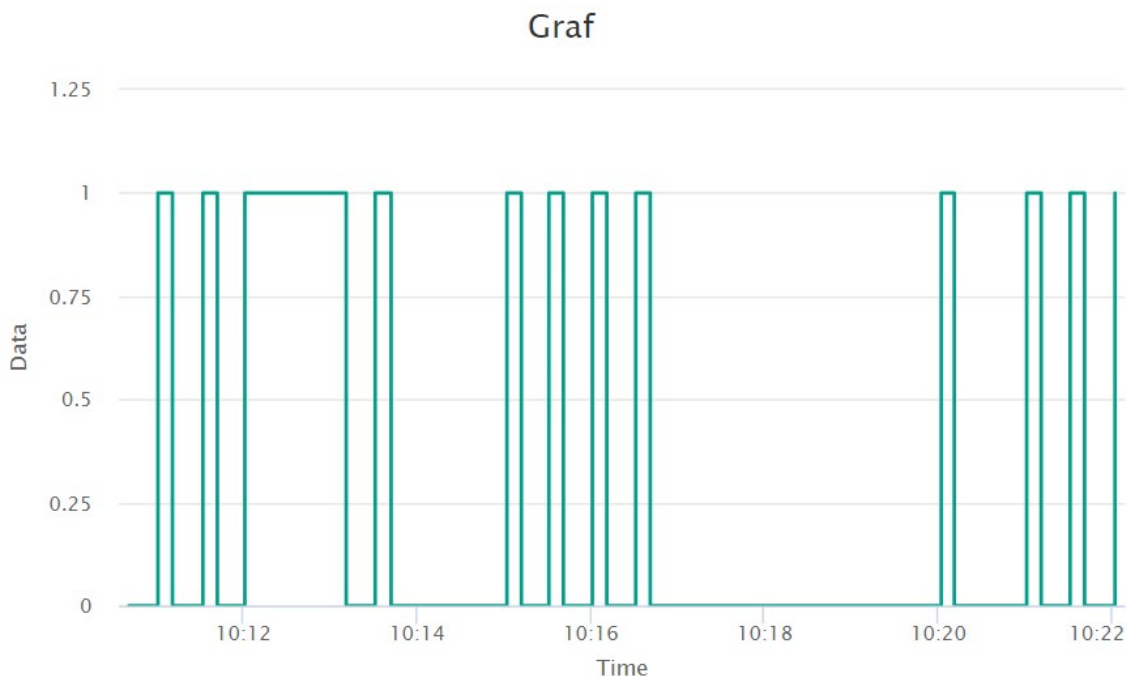
Na obrázku 4.25 pak můžeme vidět tlačítka, která slouží k zvětšování, zmenšování a posouvání zobrazovaného časového úseku. Kliknutí na jakékoliv tlačítko zajistí opětovné odeslání zprávy s požadavkem klienta o data do grafu v nově definovaném časovém úseku. Časový úsek je ve zprávě definovaný proměnnými „HalfDaysTo“ a „HalfDaysFrom“. Proměnná „HalfDaysFrom“ serveru říká, kolik půldnů do minulosti je umístěný začátek časového intervalu. Podobně „HalfDayTo“ informuje o tom, kolik půldnů je vzdálený konec časového intervalu, který chceme zobrazit. Pro tyto proměnné platí, že ani jedna nesmí být záporná a minimální hodnota „HalfDaysTo“ je nula. „HalfDaysFrom“ pak musí být vždy větší než „HalfDaysTo“. Z toho plyne také minimální možný časový úsek zobrazený grafem, kterým je jeden půlden. Jednotlivá tlačítka pak proměnné mění následovně.

Obrázek	Název	HalfDaysFrom	HalfDaysTo
	Posunutí zpět v čas	+1	+1
	Posunutí vpřed v čase	-1	-1
	Zvětšení časového úseku (oddálení)	+1	-
	Zmenšení časového úseku (přiblížení)	-1	-

Tabulka 4.4: Ovládací prvky zobrazovaného intervalu grafu

U naměřených hodnot ze senzorů se předpokládá, že jejich hodnoty se mění spojitě a jednotlivá naměřená data můžeme spojovat stejně, jako je to zobrazeno na

obrázku 4.25. V případě aktuátorů je situace jiná. Jejich stav se mění skokově a zůstává stejný tak dlouho, dokud nedojde k jeho další změně. Proto webová aplikace automaticky mění styl zobrazení grafu podle toho, jestli se jedná o data ze senzoru nebo aktuátoru.



Graf 4.1: Graf statistiky aktuátoru

Pokud množství záznamů není větší než 80, zobrazuje graf realisticky skokové změny stavů aktuátoru. Jestliže dojde k průměrování dat, nové body se již budou spojovat stejně jako u senzorů. Obecně se však předpokládá, že statistiky k aktuátorům nebudou obsahovat tolik záznamů, jako je tomu u senzorů.

4.4.6 Automatizace

Základem inteligentního skleníku by měla být možnost určité míry automatizace. Proto i v této práci byl vytvořen koncept, který umožňuje volně definovat pravidla řízení automatizace skleníku. Celý koncept je založený na třech typech objektů, které označujeme „Handler“, „Event“ a „Tevent“. Definované objekty všech tří typů jsou vždy načteny při zapnutí hlavního mikrokontroleru ze souborů uložených na SD kartě.

4.4.6.1 Tevent

Většina rostlin potřebuje zalévat pravidelně ráno nebo večer. Proto by nedávalo smysl zapínat zavlažování 2x denně manuálně v samotné aplikaci. Byl tak vytvořen typ objektu Tevent (zkratka pro „time event“), který představuje událost řízenou časem.

Objektů tohoto typu může být definováno libovolné množství a uživatel je vkládá do souboru „tevent.txt“ na SD kartu serveru. Podobně jako v případě kategorií senzorů a aktuátorů je i zde definovaný přesný syntax, jak Tevent přesně zapsat. Příklad zápisu jednoho Teventu může vypadat následovně (odřádkováno pro lepší srozumitelnost):

```
{
"day":-1,
"hour":12,
"minute":30,
"sec":0,
"repeat":3600,
"activationLast":0,
"delayed":0,
"teventID":-2
}
```

Tabulka proměnných události Tevent		
Název proměnné	Možné hodnoty	Popis
day	-1, 0-6	Definuje den v týdnu, kdy bude první Tevent aktivován
hour	-1, 0-23	Definuje hodinu, kdy bude první Tevent aktivován
minute	-1, 0-59	Definuje minutu, kdy bude první Tevent aktivován
sec	-1, 0-59	Definuje sekundu, kdy bude první Tevent aktivován
repeat	0-∞	Definuje v sekundách, s jakou periodou se Tevent opakuje
activationLast	-1, 0, 1-∞	Definuje délku aktivace Teventu v milisekundách
delayed	0-∞	Definuje zpoždění aktivace Teventu v milisekundách
teventID	-1 až -∞	Představuje jedinečné identifikační číslo Teventu

Tabulka 4.5: Popis jednotlivých proměnných události Tevent

Jako u kategorií i zde platí, že je potřeba každý Tevent zapisovat zvlášť na řádek textového souboru. V případě zapsání příkladu výše uživatel vytváří Tevent, který bude aktivován nejbližší den po jeho načtení a to ve 12:30:00. Od této doby bude následně aktivován každou další hodinu a zůstane aktivovaný vždy pouze jeden procesorový cyklus. V případě, že by proměnná „activationLast“ byla rovna hodnotě „-1“, byl by Tevent aktivován vždy do té doby, doku by svým stavem neaktivoval nějaký objekt typu Handler. Teprve poté by došlo k jeho deaktivaci a opět by čekal na další aktivování. „activationLast“ může také nabývat libovolné kladné hodnoty, která v milisekundách definuje dobu, po kterou bude tato událost aktivovaná.

Pro Teventy tedy platí, že se pouze aktivují v předem definovanou dobu, ale samy o sobě neovládají žádné aktuátory.

4.4.6.2 Event

Podobně jako Teventy se chovají i Eventy. Ty je potřeba opět samostatně po řádcích definovat v souboru „event.txt“, který je uložený na SD kartě serveru. Event

představuje událost, která je aktivována na základě změny stavu některé ze sledovaných veličin. Zápis může vypadat následovně:

```
{
"sourceMac": "F4:CF:A2:D1:0A:C4",
"sourceDesc": "Teplota",
"value": 35,
"dir": 0,
"condLast": 0,
"activationLast": 0,
"delayed": 5000,
"eventID": 3
}
```

Tabulka proměnných události Event		
Název proměnné	Možné hodnoty	Popis
sourceMac	text	Definuje MAC adresu sledovaného senzoru
sourceDesc	text	Definuje název sledovaného senzoru
value	$-\infty$ až ∞	Definuje hodnotu, které musí senzor dosáhnout pro aktivaci Eventu
dir	0, 1	Definuje, jestli je potřeba na cílovou hodnotu vystoupat nebo sklesat
condLast	0- ∞	Definuje dobu v milisekundách, po kterou musí být splněny podmínky pro vlastní aktivaci
activationLast	-1, 0, 1- ∞	Definuje délku aktivace Eventu
delayed	0- ∞	Definuje zpoždění aktivace Eventu v milisekundách
eventID	1- ∞	Představuje jedinečné identifikační číslo Eventu

Tabulka 4.6: Popis jednotlivých proměnných události Event

Event použijeme například, pokud snímáme určitou veličinu senzorem a potřebujeme ji pomocí aktuátorů udržovat v definovaném rozmezí. Příkladem může být snímání teploty. Během teplého letního odpoledne teplota ve skleníku velmi rychle vzroste na 35 °C. Přesáhnutí této teploty je ideální kontrolovat vhodným Eventem, jehož aktivace poté může spustit odvětrání skleníku. Podobně můžeme Event použít pro kontrolování spodní hranice teploty, která bývá okolo 20 °C. V případě, že teplota klesne pod tuto hodnotu, je vhodné aktivovat Event, který zajistí spuštění přídavného vyhřívání skleníku. Výše vytvořený Event kontroluje hodnotu ze senzoru s definovanou MAC adresou. Jedná se o senzor teploty a Event bude preaktivovaný okamžitě v případě, kdy teplota vystoupá nad 35 °C. Za preaktivaci je zodpovědné definované zpoždění, které udržuje event preaktivovaný nastavených pět sekund a teprve po uplynutí této doby dojde k finální aktivaci Eventu. Potenciální význam zpoždění je popsán níže v příkladech automatizace, zde slouží pouze pro demonstraci fungování zápisu Eventu. V případě, že by proměnná „dir“ měla hodnotu „1“, musela by teplota pro aktivaci Eventu klesnout pod hodnotu 35 °C. Samotná aktivace bude v tomto případě trvat tak dlouho, dokud Event nespustí příslušný Handler.

4.4.6.3 Handler

Jak již bylo řečeno výše, Teventy a Eventy samy o sobě nespouští žádné aktuátory. Za ovládání aktuátorů je zodpovědný poslední typ objektu s názvem Handler. Handler představuje objekt, který je aktivován teprve v případě, že jsou aktivovány jeho předem definované Teventy a Eventy. Handlery může uživatel vytvářet stejným způsobem jako Eventy a Teventy a to pomocí jejich zápisu do souboru „handler.txt“. Handler může mít následující podobu:

```
{  
  "eventID":[3],  
  "eventOperator":0,  
  "resetEvents":0,  
  "targetMac":"5C:CF:7F:1A:F4:96",  
  "targetDesc":"OtviraniOkna",  
  "value":50,  
  "handlerID":1  
}
```

Tabulka proměnných události Handler		
Název proměnné	Možné hodnoty	Popis
eventID	$[-\infty$ až ∞ , $-\infty$ až ∞ , ...]	List definujících ID Teventů a Eventů aktivujících daný Handler
eventOperator	0, 1	Definuje logický operátor (AND nebo OR) spojující jednotlivé Teventy a Eventy z listu výše
resetEvents	0, 1	Definuje, jestli má handler po svém spuštění resetovat Teventy a Eventy zodpovědné za jeho spuštění
targetMac	text	Definuje MAC adresu aktuátoru, kterému bude poslán povel
targetDesc	text	Definuje název aktuátoru, kterému bude poslán povel
value	$-\infty$ až ∞	Definuje hodnotu, kterou bude povel obsahovat
handlerID	0- ∞	Představuje jedinečné identifikační číslo Handleru

Tabulka 4.7: Popis jednotlivých proměnných události Handler

Handler z příkladu výše sleduje Event s identifikačním číslem 3, který v našem případě kontroluje, jestli teplota ve skleníku nepřesáhla 35 °C. Jakmile bude tento Event aktivní, odešle aktuátoru zodpovědnému za otvírání okna povel, ať okno otevře na 50 %. Proměnná „eventOperator“ je rovna hodnotě 0 což představuje logický operátor OR. V případě, že by byl Handler aktivovaný větším počtem Eventů a Teventů, stačilo by, aby byl aktivní pouze jeden z nich a následně by došlo k aktivaci Handleru. V opačném případě, když by se proměnná „eventOperator“ rovnala hodnotě 1, byl by logický operátor nastavený jako AND. K aktivaci Handleru by tak bylo potřeba nejdříve aktivovat všechny Eventy a Teventy.

Ve výsledku tak vzniká jednoduchý a velmi pružný způsob nastavení automatizace skleníku. Velkou výhodou je, že k nastavení automatizace není potřeba znát žádný programovací jazyk. Dále není potřeba instalovat na počítač další aplikace,

kteří umožní složitě nastavit automatizaci například pomocí blokových schémat. Zde stačí pouze jednoduchá aplikace, která otevře textový soubor a do něj uživatel zadá vše co potřebuje. Viz. následující příklady:

Příklad 1: Zalévání vybraného záhonu každé ráno 2 minuty

K vytvoření budeme potřebovat 2 Teventy a 2 Handlery. V 7:00 tak aktivujeme první Tevent, který bude zodpovědný za aktivaci prvního Handleru, který spustí zavlažování. Druhý Tevent a Handler pak slouží k vypnutí zavlažování. Ideálně také v 7:00 se preaktivuje druhý zpožděný Tevent, jehož zpoždění je definované podle toho, jak dlouho chce uživatel zalévat. V našem případě tak Tevent bude zpožděný o dvě minuty a po jeho aktivaci bude spuštěn druhý Handler, který bude zodpovědný za vypnutí zavlažování. Nastavení Teventů a Handlerů může vypadat následovně.

Tevent 1:

```
{
  "day":-1,
  "hour":7,
  "minute":0,
  "sec":0,
  "repeat":86400, (každých 24 hodin)
  "activationLast":0,
  "delayed":0,
  "teventID":-1
}
```

Tevent 2:

```
{
  "day":-1,
  "hour":7,
  "minute":0,
  "sec":0,
  "repeat":86400, (každých 24 hodin)
  "activationLast":0,
  "delayed":120000, (2 minuty)
  "teventID":-2
}
```

Handler 1:

```
{
  "eventID":[-1],
  "eventOperator":0,
  "resetEvents":0,
  "targetMac":"5C:CF:7F:5A:G3:25",
  "targetDesc":"Zalevani",
  "value":1,
  "handlerID":1
}
```

Handler 2:

```
{
  "eventID":[-2],
  "eventOperator":0,
  "resetEvents":0,
  "targetMac":"5C:CF:7F:5A:G3:25",
  "targetDesc":"Zalevani",
  "value":0,
  "handlerID":2
}
```

Příklad 2: Zalévání vybraného záhonu každé ráno a večer 2 minuty

Jedná se o rozšíření příkladu 1. K jeho realizaci bude potřeba vytvořit 4 Teventy a 2 Handlery. 2 Teventy budou zodpovědní za ranní a 2 za večerní zavlažování. Každý Handler pak bude aktivován dvěma Teventy, které je potřeba svázat logickou spojkou OR. To zajistí, že Handler zapne nebo vypne zavlažování vždy, když bude aspoň jeden z uvedených Teventů aktivní. Celý zápis může vypadat následovně:

<p>Tevent 1:</p> <pre>{ "day":-1, "hour":7, "minute":0, "sec":0, "repeat":86400, "activationLast":0, "delayed":0, "teventID":-1 }</pre>	<p>Tevent 2:</p> <pre>{ "day":-1, "hour":7, "minute":0, "sec":0, "repeat":86400, "activationLast":0, "delayed":120000, "teventID":-2 }</pre>	<p>Tevent 3:</p> <pre>{ "day":-1, "hour":18, "minute":0, "sec":0, "repeat":86400, "activationLast":0, "delayed":0, "teventID":-3 }</pre>	<p>Tevent 4:</p> <pre>{ "day":-1, "hour":18, "minute":0, "sec":0, "repeat":86400, "activationLast":0, "delayed":120000, "teventID":-4 }</pre>
---	--	--	---

Handler 1:

```
{
"eventID":[-1, -3],
"eventOperator":0,
"resetEvents":0,
"targetMac":"5C:CF:7F:5A:G3:25",
"targetDesc":"Zalevani",
"value":1,
"handlerID":1
}
```

Handler 2:

```
{
"eventID":[-2, -4],
"eventOperator":0,
"resetEvents":0,
"targetMac":"5C:CF:7F:5A:G3:25",
"targetDesc":"Zalevani",
"value":0,
"handlerID":2
}
```

Příklad 3: Rozsvícení světla ve skleníku při zaznamenání pohybu ve večerních hodinách

Při navštívení skleníku po setmění je vhodné mít instalované osvětlení, které se rozsvítí v případě, že někdo do skleníku vstoupí. Pro vytvoření takovéto automatizace bude potřeba vytvořit 1 Tevent, 2 Eventy, a 2 Handlery. Tevent vytvoříme tak, aby byl aktivní od nastavené doby až do brzkého rána. První Event pak bude aktivní v případě, že senzor pohybu zaznamená uživatele uvnitř skleníku. Podobně se aktivuje druhý Event v případě, kdy pohybový senzor přestane snímat pohyb uživatele. Druhý Event bude dále obsahovat podmínku, která bude definovat dobu, po kterou musí platit, že senzor nevidí žádný pohyb uvnitř skleníku. K tomu se využije proměnná Eventu „condLast“ a tím se zajistí ochrana proti zbytečnému zhasínání světla v případě, kdy se uživatel přestane chvíli hýbat. Handlery pak budou zodpovědné za zapínání a vypínání samotného světla a budou aktivovány vždy pomocí Teventu a jednoho z Eventů. Obě události pak budou spojeny logickou spojkou AND.

Tevent 1:

```
{
  "day":-1,
  "hour":22,
  "minute":0,
  "sec":0,
  "repeat":86400,
  "activationLast": 21600000, (6 hodin)
  "delayed":0,
  "teventID":-1
}
```

Event 1:

```
{
  "sourceMac":"N2:HF:T2:22:0A:I2",
  "sourceDesc":"CidloPohybu",
  "value":1,
  "dir":0,
  "condLast":0,
  "activationLast":0,
  "delayed":0,
  "eventID":1
}
```

Event 2:

```
{
  "sourceMac":"N2:HF:T2:22:0A:I2",
  "sourceDesc":"CidloPohybu",
  "value":0,
  "dir":1,
  "condLast":300000, (5 minut)
  "activationLast":0,
  "delayed":0,
  "eventID":2
}
```

Handler 1:

```
{
  "eventID":[-1, 1],
  "eventOperator":1,
  "resetEvents":0,
  "targetMac":"88:2J:5K:22:G2:85",
  "targetDesc":"Osvetleni",
  "value":1,
  "handlerID":1
}
```

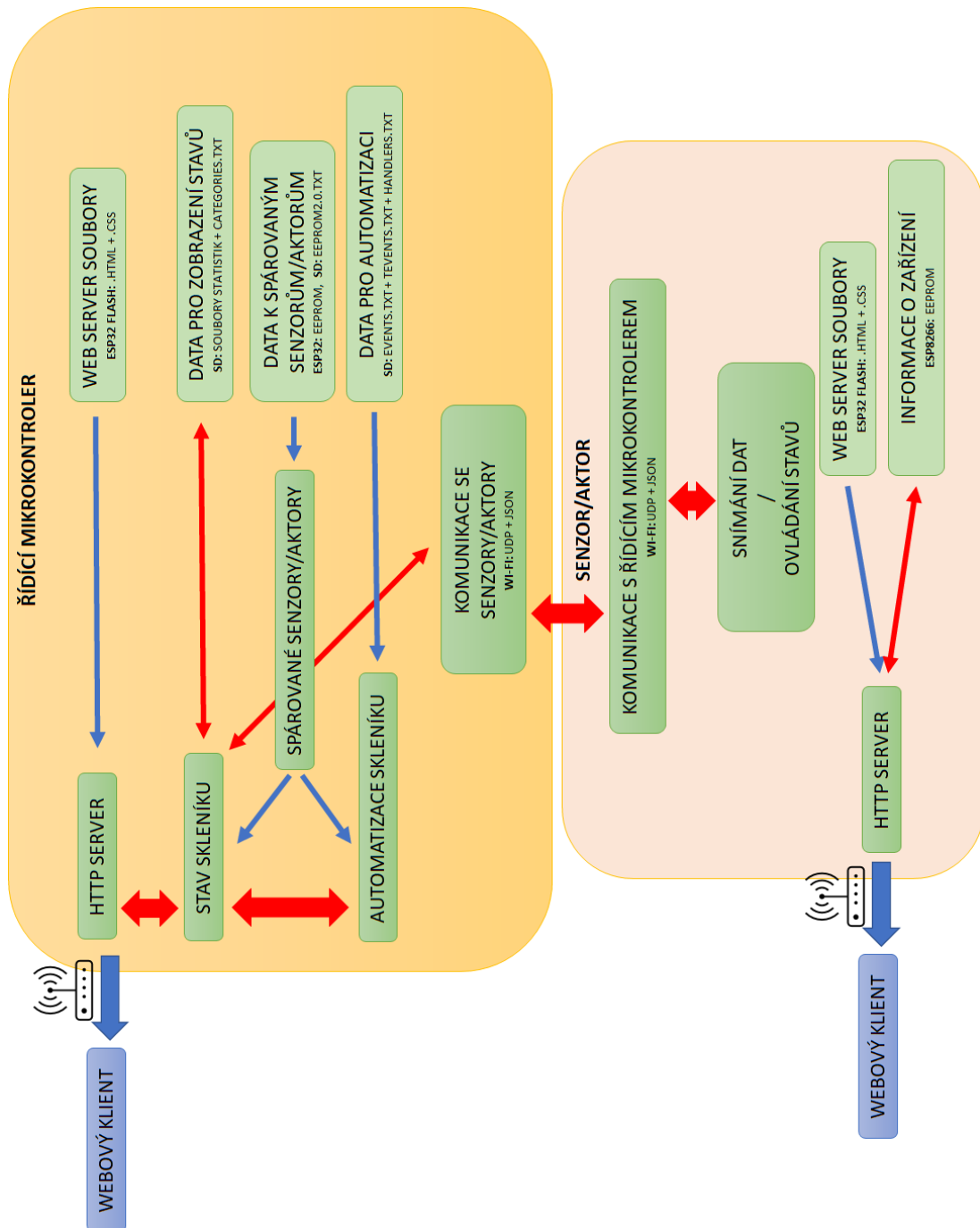
Handler 2:

```
{
  "eventID":[-1, 2],
  "eventOperator":1,
  "resetEvents":0,
  "targetMac":"88:2J:5K:22:G2:85",
  "targetDesc":"Osvetleni",
  "value":0,
  "handlerID":2
}
```

Po aplikování takovéto automatizace by mohlo dojít k případu, kdy uživatel vstoupí do skleníku těsně před čtvrtou hodinou ranní a spustí tím světlo. Skleník však opustí po čtvrté hodině a následně už nedojde ke zhasnutí světla. Uživatel by tak světlo musel zhasnout pomocí aplikace. Proto by bylo vhodné přidat další Tevent, který se aktivuje po čtvrté hodině ranní a na něj navázat Handler, který preventivně odešle povel pro zhasnutí světla.

4.4.7 Propojení softwaru a hardwaru

Pro lepší srozumitelnost bylo vytvořeno schéma propojení softwarové a hardwarové části inteligentního skleníku.



Obrázek 4.26: Zjednodušené schéma systému

4.4.8 Příprava na propojení se serverem inteligentní domácnosti

V případě, že uživatel používá vlastní server pro řízení inteligentní domácnosti, má možnost integrovat svůj inteligentní skleník pod tento server. Díky tomu může uživatel ovládat svůj skleník přes profesionální aplikaci, na kterou je zvyklý. Také automatizaci může nastavit přímo na serveru inteligentní domácnosti bez jakýchkoliv omezení. K automatizaci bude moct využít nejenom hardware skleníku, ale také senzory své inteligentní domácnosti jako je například profesionální meteorologická stanice. Ve výsledku tak uživatel rozšíří svou inteligentní domácnost s minimálními náklady bez nutnosti dokupovat značkové produkty.

4.4.8.1 Získání stavu zařízení

Pro správnou funkci musí mít nadřazený server přístup k jednotlivým stavům hardwaru skleníku a také možnost ovládat jeho akční prvky. Veškerá tato funkcionalita byla dosažena pomocí HTTP dotazů a UDP datagramů. Nadřazený server se tak může dotázat na stav jednotlivých zařízení skleníku pomocí HTTP dotazů, který může vypadat například následovně:

http://192.168.1.10/getState?mac.desc=A4:CF:12:F4:DC:F1.Okno_L

V tomto konkrétním příkladě má server inteligentního skleníku IP adresu 192.168.1.10 a dotazujeme se na stav zařízení, jehož MAC adresa je „A4:CF:12:F4:DC:F1“ a jeho název je „Okno_L“. Jako odpověď pak dostáváme jedno číslo, které popisuje jeho aktuální stav. Z příkladu je tak jasné, že červeně zvýrazněný text se bude měnit v závislosti na IP adrese serveru skleníku a konkrétním zařízení, jehož stav chceme zjistit.

V případě, kdy by skleník obsahoval velké množství zařízení a server inteligentní domácnosti by se v krátkých intervalech dotazoval na každé zařízení zvlášť, mohlo by dojít k přetížení serveru skleníku. Proto se lze dotázat hromadně na všechny stavy pomocí jediného dotazu:

[http://192.168.1.10/getState?mac.desc=](http://192.168.1.10/getState?mac.desc=*)*

Místo zadání konkrétní MAC adresy a názvu senzoru tak stačí napsat pouze „*“ a server skleníku vrátí jako odpověď strukturovaný text, ve kterém lze jednoduše najít stav každého zařízení skleníku. Odpověď může vypadat následovně:

F4:CF:A2:D1:05:3E.Teplota_Vzduchu=17.50

F4:CF:A2:D1:05:3E.Vlhkost_Vzduchu=42.80

F4:CF:A2:D1:01:54.Vlhkost_Pudy_R2=2.00

4.4.8.2 Ovládání akčních prvků

Akční prvky lze ovládat pomocí velmi podobných HTTP dotazů, kterým přibude pouze jeden parametr definující stav, který po aktuátoru požadujeme. Příklad může vypadat následovně:

```
http://192.168.1.10/setState?mac.desc=A4:CF:12:F4:DC:F1.Okno_L&command=100
```

V tomto konkrétní příkladě žádáme server skleníku o úplné otevření okna. Server pak odpoví jednoduše číslem, které bylo zadáno jako požadavek na vybraný akční člen.

4.4.8.3 Upozornění na změnu stavu

V případě potřeby, dokáže server skleníku sám informovat inteligentní domácnost o veškerých změnách stavů jeho zařízení. Na SD kartu nadřazeného mikrokontroleru skleníku stačí nahrát soubor „masters.txt“, ve kterém je potřeba definovat IP adresu a port, kam má odesílat UDP paket o změně stavu. I pro tento soubor platí, že zadávání informací má přesně daný syntax a provádí se pomocí JavaScriptového objektového záznamu. Uživatel si může dokonce definovat celou řadu IP adres a portů, díky čemuž může být informováno o změně stavu skleníku vícero zařízení najednou. Příklad definice zařízení, na něž budou posílány změny stavů může vypadat takto:

```
{"ip":[192,168,0,85],"port":5040}
```

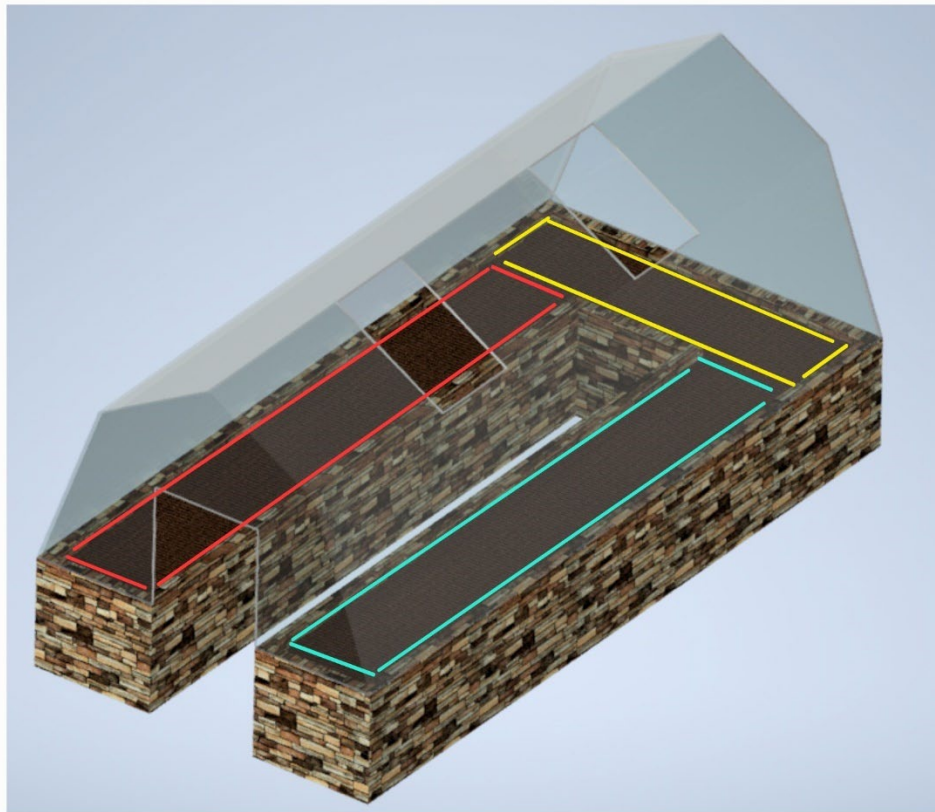
Odeslaný UDP datagram pak obsahuje MAC adresu a název zařízení společně s jeho novou hodnotou. V případě, že by byl odeslaný výše zmíněný požadavek na otevření okna, po vykonání by UDP datagram vypadal následovně:

```
A4:CF:12:F4:DC:F1.Okno_L=100
```

Ve výsledku se tak není potřeba pravidelně dotazovat na stavy zařízení skleníku, neboť server sám dokáže posílat informace o případných změnách.

4.5 Oživení inteligentního skleníku

Nejprve bylo potřeba vybrat a sestavit vhodný skleník. V našem případě byl vybrán skleník o rozměrech 6x3 metrů se čtyřmi okny. Celý skleník byl usazen na zídce ze ztraceného bednění, která umožňuje vyvýšení záhonů o 40 centimetrů a tím zjednodušuje přístup k pěstovaným rostlinám. Následně bylo potřeba do skleníku dovést elektřinu a vodu napojenou na čerpadlo udržující stálý tlak v potrubí.

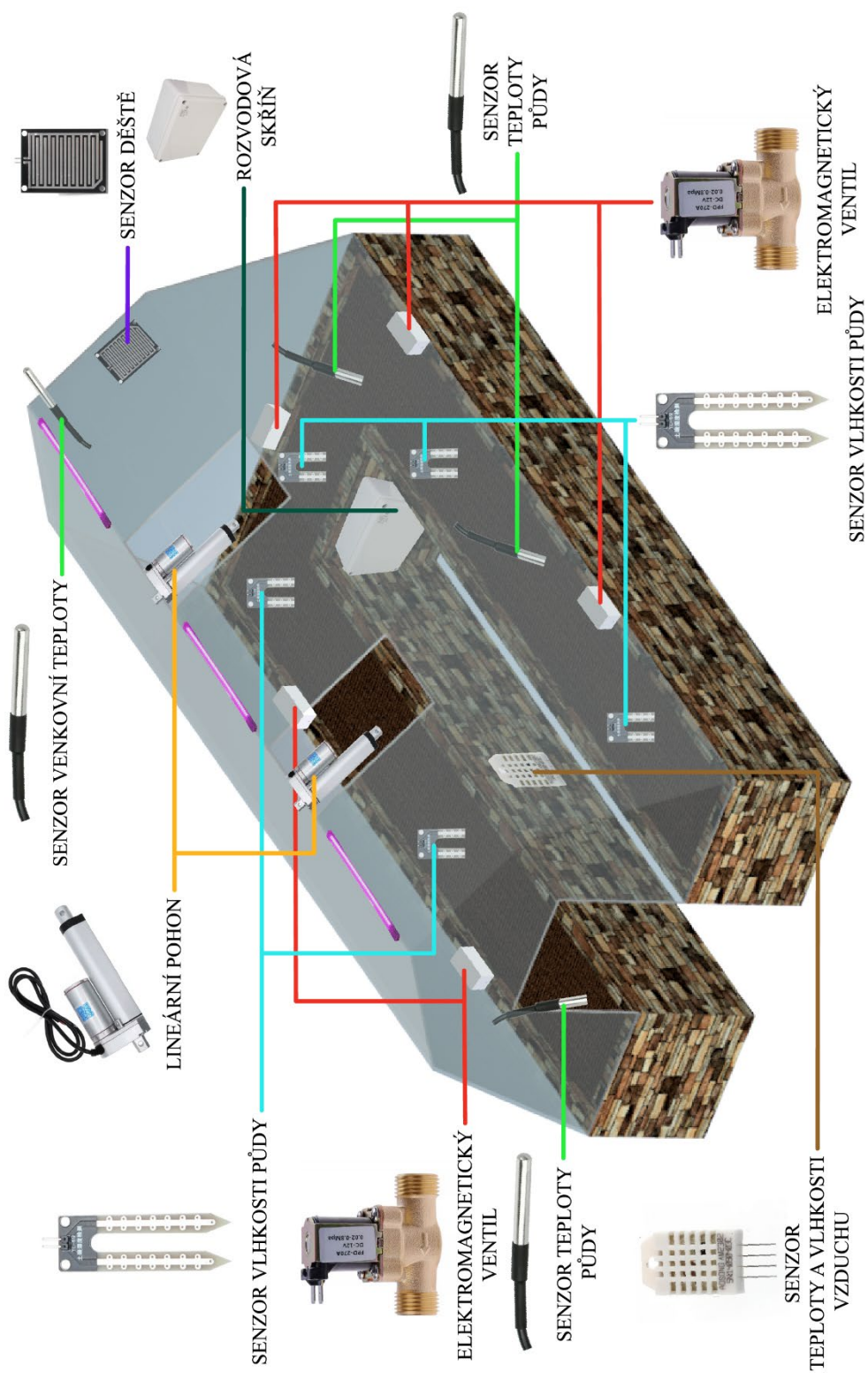


Obrázek 4.27: Schéma postaveného skleníku

4.5.1 Rozvržení hardwaru

Skleník byl rozdělen do tří částí: levá strana, pravá strana a střed. Na obrázku 4.27 jsou tyto části zvýrazněny červeně, tyrkysově a žlutě. V každé z těchto částí se očekává pěstování jiných rostlin. Proto bylo potřeba správně rozvrhnout hardware skleníku tak, aby bylo možno jednoduše měnit podmínky pro každou část zvlášť. Levá i pravá strana bude shodně vybavena dvěma senzory vlhkosti půdy, jedním senzorem teploty půdy a dvěma akčními členy zajišťujícími pravidelné zalévání vybraného úseku. Střed skleníku pak bude vybaven jedním senzorem vlhkosti a teploty půdy. Zalévání bude obstarávat jeden akční člen.

Pro celý skleník pak bude společný vnitřní senzor teploty a vlhkosti vzduchu. Otvírání oken bude zajištěno dvojicí akčních členů s lineárními pohony. Správnému růstu bude napomáhat akční člen zodpovědný za spínání LED přísvitu a nízkou teplotu uvnitř skleníku bude řešit přímotop s ventilátorem. Venkovní podmínky bude sledovat senzor deště a venkovní teploty. Dohromady tak skleník bude vybaven jedenácti inteligentními senzory a devíti akčními členy.



Obrázek 4.28: Rozmístění hardwaru uvnitř skleníku

Obrázek 4.28 zobrazuje rozmístění hardwaru skleníku s výjimkou přímotopu, který je přenosný a nemá tak přesně dané místo.

4.5.2 Rozvodná skříň

Veškerý hardware uvnitř skleníku je potřeba napájet. Proto bylo do skleníku přivedeno síťové napětí 230 V/50 Hz, které slouží pro napájení 5 a 12 V zdrojů umístěných v rozvodné skříni. Následně byla po obvodu skleníku rozvedena tři žilová kabeláž obsahující 5 V, 12 V a zem. Nižší napětí slouží pro napájení jednotlivých mikrokontrolerů. Dvanáct voltů pak slouží pro napájení elektromagnetických ventilů a lineárních pohonů. Pro napájení LED přísvisitu společně s přímotopem a ventilátorem bylo potřeba přivést přímo síťové napětí.

V rozvodové skříni se kromě zdrojů nachází také jistič, elektroměr a nadřizený mikrokontroler, který slouží jako server a řídicí člen celého inteligentního skleníku. Na jeho OLED displeji lze vyčíst jaké Wi-Fi síti je momentálně připojený a na jaké IP adrese lze navštívit jeho webovou aplikaci.

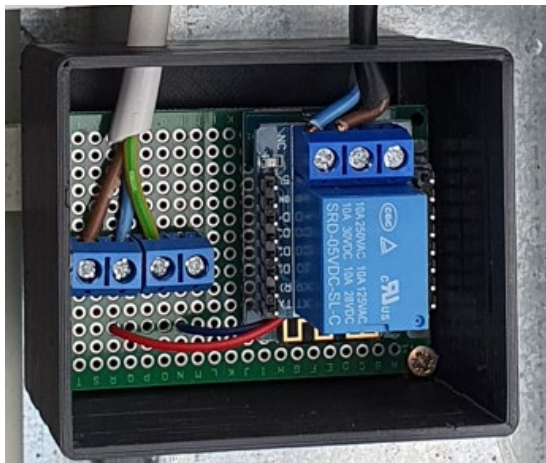


Obrázek 4.29: Zapojení rozvodové skříně

4.5.3 Rozmístění hardwaru

Každý senzor a aktuátor byl nejdříve napájen na univerzální desku plošných spojů přesně podle schémat zapojení v kapitolách 4.2 a 4.3. Následně jim byl nahrán software a funkční hardware byl umístěn do vytisknuté krabičky, která ve své spodní části obsahovala neodymové magnety pro jednoduché uchycení ve skleníku a případnou pozdější manipulaci. Pro dosažení vodotěsnosti pak byly krabičky zabaleny do PVC smršťovací fólie.

Ke každému zařízení ve skleníku bylo přivedeno potřebné napětí pomocí vodotěsných rozbočovačů se stupněm krytí IP68. V případě senzorů byla z rozbočovače vyvedena pouze dvojlinka obsahující 5 V a zem. K akčním prvkům pracujícím s akčními členy na 12 V byla přivedena trojlinka obsahující zem, 5 a 12 V. K akčním členům pracujícím se střídavým napětím 230 V/50 Hz bylo dovedeno síťové napětí přímo z rozvodové skříně. V našem případě se totiž jedná pouze o LED přisvit a přimotoč s ventilátorem, který je umístěný v blízkosti rozvodové skříně.



a)



b)

Obrázek 4.29: a) Akční člen ovládající elektroventil
b) Vodotěsný rozbočovač

4.5.4 Kontrola funkčnosti a oprava chyb

Jednotlivá zařízení bylo potřeba připojovat k napájení postupně tak, aby bylo možné jednoduše provést jejich inicializaci pomocí vlastního přístupového bodu. V případě, že by inicializaci potřebovalo více zařízení najednou, mohl by uživatel ztratit orientaci v tom, jaké zařízení právě nastavuje. Všechna zařízení mají totiž při první inicializaci stejné jméno přístupového bodu a nemají předvyplněné inicializační karty.

Většina inicializovaných zařízení byla schopna se automaticky spárovat s nadřazeným mikrokontrolerem a začít odesílat potřebná data. Problém nastal s inicializací osmého zařízení. Server skleníku již nedokázal přijímat UDP datagramy tohoto zařízení i přes to, že osmý senzor fungoval naprosto v pořádku. Problém byl způsoben velkým množstvím portů, na kterých měl server skleníku přijímat UDP datagramy. Do této doby byl totiž každému zařízení přiřazován vlastní port, přes který měl se serverem komunikovat. Bylo zjištěno že mikrokontroler ESP32 zvládne přijímat spolehlivě datagramy pouze na čtyřech portech. Proto byl pozměněn způsob přiřazování komunikačních portů jednotlivým zařízením. Ve výsledku je tak jeden port použit pro automatické párování senzorů a aktuátorů s nadřazeným mikrokontrolerem. Další tři porty jsou využity pro komunikaci s jednotlivými zařízeními. Protože server nově komunikuje s vícero zařízeními na jednom portu, je potřeba odesílat data vždy na konkrétní IP adresu, aby nedocházelo k zbytečnému zahlcení různých zařízení, kterých

se dané zprávy netýkají. Po této úpravě bylo možné zprovoznit zbývající zařízení bez větších obtíží.

V ojedinělých případech se stávalo, že některé zařízení se odpojilo od Wi-Fi sítě, což znemožnilo se zařízením, jakkoliv komunikovat. Pro vyřešení tohoto problému proběhla aktualizace softwaru. Díky tomu dochází k restartování zařízení v případě, kdy se mu nedaří navázat spojení s nadřazeným serverem déle jak 7 minut.

Následně se přistoupilo k ověření fungování automatizace založené na objektech Event, Tevent a Handler. Byla definována celá řada těchto objektů, která zajišťovala například otevření okna v případě vysokých teplot uvnitř skleníku, zavření okna v případě deště, spouštění zalévání v pravidelných intervalech a v případě, že je půda příliš suchá. Automatizace fungovala bez obtíží a potvrdila se její univerzálnost a jednoduchost.

Po týdnu pravidelného zalévání byl objeven problém s měřením vlhkosti půdy pomocí odporového senzoru. Obnažená část dvou elektrod má tendenci velmi rychle korodovat, což způsobuje nekonzistentní výsledky měření. Proto bylo vyhodnoceno jako vhodnější používat kapacitní senzory vlhkosti půdy, které jsou sice dražší, ale slibují větší odolnost ve vlhkém prostředí. V budoucnu tak bude sensorům vyměněna snímací vidlice za kapacitní.

4.5.5 Propojení se serverem inteligentní domácnosti Loxone

Pro ověření možnosti propojit skleník s nadřazeným serverem byl použit miniserver Loxone pro řízení inteligentní domácnosti. Ten disponuje možností definovat virtuální UDP a HTTP vstupy a výstupy. Skupina virtuálních vstupů v našem případě požádá o strukturovaný text obsahující veškeré informace o stavech senzorů a aktuátorů uvnitř skleníku. Odpověď skleníku může vypadat například následovně:

```
50:02:91:79:3C:17.Ventil_S=0.00  
50:02:91:79:4A:7F.Vlhkost_Pudy_L2=3.00  
48:3F:DA:69:13:BA.Teplota_Pudy_L1=11.10
```

Loxone pomocí jednoho dotazu získá veškeré potřebné informace ke všem virtuálním vstupům. Každý virtuální vstup pak použije vlastní identifikátor k nalezení požadované hodnoty. Například pro vstup vlhkosti půdy vypadá identifikátor následovně:

```
50:02:91:79:4A:7F.Vlhkost_Pudy_L2=\v
```

Kde část textu před zpětným lomítkem představuje řetězec, za kterým miniserver očekává číselnou hodnotu definující stav zařízení. Následně bylo potřeba definovat interval, s jakým si server bude žádat o aktuální data skleníku. Ve výsledku tak každých 10 sekund Loxone aktualizuje veškerá data, která pak uživatel může sledovat nejen v nativní aplikaci skleníku, ale i přímo v aplikaci Loxone.

Po nastavení senzorů bylo potřeba ověřit možnost ovládat akční prvky skleníku pomocí miniserveru Loxone. Pro tyto účely byly použity virtuální HTTP výstupy, kde byl pro každý aktuátor definován přesný HTTP dotaz pro vyvolání změny stavu.

Všechny potřebné informace pro sestavení takového příkazu lze vyčíst v kapitole 4.4.8.2. Následně lze ovládat veškeré aktuátory také v aplikaci Loxone.

Aby mohl uživatel aplikace Loxone sledovat okamžitou změnu stavu aktuátorů i v případě, kdy někdo jiný provede změnu v nativní webové aplikaci, byly na SD kartu skleníku nahrány informace o IP adrese a portu, na kterém bude miniserver přijímat UDP pakety o změnách stavů všech zařízení. Následně byly definované virtuální UDP vstupy, které zvládnou zprávu přečíst a zaznamenat změnu stavu v aplikaci.

Uživatel má teoreticky možnost využít pro automatizaci skleníku logiku naprogramovanou v miniserveru namísto použití omezené logiky samotného skleníku.

4.6 Prostor pro zlepšení

I přes to, že navržený systém inteligentního skleníku funguje velmi dobře, nabízí se řada vylepšení, které by bylo vhodné do budoucna implementovat. Jako první by bylo užitečné rozšířit možnosti, jak pracovat s objekty typu Event, Tevent a Handler, které slouží k automatizaci skleníku. Uživatel by mohl ocenit možnost porovnávat stavy různých aktuátorů a senzorů mezi sebou, provádět s nimi jednoduché matematické operace a na základě jejich výsledků nastavit vhodnou reakci.

Dále by bylo vhodné rozšířit možnosti práce s webovou aplikací skleníku. Momentálně je potřeba zadávat spoustu důležitých věcí manuálně na SD kartu serveru. Do budoucna by se hodilo umožnit uživateli spravovat soubory na SD kartě vzdáleně právě přes webovou aplikaci. Také by mohlo být užitečné komunikovat s aplikací přes zabezpečený protokol HTTPS s tím, že každý uživatel by se musel nejdříve zaregistrovat a do aplikace by vstupoval pomocí nastavené přezdívky a hesla.

Uživatel by měl mít také možnost odstranit konkrétní starší spárovaná zařízení, která již nejsou ve skleníku přítomna. Momentálně je potřeba tuto akci provádět pomocí vymazání paměti EEPROM, což odstraní všechna spárovaná zařízení z paměti serveru. Uživatel tak musí zbytečně čekat, než server opět naváže komunikaci s veškerým aktivním hardwarem.

Momentálně aktuátory mění svůj stav pouze na základě zadaných požadavků přímo ze serveru skleníku. Díky tomu se může například stát, že server bude požadovat po elektroventilu zalévat nepřiměřeně dlouhou dobu. To může vést k přelití rostlin nebo také úplné devastaci skleníku. Proto by měl mít uživatel možnost v inicializačním procesu každého aktuátoru nastavit výchozí stav a určit maximální dobu po kterou smí být aktuátor v jiném stavu než výchozím.

Aktuálně server není plně připravený na práci v offline režimu a je potřeba, aby měl přístup k internetu. Do budoucna by tak bylo vhodné umožnit jeho fungování offline. Momentálně se z internetu načítá aktuální čas a některé knihovny k zobrazení statistik.

Jako poslední by bylo vhodné umožnit každému zařízení vzdálené aktualizace firmwaru pomocí metody OTA („Over The Air“). Díky tomu by bylo výrazně jednodušší udržovat firmware všech zařízení aktuální bez nutnosti demontovat je ze

skleníku. Ještě pokročilejším řešením by mohla být kontrola nových aktualizací na definovaném vzdáleném uložišti (cloudu), přičemž firmware by se aktualizoval automaticky.

5 Závěr

Úkolem práce bylo navrhnout a vytvořit vestavěný řídicí systém pro inteligentní skleník na bázi běžně dostupných mikrokontrolérů umožňující automatizaci provozu skleníku. Řešení mělo obsahovat zařízení pro automatizaci procesů, webovou aplikaci pro sledování aktuálních stavů a statistik a také potřebné ovládací prvky pro manuální ovládání aktuátorů na dálku. Dále měl navržený systém podporovat napojení na nadřazený server, který umožní vzdálený monitoring a řízení. Na závěr bylo potřeba vytvořený systém aplikovat na vhodný skleník a ověřit jeho funkčnost.

Nejdříve si bylo potřeba promyslet, jaká bude architektura softwaru. Hned z počátku bylo jasné, že skleník bude ovládán pomocí webové aplikace, která zajistí, že uživatel bude moci pro ovládání využít jakéhokoliiv zařízení s jednoduchým webovým prohlížečem bez nutnosti instalovat konkrétní aplikaci. Následně si bylo potřeba upřesnit, jakým způsobem spolu bude komunikovat nadřazený server s jednotlivými senzory a aktuátory skleníku. V práci jsme se rozhodli volit bezdrátovou komunikaci pomocí Wi-Fi, což umožňuje výbornou škálovatelnost bez omezení výstupních a vstupních pinů serveru. Jediným omezením je výpočetní výkon procesoru serveru.

Po ujasnění základů mohl být vybrán mikrokontroler, který bude sloužit jako server a bude zodpovědný za veškeré fungování inteligentního skleníku. Konkrétně byl vybrán čip ESP-32, který disponuje vysokým výkonem při zachování nízké pořizovací ceny. Aby server mohl bezdrátově komunikovat s vybavením skleníku, bylo potřeba vybavit také každý aktuátor a senzor vlastním mikrokontrolerem podporujícím Wi-Fi bezdrátovou komunikaci. Pro tyto účely byl vybrán slabší čip ESP8266, který i tak disponuje dostatečným výkonem, a přitom je výrazně levnější jak ESP-32.

Každý čip ESP8266 má za úkol obstarávat určitý senzor nebo aktuátor. V této práci se jedná o měření teplot pomocí senzorů DHT22 a DS18B20, měření vlhkosti půdy a přítomnosti deště pomocí odporových senzorů, ovládání otvírání oken pomocí elektromagnetického relé a lineárního pohonu, ovládání elektromagnetického ventilu pomocí jednoduchého relé a spínání LED přívitu společně s přímotopem a ventilátorem. Pro každé zařízení tak bylo potřeba vytvořit konkrétní software, který se skládá ze dvou částí. První část se týká konkrétní funkce daného hardwaru a pro každý typ zařízení se liší. Druhá část představuje inicializační proces daného zařízení, automatické párování se serverem a následné navázání komunikace. Tato část je pro veškerý hardware vždy stejná.

Následně bylo možné vytvořit webovou aplikaci serveru, která každému spárovanému zařízení automaticky vytvoří ovládací kartu přesně podle toho, jaký úkol ve skleníku plní. Pro kontrolu nad naměřenými daty bylo uživateli umožněno sledovat statistiky všech zařízení. Pro lepší srozumitelnost lze vytvářet v aplikaci kategorie, do kterých si uživatel může umístit pouze část spárovaných zařízení podle svého výběru.

Nejdůležitější částí inteligentního skleníku je bezesporu automatizace. Pro tuto práci byl vyvinut jednoduchý a efektivní způsob. Velkou výhodou je, že uživatel nepotřebuje znát žádný programovací jazyk a pomocí jednoduchého definování objektů „Tevent“, „Event“, a „Handler“ do příslušných textových souborů na SD kartě serveru

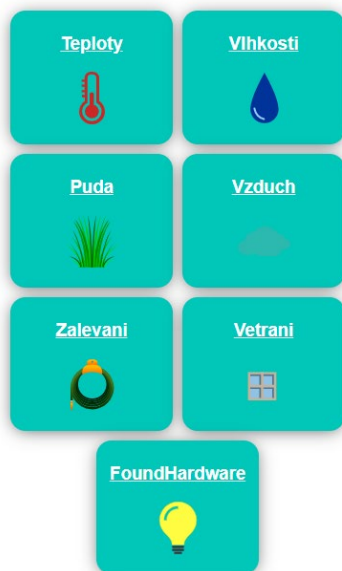
si dokáže nastavit automatizaci tak jak potřebuje. Příklady nastavení takové automatizace lze najít v kapitole 4.4.6.

Na závěr zbývalo umožnit uživateli napojení jeho inteligentního skleníku na nadřazený server, kterým může být například server pro ovládání inteligentní domácnosti. Ty častokrát disponují virtuálními výstupy a vstupy, které lze obsluhovat pomocí HTTP dotazů nebo UDP datagramů. Proto byl vytvořen způsob, jak server skleníku požádat pomocí HTTP dotazů a UDP datagramů o aktuální stavy jednotlivých zařízení, nebo mu přikázat odeslat požadavek na změnu stavu některému z aktuátorů.

Celý systém byl následně ověřen na fyzickém skleníku o rozměrech 6x3 m. Uvnitř skleníku bylo umístěno 11 senzorů, 9 aktuátorů a jeden server. Následující týdny bylo sledováno chování senzorů a nastavené automatizace. Nakonec se potvrdilo, že nasazením takového systému lze zásadním způsobem zjednodušit a zefektivnit pěstování nasazených rostlin. Velmi užitečné bylo také napojení na server inteligentní domácnosti Loxone, díky kterému lze skleník ovládat také pomocí jeho aplikace. Pomocí softwaru Loxone Config lze dodatečně nastavit automatizaci skleníku a využít tak například dat z profesionální meteorologické stanice, připojené právě k serveru Loxone.

Ve výsledku tak vytvořený systém nabízí možnost kompletně ovládat inteligentní skleník na úrovni komerčních řešení, a to za zlomek jejich ceny. Systém je natolik univerzální, že by s menšími úpravami mohl být použit pro ovládání celé inteligentní domácnosti nebo alespoň její významné části.

SETTINGS Categories

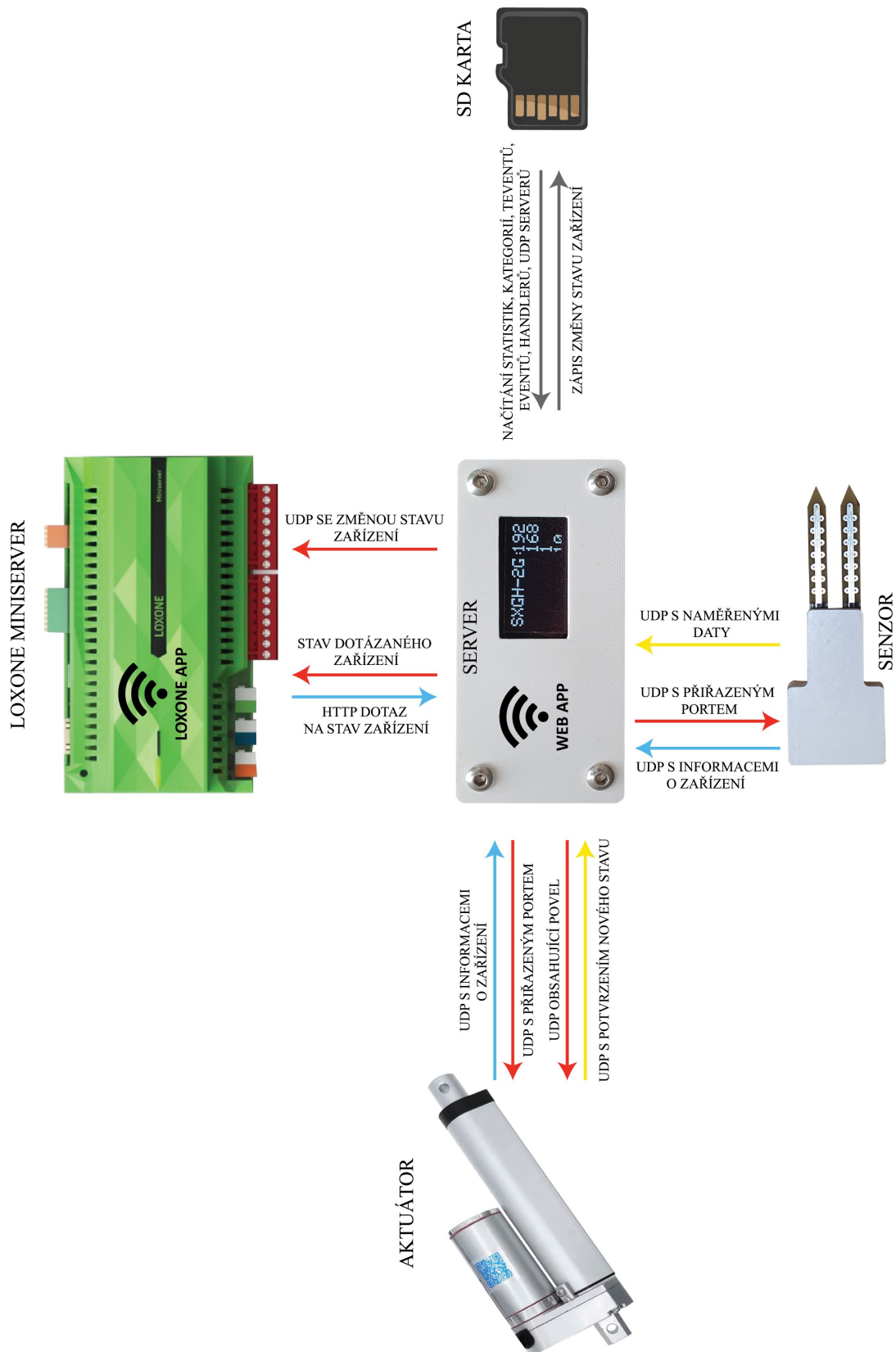


a)



b)

Obrázek 5.1: a) Webová aplikace skleníku, b) Postavený inteligentní skleník



Obrázek 5.2: Zjednodušený koncept celého řešení

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] Paprika už vyjde i na 200 korun za kilogram [online]. [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/zpravy/589111-paprika-uz-vyjde-i-na-200-korun-za-kilogram-je-na-petinasobku-ceny-z-leta-2018-zdrazuji-i-okurky/>
- [2] Středozevní podnebí. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/St%C5%99edozevn%C3%AD_podneb%C3%AD
- [3] Rajče jedlé. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Raj%C4%8De_jedl%C3%A9/
- [4] Podnebí Česka. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-11-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Podneb%C3%AD_%C4%8Ceska
- [5] ESP32 - První vydání datasheetu modulu. Chiptron [online]. Praha: Chiptron, 2016 [cit. 2021-11-28]. Dostupné z: <https://chiptron.cz/news.php?readmore=327>
- [6] Smart greenhouse. Smart4agro [online]. Yaroslav: smart4agro, 2019 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://smart4agro.com/en/greenhouses/>
- [7] PARKSIDE® Zavlažovací počítač. Lidl [online]. Praha: Lidl, 2019 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: https://www.lidl.cz/p/parkside-zavlazovaci-pocitac/p100326404?mkte=shopping&gclid=CjwKCAiAo4OQBhBBEiwA5KWu_1fhvM4tZWzhf-sE56YeNn8CF9-IpcjHEEF1cefiM2HK8np351c3uRoCu8oQAvD_BwE
- [8] Zavlažovací počítač MultiControl duo. Gardena [online]. Praha: Gardena, 2015 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.gardena.com/cz/produkty/zavlaha/rizeni-zavlazovanie/multicontrol-duo/966769601/>
- [9] Čidlo půdní vlhkosti. Gardena [online]. Praha: Gardena, 2016 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.gardena.com/cz/produkty/zavlaha/rizeni-zavlazovanie/cidlo-pudni-vlhkosti/967926801/>
- [10] Automatický otvírač skleníkových oken. Gardena [online]. Jarohněvice: České skleníky, 2014 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.ceskeskleniky.cz/automaticky-otvirac-sklenikovych-oken>
- [11] LCC4 Climate Control. Senmatic [online]. Sønderlø: Senmatic, 2021 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/products/electronic-climate-controls/lcc4>

- [12] RTF-6 / RTFC-7 Sensor. Senmatic [online]. Søndersø: Senmatic, 2021 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/products/electronic-climate-controls/rtf-6-rtfc-7>
- [13] Climate Sensors. Senmatic [online]. Søndersø: Senmatic, 2021 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/products/analog-climate-components/climate-sensors>
- [14] FL100 grow. Senmatic [online]. Søndersø: Senmatic, 2021 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/products/led-grow-light/fl100-grow>
- [15] Soft Fruit. Senmatic [online]. Søndersø: Senmatic, 2021 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/markets/soft-fruit>
- [16] Leaf temperature sensor - keep an eye on the plant's well-being. Senmatic [online]. Søndersø: Senmatic, 2021 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/products/electronic-climate-controls/leaf-temperature-sensor>
- [17] MS900C Weather Station. Senmatic [online]. Søndersø: Senmatic, 2021 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/products/electronic-climate-controls/ms900c>
- [18] Arduino MEGA 2560. Arduino [online]. Ivrea: Arduino, 2017 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- [19] Motorizovaný kulový ventil G3/4" DN20 12VDC CR04. Drátek [online]. Havlíčkův Brod: Dratek, 2018 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1301-motorizovany-kulovy-ventil-g3-4-dn20-12vdc-cr04.html>
- [20] Modul relé 12V - 1 kanál. Drátek [online]. Havlíčkův Brod: Dratek, 2018 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/2948-modul-rele-12v-1-kanal.html>
- [21] Spínaný zdroj MEAN WELL LRS-100-12. Drátek [online]. Havlíčkův Brod: Dratek, 2018 [cit. 2022-02-07]. Dostupné z: <https://dratek.cz/arduino/1770-spinany-zdroj-mean-well-lrs-100-12.html>
- [22] Elektrický pohon LAD 500N 15mm / s 12V - zdvih 15cm. Botland [online]. Ostrava: Botland, 2019 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://botland.cz/linearni-aktuatory/15471-elektricky-pohon-lad-500n-15mm-s-12v-zdvih-15cm-5904422350734.html>

- [23] Reléový modul 2 kanály H / L s optoizolací - kontakty 10A / 250VAC - cívka 12V. Botland [online]. Ostrava: Botland, 2019 [cit. 2022-02-17]. Dostupné z: <https://botland.cz/rele-arduino-rele/6552-releovy-modul-2-kanaly-h-l-s-optoizolaci-kontakty-10a-250vac-civka-12v-5904422359805.html>
- [24] Highcharts [online]. -: Highcharts, 2005 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.highcharts.com/>
- [25] User Datagram Protocol. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/User_Datagram_Protocol
- [26] WebSocket. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/WebSocket>
- [27] Gas Heater RENZOR. In: Energyinfo [online]. Oregon: Energyinfo, 2018 [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://energyinfo.oregon.gov/blog/2016/10/19/odoe-programs-help-peoria-gardens-grow>
- [28] AMI Penta fertilizer Mixer. In: Senmatic [online]. Sønderø: Senmatic, 2019 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/products/irrigation-fertilizer-mixers/ami-penta-mixer>
- [29] MS900C Weather Station. In: Senmatic [online]. Sønderø: Senmatic, 2017 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/products/electronic-climate-controls/ms900c>
- [30] SuperLink 6 - Software for data collection and analysis for optimal climate control. In: Senmatic [online]. Sønderø: Senmatic, 2017 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.senmatic.com/horticulture/products/software/superlink-60>
- [31] Raspberry Pi 4. In: Raspberrypi [online]. Cambridge: Raspberrypi, 2021 [cit. 2022-04-19]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>
- [32] ŠINDELÁŘ, Jiří. Návrh řídicí elektroniky airsoftové zbraně. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125122>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav mechaniky těles, mechatroniky a biomechaniky. Vedoucí práce Michal Bastl.

Seznam obrázků

Obrázek 2.1: Příklad vybavení inteligentního skleníku (TEN = ohřev) [6]	11
Obrázek 2.2: Zavlažovací počítač PARKSIDE [7]	12
Obrázek 2.3: Zavlažovací počítač Gardena MultiControl duo [8]	13
Obrázek 2.4: Čidlo půdní vlhkosti Gardena [9].....	14
Obrázek 2.5: Automatický otvírač skleníkových oken [10].....	15
Obrázek 2.6: Plynový ohřivač vzduchu Renzor [27].....	15
Obrázek 2.7: Průmyslový počítač LCC4 [11]	17
Obrázek 2.8: Kombinovaný senzor RTFC-7 [12]	17
Obrázek 2.9: Senzor vlnové délky světla Q20 [13].....	18
Obrázek 2.10: Aplikace LED přisvitu ve skleníku [14]	18
Obrázek 2.11: Kombinovaný půdní senzor Senmatic [15].....	19
Obrázek 2.12: Senzor teploty listu [16].....	19
Obrázek 2.13: Meteorologická stanice MS900C [29]	20
Obrázek 2.14: AMI Penta fertilizer Mixer [28].....	21
Obrázek 2.15: Grafické prostředí softwaru SuperLink 6 [30].....	21
Obrázek 2.16: Deska Arduino MEGA [18].....	23
Obrázek 2.17: Počítač Raspberry Pi 4 [31].....	23
Obrázek 2.18: a) Elektrický ventil, b) Spínací relé, c) Zdroj 12 V pro ovládání ventilů	24
Obrázek 4.1: Programování čipu ESP-32. Foto Jiří Šindelář	30
Obrázek 4.2: Zapojení nadřízeného mikrokontroleru.....	30
Obrázek 4.3: Senzor DHT22. Foto Jiří Šindelář.....	32
Obrázek 4.4: Zapojení chytrého senzoru vlhkosti a teploty vzduchu.....	32
Obrázek 4.5: Teploměr Dallas DS18B20. Foto Jiří Šindelář	33
Obrázek 4.6: Chytrý senzor pro snímání teploty	34
Obrázek 4.7: Senzor deště s komparátorem LM393. Foto Jiří Šindelář.....	34
Obrázek 4.8: Zapojení chytrého senzoru deště	35
Obrázek 4.9: Použitý senzor vlhkosti pudy s komparátorem LM393. Foto Jiří Šindelář	36
Obrázek 4.10: Zapojení inteligentního senzoru vlhkosti půdy	36
Obrázek 4.11: Dvoukanálové relé pro ovládání lineárního pohonu. Foto Jiří Šindelář .	37
Obrázek 4.12: Použitý elektromagnetický ventil. Foto Jiří Šindelář	37
Obrázek 4.13: Zapojení aktuátoru pro spínání zavlažovacího ventilu.....	38
Obrázek 4.14: Použitý lineární pohon. Foto Jiří Šindelář.....	38
Obrázek 4.15: Zapojení aktuátoru pro otvírání oken skleníku	39
Obrázek 4.16: Použité LED lampy jako přisvit ve skleníku. Foto Jiří Šindelář.....	39
Obrázek 4.17: Akční člen pro ovládání LED přisvitu. Foto Jiří Šindelář	40
Obrázek 4.18: Karty pro nastavení jména a hesla přístupového bodu.....	41
Obrázek 4.19: Karty pro nastavení názvu a typu zařízení	41
Obrázek 4.20: Karty pro nastavení typu přijímaných dat	42
Obrázek 4.21: Karta pro nastavení obrázku vystihující dané zařízení	42
Obrázek 4.22: Karty pro nastavení řídicího mikrokontroleru.....	43
Obrázek 4.23: Výchozí okno webové aplikace	46
Obrázek 4.24: Příklad zobrazení karet senzorů a aktuátorů ve vybrané kategorii	47

Obrázek 4.25: Zobrazení grafu vlhkosti vzduchu skládajícího se z 80 bodů	50
Obrázek 4.26: Zjednodušené schéma systému	59
Obrázek 4.27: Schéma postaveného skleníku.....	62
Obrázek 4.28: Rozmístění hardwaru uvnitř skleníku	63
Obrázek 4.29: Zapojení rozvodové skříně.....	64
Obrázek 5.1: a) Webová aplikace skleníku, b) Postavený inteligentní skleník.....	70
Obrázek 5.2: Zjednodušený koncept celého řešení	71