

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Bakalářská práce

IoT s využitím pro domácí pěstitele - chytrý skleník

Helena Pavlousková

© 2020 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Helena Pavlousková

Systémové inženýrství a informatika
Informatika

Název práce

IoT s využitím pro domácí pěstitele – chytrý skleník

Název anglicky

IoT with the use for home growers – a smart greenhouse

Cíle práce

Bakalářské práce je tematicky zaměřena na problematiku možnosti využití IoT pro domácí pěstitele.

Hlavním cílem práce je zhodnotit dostupné technologie IoT s ohledem na využití v chytrém skleníku.

Díličí cíle práce jsou:

- charakterizovat vybrané technologie IoT pro chytré skleníky,
- analýza a možnosti využití zařízení internetu věcí pro monitoring prostředí ve skleníku,
- formulovat návrh využití IoT technologií v prostředí skleníku.

Metodika

Teoretická část bakalářské práce se bude zakládat na analýze a rešerši odborných zdrojů a studií.

V praktické části práce budou na základě poznatků zjištěných v analytické části zhodnoceny IoT technologie pro chytré skleníky a navrhnuty možnosti jejich využití pro chytrý skleník.

Na základě syntézy teoretických a praktických poznatků budou zpracovány závěry bakalářské práce.

Doporučený rozsah práce

35

Klíčová slova

IoT, chytrý skleník, LoRa,

Doporučené zdroje informací

1. KUFA, Michal. Jednotka pro měření a přenos environmentálních dat s využitím LPWAN. Ostrava, 2019. Diplomová práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Ing. Karel Witas, Ph. D.
2. LORA. Elkoep [online]. 2016 [cit. 2019-07-12]. Dostupné z: <https://www.elkoep.cz/lora>
3. COMPUTERWORLD. COMPUTERWORLD [online]. 2015, 30.11.2015 [cit. 2019-07-12]. Dostupné z: <https://computerworld.cz/internet-a-komunikace/ovladne-lora-komunikaci-internetu-veci-52571>
4. IoT Portál: Brána do světa internetu věcí. IoT Portál: Brána do světa internetu věcí[online]. 2016, 18.4.2016 [cit. 2019-07-12]. Dostupné z: <https://www.iiot-portal.cz/2016/04/18/zemedelstvi/>
5. FOURTANÉ, Susan. INTERESTING ENGINEERING. INTERESTING ENGINEERING[online]. 2018, 7.10.2018 [cit. 2019-07-12]. Dostupné z: <https://interestingengineering.com/iiot-and-smart-agriculture-are-building-our-future-cities-today>

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Michal Stočes, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 26. 8. 2019

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 14. 10. 2019

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 08. 03. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " IoT s využitím pro domácí pěstitele – chytrý skleník " jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15.03.2020

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Michalu Stočesovi, Ph.D., za cenné rady, konzultace a připomínky týkající se mé bakalářské práce.

IoT s využitím pro domácí pěstitele - chytrý skleník

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zaměřuje na zhodnocení dostupných IoT technologií pro domácí pěstitele, výběrem vhodné řídicí jednotky, která je následně včleněna do návrhu obecného komunikačního modelu chytrého skleníku pro domácí pěstitele.

Teoretická část popisuje v současné době fungující technologie IoT, tématicky se zaměřuje na funkčnost a efektivní postupy v oboru zemědělství, a dále uvádí vhodné metody při vícekritériálním rozhodování, které mohou být použity při sestavení cílového modelu chytrého skleníku. Všechny tyto aspekty se dále promítají do vlastní části práce, která se snaží přiblížit možné technologické platformy vhodné pro domácí pěstitele, zabývá se jejich srovnáním a dále na konkrétním příkladu konceptu chytrého skleníku uplatňuje zhodnocené poznatky v podobě komunikačního modelu návrhu chytrého skleníku. Závěrečná část práce se zabývá zhodnocením předpokládaných přínosů a možnými uplatněními do budoucna, či nápady na rozšíření řešení, kdy je hlavní význam spatřován v ulehčení každodenních činností při obsluze a pěstování plodin. Dalším možným přínosem je také rozšíření povědomí o principech funkčnosti IoT právě v oblasti zemědělství s konkrétním zaměřením na chytrý skleník.

Klíčová slova: IoT, chytrý skleník, řídicí jednotka, senzory, návrh, transformace, srovnání, Raspberry, Arduino.

IoT with home growers – smart greenhouse

Abstract

This bachelor thesis focuses on the evaluation of available IoT technologies for home growers, selecting a suitable control unit, which is subsequently incorporated into the design of a general communication model of a smart greenhouse for home growers.

The theoretical part describes the currently used IoT technologies, thematically focuses on the functionality and effective practices in the field of agriculture, and also presents appropriate methods for multi-criteria decision making, which can be used to build a target model of a smart greenhouse. All these aspects are also reflected in the actual part of the thesis, which tries to approach possible technological platforms suitable for home growers, deals with their comparison and further applies the evaluated knowledge in the form of a communication model of a smart greenhouse. The final part of the thesis deals with the evaluation of anticipated benefits and possible applications in the future, or ideas for extending the solution, where the main importance is seen in the facilitation of everyday activities in the operation and cultivation of crops. Another possible benefit is to increase awareness of the principles of IoT functionality in the field of agriculture with a particular focus on a smart greenhouse.

Keywords: IoT, greenhouse, control unit, sensors, draft, transformation, comparison, Raspberry, Arduino

Obsah

1 Úvod.....	5
2 Cíl práce a metodika	6
3 Teoretická východiska	7
3.1 Technologické sítě pro IoT	7
3.1.1 Sigfox.....	7
3.1.2 LoRa.....	8
3.1.3 NB-IoT.....	9
3.2 Precizní zemědělství.....	10
3.3 Řídící jednotky pro bezdrátový přenos	11
3.3.1 Arduino	11
3.3.2 Raspbbery Pi	12
3.4 Vícekriteriální rozhodování – metody stanovení vah kritérií	14
3.4.1 Metoda pořadí	14
3.4.2 Metoda Fullerova trojúhelníku	15
3.4.3 Bodovací metoda	15
3.4.4 Saatyho metoda.....	16
4 Vlastní práce	17
4.1 Představení konceptu modelu chytrého skleníku.....	17
4.1.1 Řídící jednotka.....	18
4.1.2 Kritéria pro výběr řídicí jednotky	18
4.1.3 Seřazení kritérií dle důležitosti	22
4.1.4 Výběr řídicí jednotky	23
4.2 Konstrukční skladba skleníku	24
4.2.1 Fyzický prostor skleníku.....	24
4.2.2 Řešené problémy současného skleníku.....	27
4.2.3 Regulované veličiny	27
4.2.4 Úpravy skleníku a osazení sensorovými prvky	29
4.2.5 Komunikace	30
5 Výsledky a diskuse	31
5.1 Sumarizace výběru komponent.....	31
5.2 Návrh komunikačního modelu chytrého skleníku	32
5.3 Předpokládané přínosy	34
5.4 Nápady na rozšíření navrženého řešení.....	35
6. Závěr.....	36
7 Seznam použitých zdrojů	37

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Arduino UNO [11]	12
Obrázek 2 - Raspbberi Pi 4 [13]	14
Obrázek 3 - Ukázka modelu Fullerova trojúhelníku [zdroj autor]	15
Obrázek 4 - Saatyho bodovací stupnice [16]	16
Obrázek 5 - Obecný model funkčních částí návrhu skleníku [zdroj autor]	17
Obrázek 6 – Model prvků systému návrhu chytrého skleníku [zdroj autor]	18
Obrázek 7 - Párové porovnávání metodou Fullerova trojúhelníku [zdroj autor]	22
Obrázek 8 - Poloha uvažovaného skleníku [zdroj autor].....	24
Obrázek 9 - Graf úhrnu srážek snímaný meteostanicí Divišov [zdroj autor]	25
Obrázek 10 - Podpora světla pro optimální růst rostlin [24]	28
Obrázek 11 - Komunikační model chytrého skleníku [zdroj autor]	33

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Modelové řady zařízení Arduino [11]	11
Tabulka 2 – Modely řad desek Raspberry Pi [12]	13
Tabulka 3 - Přiřazení číselných hodnot jednotlivým kritériím [zdroj autor]	19
Tabulka 4 - Sledované výkonové parametry [zdroj autor]	19
Tabulka 5 - Sledované funkční parametry [zdroj autor].....	20
Tabulka 6 - Aktuální cenová mapa sledovaných řídicích jednotek [zdroj autor].....	22
Tabulka 7 - Stanovení výsledných vah jednotlivých kritérií [zdroj autor].....	23
Tabulka 8 - Výsledné hodnocení sledovaných platforem řídicích jednotek [zdroj autor].....	23
Tabulka 9 - Běžně dostupné typy skleníků [zdroj autor].....	26
Tabulka 10 - Sumarizace navrhovaných komponent [zdroj autor].....	31
Tabulka 11 - Cenová kalkulace navrhovaných komponent [zdroj autor].....	34

1 Úvod

Téma IoT - Internet of the Things je v současné době velmi prudce a rychle se rozvíjející oblast, která má obrovský potenciál a velmi široké uplatnění v různých oblastech lidské činnosti. Jde o souhrn moderních výpočetních technologií, jejichž cílem je v komplexním propojení spolupracujících zařízení, celkově zjednodušit, usnadnit a zefektivnit přístup člověka v důležitých pracovních odvětvích, například i zemědělství. Dalším zásadním aspektem tohoto překotně rozvíjejícího oboru je i následné vyhodnocení a analýza získaných informací. Následnou aplikací získaných informací do celého procesu přispívá IoT k novým a mnohdy nečekaným poznatkům.

Internet věcí je tedy vlastními slovy moderní, světová, elektronicky komunikačně propojená síť spolupracujících zařízení. Svými jedinečnými vlastnostmi je schopna ovládat a spravovat různě definované množiny prvků a na základě sběru, ukládání a vyhodnocení dostupných dat zpracovávat informace a podávat kvalifikované výstupy. Tyto výstupy jsou v mnoha směrech důležitým vývojovým trendem a hlavně přínosnou a zcela unikátní strategií v inovaci a pohledu na stěžejní problémy týkající se různých odvětví lidské činnosti. Uplatňují se například při skladování a produkci potravin, monitorování polí, skleníků, obhlídce a střežení budov, případně při zavádění dalších, navazujících a potřebných kontrolních systémů.

Snahou a významem této bakalářské práce je přiblížit možnost využití popisovaných technologií v konkrétní oblasti zemědělství. Moderní, prostředky pracující na této bázi mohou především menším, drobným pěstitelům pomáhat efektivně využít tyto technologie pro pěstební účely. V souvislosti se stoupajícím rozšířením a celkovým povědomím o možnostech a aplikaci těchto technologií, se stávají finančně dostupnějšími, než kdykoli v předešlých letech a mohou tak výrazně snížit náklady na provoz malých farem, či menších rodinných projektů. Navíc, jsou schopny poskytovat uživatelům nesčetné penzum potenciálně využitelných informací.

2 Cíl práce a metodika

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na problematiku možnosti využití IoT pro domácí pěstitele.

Hlavním cílem práce je zhodnotit dostupné technologie IoT s ohledem na využití v chytrém skleníku.

Tohoto hlavního cíle je dosaženo splněním následujících tří dílčích cílů:

- Vytvoření charakteristiky funkcí a vlastností dostupných technologií IoT.
- Analýza a možnosti využití zařízení internetu věcí pro monitoring prostředí ve skleníku.
- Formulovat návrh využití IoT technologií v prostředí skleníku.

Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

Teoretickou část tvoří podrobná analýza a rešerše odborných prací, studií a jiných zdrojů týkajících se tohoto tématu. Výsledkem této části je přehled a popis stávajících IoT technologií, které souvisí se zvoleným tématem a analýza možnosti využití těchto technologií ve zvoleném prostředí.

Praktická část je tvořena zhodnocením získaných teoretických poznatků a aplikací těchto poznatků v konkrétním, reálném případě. Výsledkem této části je návrh modelu IoT pro chytrý skleník, který lze, s určitými odchylkami, obecně aplikovat v kterémkoliv běžném skleníku.

3 Teoretická východiska

3.1 Technologické sítě pro IoT

Jde o poměrně mladou a moderní oblast, která skýtá nepřehledné množství využití. Cílem tohoto překotně rozvíjejícího oboru je spojení moderních komunikačních zařízení do snadno ovladatelného a jednoduchého systému, sítě, jejíž pomocí je možno získávat potřebná data a informace a tyto následně administrovat. Získané poznatky se dále využívají pro určité nebo i celé spektrum společnosti. [1]

Technologické informační sítě substituují komunikační nástroj mezi propojenými zařízeními, jsou infrastrukturou s definovanými komunikačními standardy.

Na území České republiky momentálně fungují tři hlavní technologické sítě:

- Sigfox
- LoRa
- NB-IoT

Tyto technologické sítě a jejich poskytovatelé jsou podrobněji popsány v kapitolách [3.1.1 – 3.1.3].

3.1.1 Sigfox

Celosvětově využívaná síť, která umožňuje přenášet velmi malá a relevantní data na dlouhou vzdálenost, komunikující bezdrátově prostřednictvím internetu se nazývá sigfox. [2]

Síť na území České republiky provozuje francouzská společnost SimpleCell, která prostřednictvím společnosti T-Mobile na našem území buduje bezdrátový přenos a pokrytí. Ve většině evropských zemích jsou jejími partnery právě nejčastěji poskytovatelé telekomunikačních služeb. Signál se přenáší prostřednictvím vybudovaných stožárů a antén, osazenými stejnojmennými základnovými stanicemi BTS (Base Transceiver Station). Stanice přenáší signál mezi uživatelem a centrálním systémem. Probíhá většinou jednosměrně, i když obousměrný provoz je možný také. Závisí na typu koncového zařízení a jeho schopnosti klást zpětné dotazy. Stanice jsou mezi sebou umístěny tak, že se vzájemně překrývají a jsou tak odolnější proti případným výpadkům stanic, kdy nedoručenou informaci automaticky doručí jiná zastupující BTS stanice. [3]

Pokrytí již zmiňované sítě tvoří v současnosti 94% území české republiky a 96% populace ČR. Síť vytváří poměrně bezpečný a levný přenos dat na velké vzdálenosti. Chytrá

zařízení připojená v tomto systému, senzory, či čidla, nepotřebují elektřinu, jsou schopna fungovat s bateriovým zdrojem po delší dobu cca 5-15 let. [3]

Do budoucna předpokládá tato síť spolupráci s hybridní komunikací satelitního systému v projektu, službě Admiral Leo, která umožní sledovat a monitorovat objekty kdekoli na celé planetě. [4]

3.1.2 LoRa

LoRa - Long Range je další z globálních sítí. Síť provozuje společnost České Radiokomunikace a v podstatě za ní stojí několik subjektů. Je však z tohoto důvodu variabilnější a otevřenější a lze v ní využít komponenty různých výrobců.

Dosah sítě můžeme počítat v desítkách kilometrů. Tento způsob ve velkém měřítku využívají firmy, či jiné subjekty pro umístění senzorů ve svých areálech, na parkovištích, či koncentrovanějších místech. [5]

Tato síť umožňuje propojeným zařízením poskytovat obousměrnou komunikaci v radiovém frekvenčním pásmu 868 MHz s omezeným počtem zpětných zpráv. Zařízení mohou mezi sebou komunikovat bezpečným způsobem na delší vzdálenosti, při relativně nízkých provozních nákladech a minimální spotřebě energie.

LoRa moduluje signál v podobě elektromagnetických vln na stupni fyzické vrstvy a LoRaWan je komunikačním protokolem a architekturou sítě.

LoRaWan používá zařízení komunikující s různými aplikacemi v mnoha profilově různorodých systémech zapojení. Zpoždění, mezi serverem a koncovým zařízením, ve směru sestupného spojení, v závislosti na době latence, je velice důležité pro řídicí aplikace. Z tohoto důvodu se zařízení dělí do několika typů tříd:

- Obousměrná zařízení třídy A

Systém pro zařízení s nejnižší výkoností. Vyžaduje aplikace, zahrnující sestupnou komunikaci ze serveru pouze v případě, kdy koncové zařízení odeslalo přenos na vzestupné spojení. Sestupná komunikace uskutečněná v jakémkoliv jiném čase musí počkat na další vzestupný přenos.

- Obousměrná zařízení třídy B

Jedná se o obousměrná komunikační zařízení s plánovanými přijímacími sloty. V plánovaném čase se otevírají další přijímací okna. Aby se tato okna mohla otevřít,

přijímá zařízení z brány tzv. „beacon“ rámeček, což umožňuje serveru zjistit, kdy koncové zařízení naslouchá.

- Obousměrná zařízení třídy C

Zařízení třídy C mají přijímací okna, až na výjimky, nepřetržitě otevřena. Uzavřená jsou pouze při vysílání. [6]

3.1.3 NB-IoT

Označení technologie NB je zkratkou anglického výrazu Narrow Band. V České republice provozuje tuto technologii operátor O2 a Vodafone. V současné době pokrývá tato technologie 100% území ČR a 94% populace uvnitř budov.[3]

Jak z názvu vyplývá, jedná se o úzkopásmovou technologii. Zaměření této technologie je především na propojení četných komunikačních zařízení, s nízkou energetickou náročností, propustností a citlivostí na zpoždění. Životnost baterie těchto zařízení se pohybuje okolo cca 10 let. [7]

Tato technologie pracuje v pásmech GSM a LTE. Při budování pokrytí sítě NB-IoT není potřeba fyzicky instalovat vysílací jednotky. Pokrytí je možné zajistit úpravou softwarové konfigurace již nainstalované stávající základnové stanice vysílačů určených pro běžné telefonické komunikace. Vybudování pokrytí tedy není tak složité jako u jiných technologií. Vzhledem k tomu, že síť pracuje především v pásmu LTE, může si uživatel pořídit zařízení s integrovanou SIM kartou, která spojí po aktivaci zařízení s dostupnou sítí. Prostřednictvím sítě se potřebná data ukládají na serverech/cloudech, kde se ukládají a zpracovávají a uživatel k datům následně přistupuje prostřednictvím webové, či mobilní aplikace. [3]

3.2 Precizní zemědělství

Obor precizního zemědělství se v podstatě zabývá časovou a prostorovou odlišností půdních faktorů, změnami a schopností tyto odlišnosti zaznamenat a získaná data zpracovat a využít při dalším plánování obhospodařování zkoumané půdy, nebo například při zaznamenávání přesných poloh a identifikátorů využitelných v jiných příbuzných oborech, jako je geodézie apod. Nelze říci, že se jedná o nový způsob použité technologie, protože už naši předkové si uvědomovali různorodost výnosů z pozemků a přizpůsobovali zemědělskou činnost nejenom druhům půdy, ale i časovým, či podnebním podmínkám. Pouze se mění způsob a aplikace použitých prostředků, a právě v souvislosti se spojením s IoT a s vývojem globálních satelitních systémů, sensorové techniky a ovládacích prvků dosahuje obor precizního zemědělství daleko efektivnějších a výnosnějších výsledků.

Globální navigační systémy zajišťují určení přesných souřadnic na zemském povrchu a tyto data se přiřazují danému souřadnému systému. Jedním z nejvíce užívaných navigačních systémů je americký systém GPS, dále se rozvíjí ale i systémy Glonass, Galileo, či Compass/Beidou. Přesná poloha je pak určena na základě doby, po kterou se signál přenáší z družice do koncového přijímače. Možností vyslání signálu i z jiných družic a vzájemným porovnáním je poloha velmi přesně stanovena. Vyšší přesnosti lze dosáhnout spojením dalších technologií poskytujících diferenční korekce. Např. pomocí satelitních systémů Egnos, mobilních virtuálních systémů VRS, či pozemních referenčních stanic CZEPOS. Zpracování prostorových dat probíhá v desktopových nebo mobilních programových aplikacích – geografických informačních systémech GIS. Patrně nejvíce užívanou aplikací je např. registr půdy iLPIS, určený farmářům, nebo pLPIS, určený široké veřejnosti. [8]

Pro snímání dat variability pozemku se používají senzory a čidla. Nejpoužívanějšími jsou senzory pro měření hustoty a spektrálních vlastností porostů, nebo čidla pro mapování půdních struktur. [8]

Ovládací aplikační prvky slouží k reálnému zásahu např. při diferencovaném dávkovém hnojení, postřikům, sensorování zdravotního stavu zvířat, automatizaci a digitalizaci dojíčích technologií průmyslovými roboty, při řízení klimatizačních jednotek pro chov prasat a drůbeže, ovládání traktorové a sklizňové techniky apod. [9]

3.3 Řídící jednotky pro bezdrátový přenos

Tyto platformy mohou být kombinovány s nespočtelným množstvím přídavných zařízení. S postupným vývojem obou uváděných platforem, relativně nízkou cenovou dostupností a jednoduchou technickou obsluhou těchto řídicích jednotek je jejich použitelnost při tvorbě návrhu modelu chytrého skleníku velmi vysoká. V dnešní době jsou tato zařízení uživateli předkládána ve formě modulů, které lze vzájemně poskládat – sestavit a propojit i v relativně jednoduchých podmínkách, dle přiloženého uživatelského manuálu. Stávají se tak dostupnými nejen odborné komunitě, ale i široké veřejnosti.

3.3.1 Arduino

Jedná se o jednoduchou, otevřenou (open source) a uživatelsky dostupnou platformu řídicí jednotky, která vznikla v roce 2005, v Itálii. Arduino je minikontroler, modul s vlastním programovacím jazykem. Toto zařízení bylo vyvinuto s cílem umožnit na jednoduchém HW a SW využití chytrých technologií především pro studenty. Rychle se ale rozšířilo i mezi širokou veřejnost. [11]

Desky Arduino fungují na vsazeném 8-bitovém čipu ATmega od společnosti Atmel. Některé typy desek obsahují i externí převodník, který se stará o komunikaci čipu s počítačem. Existují ale verze, kde je převodník součástí samotného čipu. Jeho umístění záleží především na prostorových možnostech – úspoře místa. V průběhu let se na trhu objevilo několik vývojových typů desek tohoto modulu, viz. tabulka č. 1. a obrázek č. 1.

Mini	Nano	Micro
LilyPad	Fio	Uno
Leonardo	Yún	Mega2560
Due	Esplora	Robot
Intel Galileo	Tree	Shieldy

Tabulka 1 - Modelové řady zařízení Arduino [11]

K počítači se Arduino připojuje pomocí USB rozhraní, softwarově programovanou linkou RS-232. Má vlastní programovací jazyk Wiring nebo Processing, blízké programovacímu jazyku C, C++, se speciálními doplňky a konstrukcemi. Na tuto platformu je také možné napojit různé druhy čidel jako senzory světla, teploty, vlhkosti vzduchu, či půdy.

Dále lze připojit LCD displej a zobrazit tak jeho prostřednictvím všechny naměřené veličiny.
[12]



Obrázek 1 - Arduino UNO [11]

3.3.2 Raspberry Pi

Raspberry je počítač o velikosti kreditní karty se standardním operačním systémem, nejčastěji distribuce Linux. Byl vyvinut v roce 2012 britskou nadací Raspberry Pi Foundation. Primárně byl navržen jako prostředek pro výuku programování dostupný pro děti na celém světě. Zájem o něj však předčil všechna očekávání jeho tvůrců. První vyrobená dávka byla totiž vyprodána během jedné hodiny po uvedení do prodeje a ihned po jejím vyprodání se čekací doba pro nové objednávky protáhla i na několik měsíců. [13]

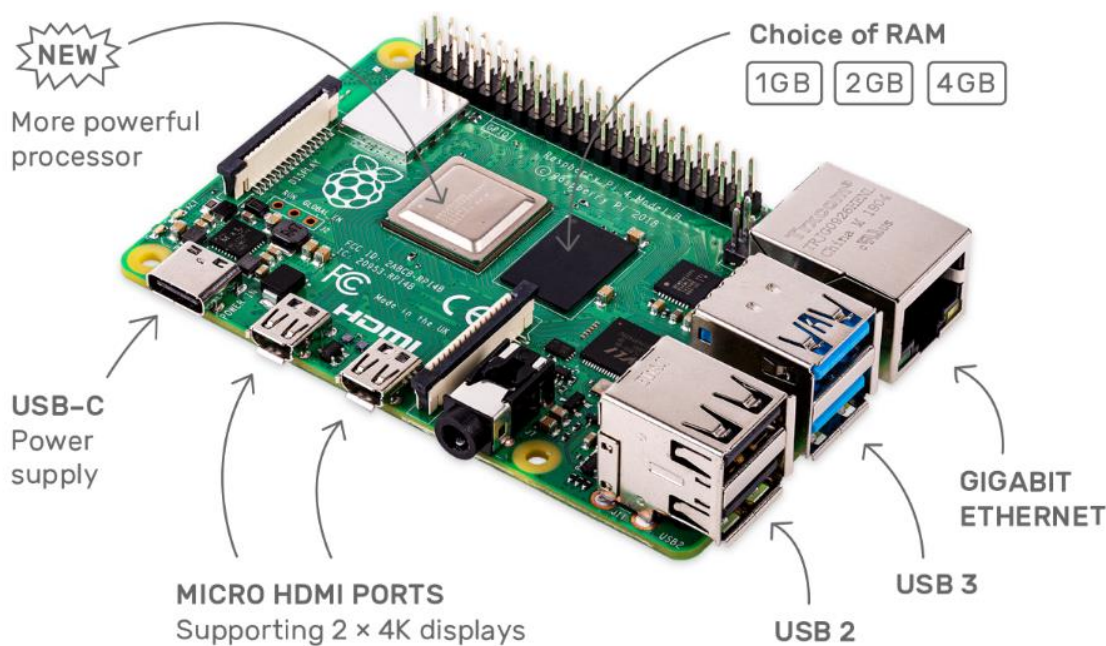
Raspberry Pi zvládne základní aplikace jako tabulkový kalkulátor, textový editor, jednodušší hry, ale dokáže přehrát i video v HD rozlišení. Operační systém, programy a data jsou umístěny na SD kartě. Raspberry Pi řídí procesor od firmy Broadcom. Pracuje na systému Soc (System on a Chip), kdy je do jednoho čipu soustředěna veškerá funkční činnost a tento systém tak nevyžaduje nadbytečné obvody, které by chod procesoru zbytečně zatěžovaly. Na této bázi pracuje v současné době většina tabletů a smartphonů a to hlavně z důvodů co největší minimalizace a úspory spotřebované energie. Zařízení obsahuje standardní rozhraní USB 2.0, Ethernet, HDMI a konektor GPIO. [14]

Samozřejmostí je využití i v oblasti, pro kterou bylo původně vyvinuto a to programování. V počáteční instalaci je možno nalézt různá vývojová prostředí a lze použít i různé programovací jazyky, jako je např. Java, či Python.

Nejzajímavějším programovacím prostředím je jazyk Scratch, který přibližuje programování začátečníkům ve formě určitých naprogramovaných bloků, představujících různé příkazy, cykly a podmínky, které stačí vhodně sestavit a vytvořit tak funkční programové řešení. Toto prostředí má také nespornou výhodu v tom, že je plně lokalizováno do českého jazyka. [15] Existuje několik modelů tohoto typu zařízení, některá z nich uvádím v tabulce č. 2., obrázek č. 2.

Parametry	Modely		
	Raspberry Pi 2	Raspberry Pi 3	Raspberry Pi Zero
Typ SoC	BCM2836	BCM2837	BCM2835
Typ Procesoru	ARMCortex-A7 32-bit, 4 jádra, 256 KB L2 cache	ARMCortex-A53 64-bit, 4 jádra, 512 KB L2 cache	ARM1176JZF-S 32-bit, 1 jádro
Frekvence	900 MHz	1200 MHz	1000 MHz
RAM	1 GB	1 GB	512 MB
USB	4x USB 2.0	4x USB 2.0	1x MicroUSB

Tabulka 2 – Modely řad desek Raspberry Pi [12]



Obrázek 2 - Raspbberi Pi 4 [13]

3.4 Vícekriteriální rozhodování – metody stanovení vah kritérií

Ke stanovení vah důležitosti kritéria při rozhodování existuje několik metod. Jejich použití se liší druhem informace požadované na vstupu.

Metody používající ordinální informaci předpokládají, že zpracovatel informace je schopen a ochoten vyjádřit důležitost jednotlivých kritérií tak, že při párovém porovnání určí, které z kritérií je důležitější nebo přiřadí kritériím dle jejich důležitosti pořadová čísla. V tomto případě může nastat i situace, že jsou kritéria sobě rovnocenná. Jedná se o metodu pořadí, či metodu Fullerova trojúhelníku.

Jestliže stanovujeme metodu vah z kardinální informace, předpokládá se, že je zpracovatel informace schopen nejenom přiřadit důležitost danému kritériu, ale také poměr důležitosti mezi všemi dvojicemi kritérií. Zde lze použít bodovací metodu, či Saatyho metodu kvantitativního párového porovnávání. [16]

3.4.1 Metoda pořadí

Tato metoda se používá v případě, že důležitost kritérií hodnotí několik expertů. Spočívá v tom, že každý z expertů seřadí kritéria podle povahy důležitosti daného kritéria, kdy nejdůležitější kritérium bude ohodnoceno číslem n (n – je počet kritérií), druhé v pořadí

bude ohodnoceno $n-1$ atd. Výslednou váhu každého kritéria určíme tak, že sečteme pořadová čísla, která kritérium získalo od všech expertů a vydělíme je celkovým součtem pořadových čísel, které experti přidělili všem kritériím. Suma vah všech kritérií je pak rovna číslu 1. [16]

3.4.2 Metoda Fullerova trojúhelníku

Fullerova metoda párového porovnávání spočívá v sestavení vah pomocí Fullerova trojúhelníku. Touto metodou se prakticky sestavuje model jednotlivých párů kritérií, kdy je porovnáváno vždy každé kritérium s každým a to právě jednou. Vyhodnocení vybraného kritéria probíhá na základě významu jeho důležitosti, které je možné stanovit například aritmetickým průměrem z došlých odpovědí respondentů dotazníkového průzkumu, nebo přímo ze sestaveného modelu, při hodnocení jedním zpracovatelem.

Model Fullerova trojúhelníku níže zobrazuje příklad, kdy je preferované, tedy důležitější kritérium zvýrazněno bílou barvou. Z obrázku č. 3 je patrné, že kritérium číslo 3 je nejpreferovanější, neboť obdrželo celkem tři preference. [16]

1	1	1
2	3	4
2	2	
3	4	
3		
4		

Obrázek 3 - Ukázka modelu Fullerova trojúhelníku [zdroj autor]

3.4.3 Bodovací metoda

Tuto metodu lze použít hodnotí-li kritéria více expertů. Řešitel si při použití této metody vytvoří bodovací stupnici a každé kritérium vyjádří počtem bodů na stupnici [17]. Je možné přiřadit i stejnou bodovou hodnotu. Čím důležitější kritérium, tím více body je ohodnoceno. Stupnice hodnocení může řešitel vyjádřit i jako grafické vyjádření v podobě úsečky. Preferenci jednotlivých kritérií na úsečce je pak vyjádřena jednotlivými zakreslenými pozicemi bodů. Výpočet vah se pak provádí stejným způsobem jako u metody pořadí, viz. kapitola (3.4.1) [16]

3.4.4 Saatyho metoda

Určení vah touto metodou lze dosáhnout při hodnocení jedním řešitelem. Jde o metodu kvantitativního párového porovnávání kritérií. Pro hodnocení se používá daná devítibodová stupnice, viz. obrázek č. 4 a je možné používat i její mezistupně.

- 1 – rovnocenná kritéria i a j**
- 3 – slabě preferované kritérium i před j**
- 5 – silně preferované kritérium i před j**
- 7 – velmi silně preferované kritérium i před j**
- 9 – absolutně preferované kritérium i před j**

Obrázek 4 - Saatyho bodovací stupnice [16]

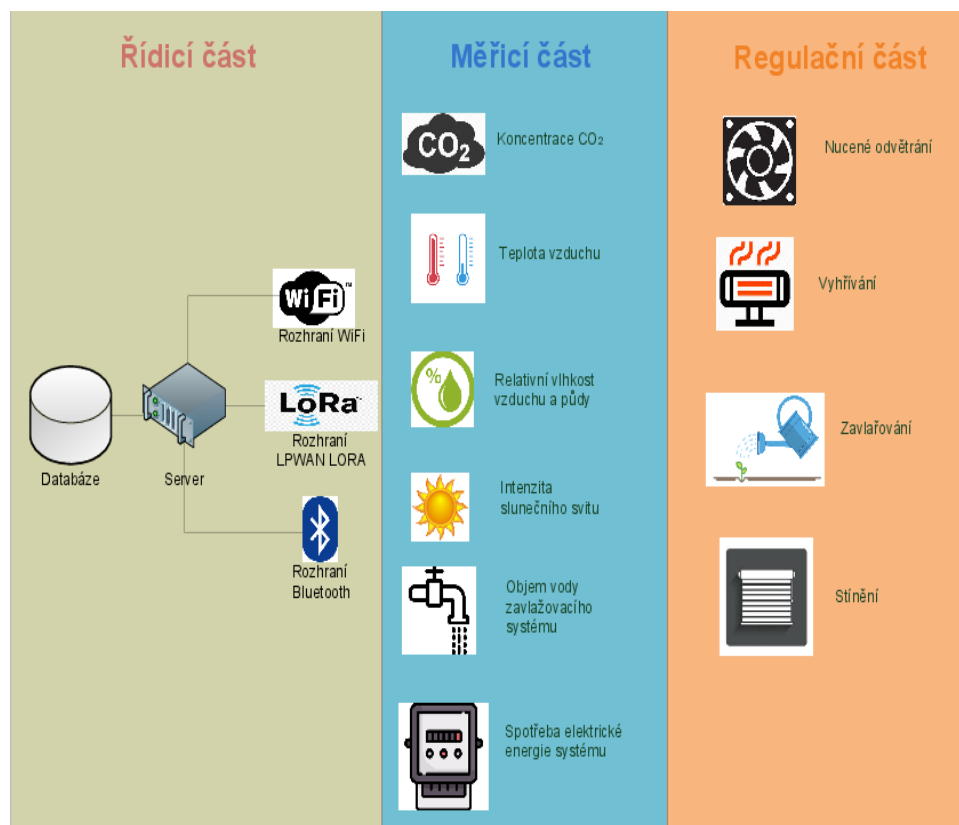
Řešitel porovnává každou dvojicí kritérií a velikost preferencí každého kritéria zapíše do Saatyho matice. Jde o čtvercovou, reciproickou matici $m \times n$, která vyjadřuje odhad podílu vah i -tého kritéria a j -tého kritéria. Na její diagonále jsou vždy hodnoty 1, neboť každé kritérium si je samo sobě rovnocenné. Výpočet vah pak probíhá nejčastěji jako normalizovaný geometrický průměr řádků Saatyho matice (metoda logaritmických nejmenších čtverců) [18].

U rozsáhlejších úloh bývají ale prvky matice nekonzistentní, což většinou bývá způsobeno chybou při zadávání odhadů průměrů vah. Pak je nutné Saatyho matici překvantifikovat tak, aby splňovala požadavek konzistence. [16]

4 Vlastní práce

4.1 Představení konceptu modelu chytrého skleníku

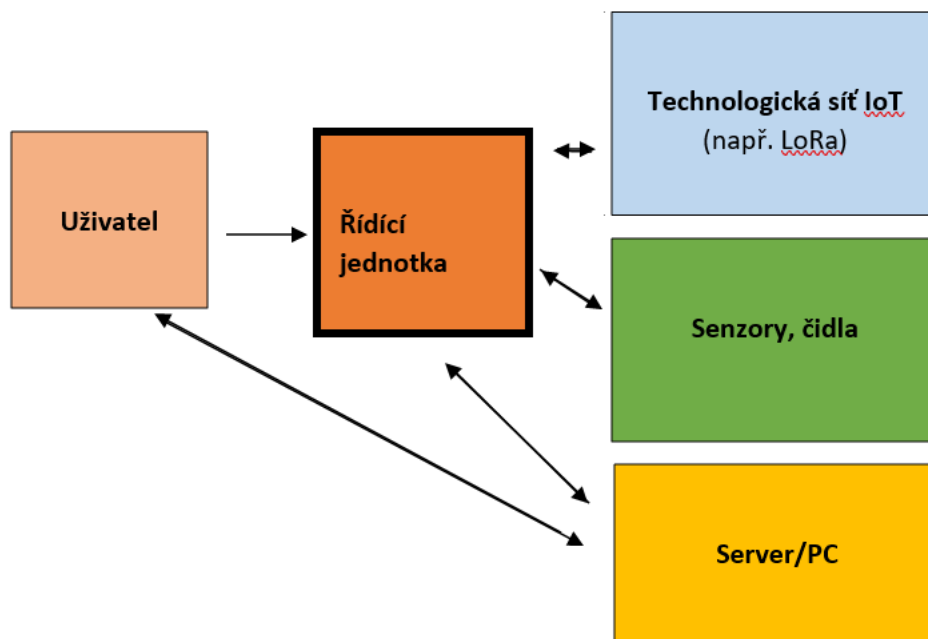
Při analýze a možnosti využití zařízení internetu věcí pro monitoring prostředí ve skleníku je možné vycházet z obecného modelu, viz. obrázek č. 5.



Obrázek 5 - Obecný model funkčních částí návrhu skleníku [zdroj autor]

Model znázorňuje důležité součásti řešení, rozdělené na tři části, dle povahy jejich funkce.

Všechny tyto části spojuje řídicí jednotka, která zajišťuje veškerou komunikaci a operace zadané uživatelem, případně automaticky obstarává nastavené, či naprogramované funkce tak, aby byl celý systém funkční. Toto je patrné i z dalšího pohledu modelu, na obrázku č. 6.



Obrázek 6 – Model prvků systému návrhu chytrého skleníku [zdroj autor]

Z tohoto důvodu se při vytvoření obecného funkčního modelu tato práce zaměří právě na výběr řídicí jednotky, s podporou ostatních funkčních prvků a předlohou konstrukce možného komunikačního modelu skleníku v konkrétních podmínkách.

4.1.1 Řídící jednotka

Řídící jednotka je centrálním a nejdůležitějším bodem celého navrhovaného systému. Jejím úkolem je měřit a regulovat zájmové fyzikální veličiny a řídit ovládací prvky.

Dalším úkolem je oboustranná komunikace s nadřazenou aplikací, potažmo s uživatelem, kterému je tak umožněno ovládání celého systému. Z obecného pohledu je řídicí jednotka soustava rozhraní pro měření, komunikaci a regulaci.

4.1.2 Kritéria pro výběr řídicí jednotky

Pro srovnání konkrétních platforem pro model chytrého skleníku určeného domácím pěstitelům je možné vybrat mnoho kritérií, která celkový výběr ovlivní.

Při mapování jejich výběru je nutno vzít na vědomí splnění základních požadavků, kterými jsou především zajištění stability a bezproblémové funkčnosti a konzistence celého tvořeného systému. Tuto část budou zastupovat funkční a výkonnostní parametry. Dalším neopomenutelným prvkem je ale i cílové zaměření směrem k uživateli, potencionálně uvažujícím o instalaci a vybudování chytrého skleníku. Tuto problematiku zahrnují objektivní

a subjektivní názory a zjištění. Z tohoto důvodu jsou zohledňovanými kritérii výkon, funkce, oblíbenost a dostupnost značky na trhu spotřebitelů a především cena řídicí jednotky.

Jednotlivě vybraným kritériím se pomocí Fullerova trojúhelníku budou přiřazovat preference jejich důležitosti, z tohoto důvodu jim jsou přiřazena čísla, která je budou zastupovat, viz. tabulka č. 3.

Číslo varianty	Kritérium
1	Výkon
2	Funkce
3	Oblíbenost značky
4	Dostupnost na trhu
5	Cena

Tabulka 3 - Přiřazení číselných hodnot jednotlivým kritériím [zdroj autor]

Toto přiřazení vyplývá z uživatelského pohledu na věc, kdy primárním cílem tohoto kritériálního srovnávání je stanovení největšího uživatelského očekávání od nejpreferovanější po nejméně preferovanou variantu sledovaných platforem.

Dále je nutné uvést sledované parametry daných kritérií.

Výkon

Pod pojem výkon zahrnujeme hlavně rychlost procesoru řídicí jednotky a velikost operační paměti RAM, viz. tabulka č. 4. Tyto parametry jsou definovány přímo výrobcem a mají velký vliv na rychlost přenášení, zobrazování a ukládání potřebných dat. Rozdíly mezi jednotlivými čipy nemusí být nijak obrovské, ale samozřejmě platí, že čím vyšší výkon, tím rychlejší je celková obsluha a nižší doba odezvy od zadané operace uživatelem. [19]

Sledované parametry	Platforma řídicí jednotky	
	ARDUINO Mega2560 Rev3	RASPBERRY Pi 4 model B
Čip	ATMEGA 2560 16 MHz	ARM Cortex A72 1500 MHz
Operační paměť RAM	256 KB	4 GB

Tabulka 4 - Sledované výkonové parametry [zdroj autor]

V této kategorii dominuje zařízení Raspberry Pi, a to hlavně díky velikosti operační paměti, která je mnohonásobně vyšší než u zařízení Arduino. Dále z hlediska celkového výkonu je nutné vzít na vědomí také skutečnost, že čip v zařízení Arduino je vlastně pouze programovatelný mikrokontroler – Open Source platforma, která je sice široce použitelná, ale procesor Cortex A72 je v podstatě řídicí jednotka pc

Funkce

Obě řídicí jednotky, jak Arduino, tak Rapsberry Pi mají svá jedinečná funkční specifika. Mohou svým prostřednictvím řídit spoustu různých čidel a senzorů, mohou graficky zobrazovat potřebná a dále využitelná data a mají i další funkční vlastnosti, které je od sebe odlišují. Běžnému uživateli mohou vyhovovat jednodušší a přehlednější zapojení systémů a tím pádem i jednoduché a praktické výstupy.

Odbornějším uživatelům vyhovují naproti tomu sice složitější a náročnější zapojení, ale také mohou z takto utvořených schémat získat detailnější a podrobnější výsledky. Záleží defacto vlastně na konkrétním uživateli, způsobu a formě konkrétně vytýčeného cíle.

Funkční parametry obou řídicích jednotek jsou uvedeny v tabulce č. 5. Jak je patrné, zařízení Arduino je defacto vývojovou deskou se spoustou možností připojení (vstupů a výstupů), ale bez výbavy. Připojení k pc v tomto případě zajišťuje použití druhého mikrokontroleru ATmega 8U2, který je naprogramovaný jako převodník USB na sériový port. Zařízení neobsahuje video-kartu.

Sledované parametry	Platforma řídicí jednotky	
	ARDUINO Mega2560 Rev3	RASPBERRY Pi 4 model B
Video-karta	NE	ANO
Rozhraní	USB 2.0	USB 2.0, USB 3.0 / USB-C
Výstupy	54 x digitální vstup/ výstup, 16 x analogový vstup (sériový port, PWM, externí přerušení)	LAN / sluchátka/ MicroHDMI/ reproduktor
Výbava	NE	Bluethoot / čtečka paměťových karet / WiFi

Tabulka 5 - Sledované funkční parametry [zdroj autor]

Jak je patrné z tabulky č. 5, zařízení Arduino je defacto vývojovou deskou se spoustou možností připojení (vstupů a výstupů), ale bez výbavy. Připojení k pc v tomto případě zajišťuje použití druhého mikrokontroleru ATmega 8U2, který je naprogramovaný jako převodník USB na sériový port. Zařízení neobsahuje video-kartu.

Oblíbenost značky

Toto kritérium nabývá spíše abstraktní formy, značku tvoří totiž její mantra a také esence nebo slib značky. Mantra zastupuje její základní hodnoty a aspekty a zpravidla je tvořena krátkým několika slovným označením. Všechny tyto prvky jsou ryze individuální a skutečně závisí na konkrétním produktu a konkrétním uživateli.

Pro výrobce je naopak značka součástí Know-How. Efektivní řízení značky vyžaduje dlouhodobější horizont a správná marketingová rozhodnutí. Ukazuje se ale, že změnou znalosti značky a podporou aktivnějších strategií směrem ke straně spotřebitele oblíbenost značky výrazně stoupá. [20]

Dostupnost na trhu

Dostupnost na trhu je možné si představit jako soubor zákazníků se zájmem o určitý výrobek, s dostatečným příjmem a přístupem k tomuto výrobku. V případě výběru konkrétní řídicí jednotky můžeme hovořit o kvalifikovaném dostupném trhu. Dostatečný příjem je nutný z hlediska ceny řídicí jednotky, čím vyšší cena bude, tím nižší o ni bude zájem. [21]

Může nastat situace, kdy má uživatel zájem o konkrétní variantu výrobku, ale z důvodu např. delší doby dodání se přikloní k variantě jiné, nebo jiné značce.

Cena

S ohledem na zaměření této práce na domácí pěstitele, menší farmáře, či nadšené kutily, lze předpokládat, že faktor ceny může ovlivnit výběr poměrně podstatně. Tento předpoklad lze podpořit i tzv. analogií teorie spotřebitele. Tato teorie předpokládá, že čím je výrobní faktor levnější, tím je více poptáván. [22]

Aktuální ceny řídicích jednotek uváděné ke dni odevzdání práce zobrazuje tabulka č. 6

Sledované parametry	Platforma řídicí jednotky	
	ARDUINO Mega2560 Rev3	RASPBERRY Pi 4 model B
Cena (Kč)	1043	1899

Tabulka 6 - Aktuální cenová mapa sledovaných řídicích jednotek [zdroj autor]

Obvyklá cena na trhu zařízení Arduino je výrazně nižší, než obvyklá cena zařízení Raspberry Pi a tento trend prostupuje vlastně i celými vydanými řadami těchto zařízení. Je to dáno pravděpodobně především výkonem a funkcemi jednotlivých variant. Rozdíl je však natolik markantní, že je otázkou, zda se nepřiklonit k sice levnějšímu, nicméně funkčnímu a z pohledu IoT variabilnímu řešení, anebo zvolit dražší, ale výkonnější řešení s využitím většiny dostupných funkcí.

4.1.3 Seřazení kritérií dle důležitosti

Pomocí vícekritériální metody pro stanovení vah, konkrétně metodou Fullerova trojúhelníku, stanovíme důležitost kritérií párovým porovnáváním, viz. obrázek č. 7. Důležitější kritérium v páru je zvýrazněno bílou barvou.

1 2	1 3	1 4	1 5
2 3	2 4	2 5	
3 4	3 5		
4 5			

Obrázek 7 - Párové porovnávání metodou Fullerova trojúhelníku [zdroj autor]

Výsledné pořadí preferencí jednotlivých kritérií zobrazuje tabulka č. 7.

Kritérium	Počet preferencí	Výsledná váha kritéria	Úprava počtu preferencí	Upravené výsledné váhy
Výkon	3	3/10	4	4/15
Funkce	4	4/10	5	5/15
Oblíbenost značky	1	1/10	2	2/15
Dostupnost na trhu	0	0/10	1	1/15
Cena	2	2/10	3	3/15
CELKEM	10	10/10	15	15/15

Tabulka 7 - Stanovení výsledných vah jednotlivých kritérií [zdroj autor]

Úprava počtu preferencí byla prováděna z důvodu, aby nenastala možnost, že výsledné kritérium bude mít nulovou váhu. Z tohoto důvodu byl počet preferencí u každého kritéria zvýšen vždy o 1 preferenci. Výsledná upravená váha pak stanoví důležitost každého z kritérií.

4.1.4 Výběr řídicí jednotky

Z výsledného pořadí stanovení vah jednotlivých kritérií – tabulky č. 7 je zřejmé, že nejvíce preferované kritérium jsou funkce, dále výkon, cena, oblíbenost značky a poslední je dostupnost na trhu. Vybranou řídicí jednotku zjistíme, jestliže porovnáme sledované parametry obou vybíraných platform, dle výsledného pořadí důležitosti vah. Výsledek je zobrazen v tabulce č. 8.

Sledované parametry	Platforma řídicí jednotky	
	ARDUINO Mega2560 Rev3	RASPBERRY Pi 4 model B
Funkce	-	ANO
Výkon	-	ANO
Cena	ANO	-
Oblíbenost značky	-	ANO
Dostupnost na trhu	ANO	ANO

Tabulka 8 - Výsledné hodnocení sledovaných platform řídicích jednotek [zdroj autor]

Oblíbenost značky a dostupnost na trhu byla stanovena čistě na základě subjektivního vnímání autora této práce.

Z výsledného hodnocení vyplývá, že vybranou řídicí jednotkou je Raspbbery Pi 4 model B.

4.2 Konstrukční skladba skleníku

Při konstrukci systému chytrého skleníku je třeba brát v úvahu několik nepominutelných aspektů. Patří mezi ně samotný fyzický prostor skleníku na konkrétním místě, možnosti odvětrávání, teplotní a tepelná stabilizace, zálaha budoucích pěstovaných plodin a zajištění regulace slunečního záření. Nezbytnou součástí konstrukčního řešení jsou pak úpravy skleníku a osazení příslušnými čidly.

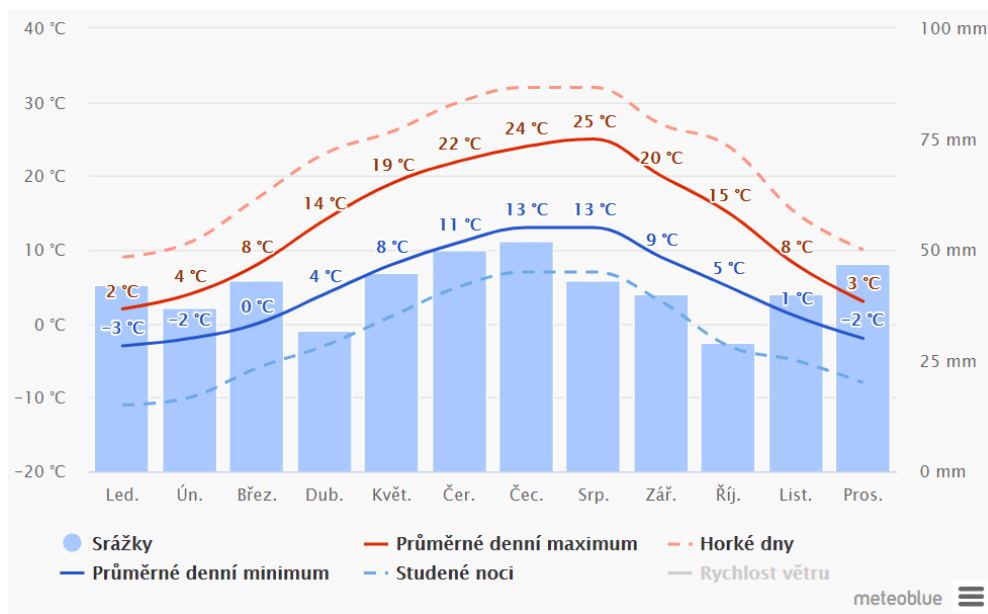
4.2.1 Fyzický prostor skleníku

Uvažovaná zahrada, na které je umístěn skleník se nachází v obci Milotice ve středočeském kraji a je zobrazen na obrázku č. 8.



Obrázek 8 - Poloha uvažovaného skleníku [zdroj autor]

Zahrada leží v nadmořské výšce cca 500 metrů n.m. Průměrné teploty a srážky ukazuje následující graf – obrázek č. 9.



Obrázek 9 - Graf úhrnu srážek snímáný meteostanicí Divišov [zdroj autor]

Z grafu je patrné, že srážky se v dotčené oblasti pohybují od absolutního srážkového minima 25 mm až po absolutní srážkové maximum 50 mm. Teplotní průměrná maxima se pohybují okolo 25°C. Tyto měsíční úhrny sledované za období posledních 30 let indikují spíše oblast s nižším počtem srážek – je tu patrný sklon ke spíše suchým měsícům, ale teplotně vyhovující standardně pěstovaným rostlinám tohoto teritoria.

Výběr skleníku je ryze individuálním rozhodnutím každého domácího pěstitele. V současné době lze zakoupit skleníky různých druhů konstrukcí, zasklení i rozměrů, od nespočetně mnoha výrobců.

Tabulka č. 9 uvádí výběr možných běžných variant tří výrobců. Další možností je objednat si skleník na míru tak, aby vyhovoval potřebným technickým parametrům.

Typ skleníku	Konstrukce	Typ zasklení	Rozměry (délka-šířka-výška)
Výrobce: Arkin, Karlovy Vary			
SILVERLINE 6x8	hliníkové profily	polykarbonát	255 × 203 × 193
SILVERLINE 6x10	hliníkové profily	polykarbonát	315 × 203 × 193
SILVERLINE 2x4 na terasu	hliníkové profily	polykarbonát	71 × 129 × 165
poznámka: posuvné dveře, základna, ventilační okno			
možnost dokoupit poličky, hydraul. otevírání oken, stínící rohož, montáž svépomocí			
Výrobce: Europlast, Velké Meziříčí			
GARDENTEC 4m	hliníkové profily vodotěsné	polykarbonát	300 × 230 × 200
GARDENTEC 5m	hliníkové profily vodotěsné	polykarbonát	374 × 230 × 200
GARDENTEC 6m	hliníkové profily vodotěsné	polykarbonát	448 × 230 × 200
poznámka: posuvné dveře, střešní okna, okap			
možnost dokoupit prodlužovací moduly			
Výrobce: Korbel, Kroměříž			
Lexan	hliníkové profily	polykarbonát	300 × 250 × 193
Lexan A	hliníkové profily	polykarbonát	500 × 250 × 193
Oblouk	hliníkové profily	polykarbonát	600 × 250 × 193
poznámka: zadní větrací okno, tmelení v silikonu			
možnost dokoupit posuvné dveře, 10 let záruka na zasklení			

Tabulka 9 - Běžně dostupné typy skleníků [zdroj autor]

Pro účely této práce uvažujeme běžně dostupný skleník tvaru obdélníku o rozměrech cca 5 x 2,5 m, který je umístěn ve venkovním volném prostoru zahrady. Jedná se o klasický zahradní skleník, bez jakýchkoliv moderních technologií a přístrojů, které by ho regulovaly a pomáhali mu s úrodou. Vnitřek skleníku je tvořen cestou mezi jednotlivými plantážemi rostlin, rozdělených podle druhu. Teplotu uvnitř regulují momentálně ze dvou stran vchodové dveře a okno. Konstrukci tvoří převážně polykarbonát, pro dobrou propustnost UV záření, s vyztužením kovovými tyčemi.

4.2.2 Řešené problémy současného skleníku

Ačkoliv skleník ve svém současném stavu funguje a je celoročně aktivně využíván a pěstují se v něm různé druhy zeleniny jako například rajčata, okurky, papriky a další, tak zde rozhodně existuje velký prostor pro zlepšení jeho fungování a zvýšení efektivity posílení růstu úrody. Prostor pro jeho zlepšení se dá rozdělit do dvou částí, a to uživatelské a funkční.

Uživatelská část

Skleník momentálně vyžaduje každodenní návštěvy v podobě zalévání, obsluhy větrání a dalších potřebných navazujících činností. Automatizací alespoň některých prvků lze docílit menší časové náročnosti, a tak v podstatě i větší uživatelské přívětivosti skleníku. Stejně tak lze touto inovací předejít možným lidským chybám.

Funkční část

Do této části spadají samotné problémy skleníku, které mu brání v lepší, respektive kvalitnější a početnější úrodě. Konkrétně se jedná o problémy s nedostatkem světla, nekonzistentními teplotami a vlhkostí vzduchu, nedostatečným nebo naopak přílišným zaléváním, bojem se škůdci, kteří poškozují rostliny a podobně.

Všechny tyto problémy jsou v současnosti řešeny pouze nárazovými řešeními jako je například již zmíněné otevírání okénka pro změnu teploty. V důsledku těchto problémů nebo řekněme chyb, je úroda ve skleníku nárazová a nestálá, kazí se a je extrémně závislá na času který ji člověk věnuje.

4.2.3 Regulované veličiny

Pro vývoj a bezproblémový chod skleníku je stěžejní regulovat hlavně tyto důležité hlavně faktory:

Zabezpečení závlahy

Zavlažování je možné řešit na základě monitorování vlhkosti půdy, a to umístěním jednoho nebo více senzorů přímo do půdního extraktu. Jestliže vlhkost půdy klesne pod stanovenou mez, dojde k sepnutí čerpadla vzdáleně ovládané nádrže na vodu. Čerpadlo pak oběhovým systémem rozvede vodu potrubím až k jednotlivým rostlinám. Tento postup bude aplikován do té doby, než rostliny získají potřebnou závlahu. Čerpadlo s nádrží bude umístěno mimo prostor samotného skleníku a v nádrži bude monitorovat stav vody senzor, který nedovolí sepnutí a čerpání vody z nádrže v případě, že tato nebude dostatečně naplněna vodou.

Osvětlení

Osvětlení skleníku je obecně jednou z nejdůležitějších věcí a závisí na správné rovnováze světelných vlnových délek. Existuje spousta druhů osvětlení pro optimální růst rostlin. V současné době je pravděpodobně nejlepší zajistit osvětlení pomocí LED technologií, viz. obrázek č. 10, neboť ty nejlépe stimulují a podporují fotosyntézu a tím pádem i adekvátní růst pěstovaných kultur. Navíc optimálním nastavením vlnových délek pro konkrétní plodinu, je možné dosáhnout nejlepších výsledků. Například špenát potřebuje podporovat pouze vegetativní procesy pro které je určeno hlavně modré světlo a jinou barvou světla červenou, či oranžovou, zelenou, či žlutou bychom podpořili tvorbu jiných potřebných procesů, a to hlavně právě v závislosti na typu pěstované plodiny. [23]



Obrázek 10 - Podpora světla pro optimální růst rostlin [24]

Teplotní regulace

Dalším důležitým bodem návrhu optimálního skleníku je jeho teplotní regulace. Velký teplotní rozptyl by mohl znamenat buď vysokou vlhkost uvnitř skleníku, anebo naopak větší vyprahlost, což by mohlo vést k větší tvorbě plísní, vzniku houbových patogenů a fyziologických poruch rostlin. Nastavením teplotní regulace s ohledem na pěstované rostliny je tedy nepostradatelnou regulovanou veličinou.

4.2.4 Úpravy skleníku a osazení sensorovými prvky

Chytrý skleník by měl tedy všechny tyto funkce splňovat a měl by být schopen přizpůsobovat naměřené hodnoty takovým požadovaným hodnotám, kterých lze dosáhnout v kombinaci s vhodně zvolenými sensorovými prvky propojenými do společné sítě.

Odvětrávání budou po úpravě zajišťovat dva ventilační průchody, případně střešní okna. Do skleníku se nainstalují ventilátory k zajištění správného proudění vzduchu a skleník by měl také obsahovat rozvody pro vytápění a závlahu skleníku.

Ve venkovním prostoru v bezprostředním okolí skleníku bude umístěn rozvod pro zajištění dostatečného stínění.

Skleník bude možno vzdáleně ovládat prostřednictvím dostupné chytré technologie, aby veškerá data bylo možno dále analyzovat a ukládat. Všechny tyto regulované prvky budou osazeny příslušnými čidly. V budoucnu tak bude možné provádět i korekce nastavení k zajištění správné funkčnosti a obhospodařování skleníku.

Pro tento projekt budeme uvažovat regulaci všech problémových prvků. Pro měření vlhkosti půdy je možné využít sondu půdního vlhkoměru Eses 1474354607. Sonda má analogový výstup v rozsahu 0 až 3V. Výhodou dané sondy je, že dokumentace obsahuje programovou a obvodovou implementaci.

Pro jednoduchou regulaci vlhkosti vzduchu můžeme uvažovat systém skrápěčů půdy, který je připojen přes elektromagnetický ventil na vodovodní řád. Tento ventil by byl ovládán z řídicí jednotky, v závislosti na naměřené vlhkosti. Do zavlažovacího řetězce by bylo vhodné vložit i průtokoměr, který by uživateli dával informaci o množství vody, která byla spotřebována pro závlahu.

Měření teploty a relativní vlhkosti vzduchu je možné zajistit prostřednictvím senzoru SHT21 od společnosti Sensirion. Senzor komunikuje prostřednictvím rozhraní I2C.

Pro regulaci vlhkosti by bylo vhodné využít elektricky ovládaného okna skleníku. Okna tohoto typu se ovládají pomocí krokového motoru, nebo serva. V případě krokového motoru je komunikační rozhraní složeno ze tří digitálních signálů, které jsou připojeny k driveru krokového motoru. V případě serva se jedná o rozhraní s PWM signálem. Obdobný způsob regulace je možné uvažovat pro intenzitu osvětlení. V tomto případě by akčním členem (servo, krokový motor) byla ovládána okenní žaluzie.

Pro měření intenzity osvětlení existuje celá řada sensorů. Senzor BH1603 s analogovým výstupem by mohl tento problém vyřešit. Odvětrávání budou po úpravě zajišťovat dva ventilační průchody, případně střešní okna.

4.2.5 Komunikace

Vzhledem k tomu, že v místě, kde se nachází skleník není pokrytí internetu stále úplně dostatečné a výpadky signálu jsou vlivem struktury sítě častější, je vhodné zvolit připojení na technologickou síť LoRa. Pro komunikaci lze dnes využít jedné z LPWAN sítí, které spadají do Internetu věcí. Pokud budeme uvažovat využití sítě dle standardu Lora, kterou provozují České radiokomunikace, řídicí jednotka bude pracovat jako zařízení třídy C. To znamená, že řídicí jednotka bude stále na příjmu a připravena provést příkazy ze strany uživatele, popřípadě zaslat vyžádané informace, například aktuální hodnoty měřených veličin.

Jestliže by se skleník nacházel na jiném místě, s lepším pokrytím signálu internetu, měla by na konečné rozhodnutí o použitelnosti technologické sítě roli cena nákladů. Na základě jejich kalkulace, pravděpodobně podle jednoho z ukazatelů návratu investice by se stanovilo, zda je výhodnější platit cloudovou službu nebo spravovat a udržovat vlastní počítač.

Mezi hlavní výhody cloudového řešení patří uživatelská přívětivost. Uživatel si pronajme místo na serveru a připojí k němu řídicí jednotku. Uživatel nemusí nic instalovat, ani propojovat, hradí pouze náklady na měsíční pronájem serveru.

Nevýhodou je závislost na internetu. V případě výpadků signálu internetu skleník nebude fungovat a uživatel se nedostane k uloženým datům.

Dalším problémem je riziko, které spočívá v bezpečnosti uložených a snímaných dat. Uživatel ztrácí nad svými daty fyzickou kontrolu, je odkázán na bezpečnostní řešení provozovatele serveru, či zprostředkovateli cloudové služby. Zavedení vlastního řešení, zprovoznění vlastního pc by tento problém vyřešilo, nicméně vedení interní databáze přináší náklady spojené s nákupem počítače pro server, náklady v podobě odebírané elektrické energie a nutnost zajištění provozu nonstop.

V tomto případě je patrně výhodnější použít vlastní řešení.

Pro komunikaci s uživatelem můžeme tedy uvažovat napojení na síť LoRa. Řídicí jednotka by tak mohla obsahovat například radiový modul RN2483 od společnosti Microchip, který by komunikoval s řídicím procesorem prostřednictvím komunikačního rozhraní UART. Celý systém bude ovládán klientskou aplikací. Tuto aplikaci si mohou zkušenější uživatelé naprogramovat, nebo lze využít nějakou open source na internetu a inspirovat se jinými Raspberry Pi projekty.

5 Výsledky a diskuse

Tato kapitola se věnuje sumarizaci detailního výběru komponent, předpokládané ceně a konečnému návrhu komunikačního modelu pro realizaci chytrého skleníku.

5.1 Sumarizace výběru komponent

V první řadě je důležité zmínit, že pro výsledný návrh chytrého skleníku je důležité nejen vybrat konkrétní zařízení, která budou ve skleníku umístěna, ale je nutné vzít v úvahu i současnou fyzickou podstatu skleníku.

Tento aspekt by se mohl negativně promítnout do procesu transformace skleníku. Je nutné zajistit kompatibilitu všech navrhovaných prvků společně s ohledem na jejich fyzické umístění. Konkrétně řešený skleník je v současném stavu připraven na plánovaná vylepšení a není nutné ho nijak uzpůsobovat, či upravovat.

Řešené problémy a navrhovanou úpravu skleníku popisovanou v kapitole 4.2.4 řeší komplexně tabulka č. 10. Tabulka je členěna na jednotlivě řešené problémy, sensorové prvky, které snímají a odesílají potřebná data a součástky, které na základě povelů uživatele a regulací centrální jednotky případně potíže automaticky vyřeší.

Řešený nedostatek	Senzor/ Čidlo	Regulovatelné zařízení
Nekonzistentní zalévání	Senzor vlhkosti půdy Eses 1474354607	Závlahový systém
Nedostatek světla	Senzor intenzity světla BH1603	Světla, okno na automatické otvírání
Nekonzistentní teplota vzduchu	Senzor teploty a vlhkosti vzduchu SHT21	Okno na automatické otvírání, větrák

Tabulka 10 - Sumarizace navrhovaných komponent [zdroj autor]

Celý systém bude řídit zvolená centrální jednotka. Tento modul je z hlediska funkčnosti celého systému nejvýznamnější. Rozhodovala jsem se mezi zařízeními Arduinem a

Raspberry Pi. Na základě výběru řídicí jednotky v kapitole 4.1.3 bylo vybráno zařízení Raspberry Pi. V tomto případě je volba s výhledem do budoucnosti určitě oprávněná, neboť na rozdíl od modelu Arduino dokáže Raspberry Pi pracovat s několika programy najednou. Tato výhoda může mít pozitivní vliv na rozšíření funkcionalit například o kontrolu počasí, nebo na základě detekovaných informací sledovat a vyhodnocovat problémy samostatně, automaticky.

Řídicí jednotka bude potřebovat data ukládat do lokalizovaného úložiště nebo databázového serveru. Volba cloudové řešení byla z důvodu nedostatečného pokrytí signálu zavržena a bylo zvoleno zajištění vlastního desktopového řešení. Do tohoto řešení bude nainstalován domácí server a tím se zprovozní vlastní databázové řešení, například na bázi MySQL.

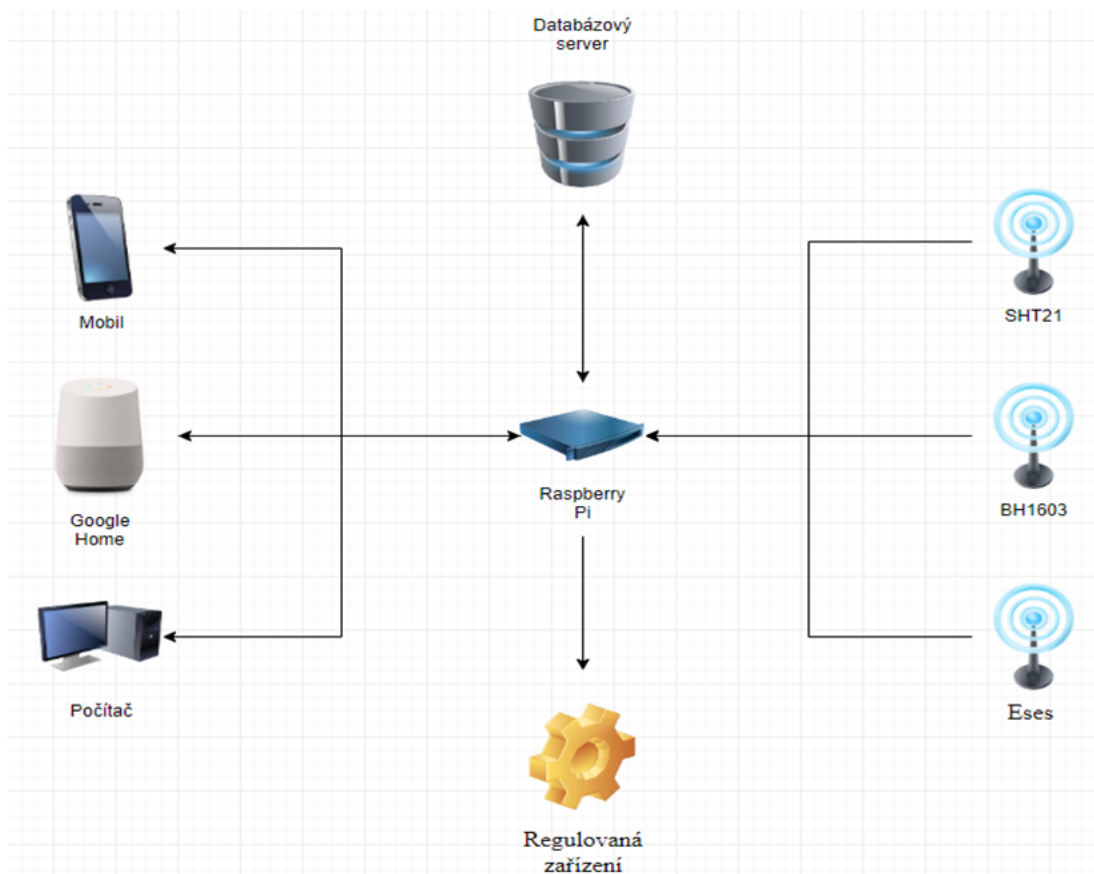
5.2 Návrh komunikačního modelu chytrého skleníku

Zhodnocené poznatky lze zobrazit v návrhu komunikačního modelu chytrého skleníku. Obrázek č. 11 vyjadřuje závislost a komunikaci mezi jednotlivými zařízeními. Vpravo jsou senzory pro sbírání dat o vlhkosti a teplotě vzduchu, vlhkosti půdy a intenzity osvětlení. Tyto data jsou posílána centrálně jednotce, která je ukládá do databáze a na základě těchto dat pak řídí regulovaná zařízení.

Pod touto položkou se v rámci zjednodušení skrývají všechna zařízení, která má systém řídit. Konkrétně tedy například světla, okna, zavlažovací systém, větráky a podobně.

Poslední částí obrázku jsou klientská zařízení, která k systému přistupují a pomocí nichž uživatel může prohlížet aktuální stav, nebo zobrazovat a analyzovat historická data a stejně tak má možnost nastavovat celý systém.

Pro plnohodnotné a uživatelsky příjemné řízení odkudkoliv, i mimo domov, je důležité, aby existovala klientská aplikace pro počítač, dále i pro mobilní zařízení, a aby se systém dal synchronizovat s chytrým asistentem, konkrétně třeba Google Home. Zařízení spolu komunikují pomocí Bluetooth 5.0 a WiFi.



Obrázek 11 - Komunikační model chytrého skleníku [zdroj autor]

Pro každý nově uvažovaný produkt je nutné zhodnotit jeho cenu (za vývoj a pozdější výrobu) v porovnání s přínosem (úkolem, který řeší) a ekonomickou efektivitou. V tomto případě je potřeba zhodnotit potenciální složitost systému s jeho přínosem (jak pomůže pěstiteli). To, co zajímá každého pěstitele je hlavně vlhkost půdy a vzduchu, teplota vzduchu a intenzita osvětlení. Je možné měřit a regulovat i další veličiny, složitost systému by však rostla neúměrně s přidanou hodnotou systému.

Předpokládanou cenu materiálu, respektive všech komponent, bez práce a času udává následující tabulka č. 11. Ceny jsou aktuální ke dni odevzdání práce a jsou zaokrouhlené, neboť jsou předpokládané a vychází z nabídek internetových obchodů, Alza.cz, Soseletronic.cz, ebay.com.

Položka	Počet kusů	Cena celkem v Kč
Raspberry Pi 4 Model B	1	1709
SHT21	4	431
BH1603	4	147
Eses 1474354607	4	252

Tabulka 11 - Cenová kalkulace navrhovaných komponent [zdroj autor]

Po sečtení všech položek vychází předpokládaná celková cena na zrealizování navrženého projektu zhruba cca 15 000 Kč. Jedná se výhradně o ceny navrhovaných komponent vnitřního systému komunikačního modelu. Práce nezohledňuje ceny spojené s pořízením a stavbou skleníku samotného. Předmětem kalkulace není cena serveru/počítače, případně jeho pronájmu, ovládacích prvků a zařízení, či chytrých asistentů. Stanovení výše pořizovací hodnoty všech komponent, zařízení a služeb, závisí na variabilitě konkrétního řešení a dostupnosti finančních prostředků případného uživatele.

Instalaci systému lze zvolit svépomocí, či formou dodavatelské zakázky, kdy se pořizovací cena může pohybovat až v řádech desítek tisíc Kč.

5.3 Předpokládané přínosy

Zamýšleným přínosem popisovaného řešení tohoto modelu chytrého skleníku je hlavně ukázat dostupnost funkčnosti celého systému i pro malé domácí pěstitele, případně i malé farmy.

K hlavním přínosům patří:

- Ulehčení každodenně vykonávaných činností
- Dostupnost analýzy dat
- Uložení dat a jejich možné pozdější využití

5.4 Nápady na rozšíření navrženého řešení

Jedna z nákladnějších položek částí zamýšleného systému je počítač pro server. Je možné investovat do vlastního řešení, případně uvažovat o pronajmutí svého serveru nebo jen určité části – místa na serveru provozovatele. Pořízení vlastního počítače/serveru je např. možné využít a snížit náklady rozšířením provozu na více skleníků najednou. Tato úvaha by mohla v budoucnu vést k vybudování sítě dalších skleníků a jejich následné synchronizaci pod jeden skleníkový systém.

Mimoto je možné celý systém rozšířit o další zařízení a udělat skleník ještě chytřejším. Například jediný problém z části 4.2.2, které současné řešení neřeší je hrozba škůdců. Ten by mohla vyřešit například infračervená kamera která by hlásila jejich přítomnost a instalovaný postřik by škůdce v určitém bodě jejich množení začal účinně likvidovat.

Dále je možné rozšířit chytrý skleník na chytrou zahradu, protože stejný princip a technologie lze využít i na zahradě nebo v kterémkoliv jiném řešení. Zahrada by se tak mohla sama zalévat, systém by mohl řídit sekačky, při určitém vzrůstu porostu travní plochy, mohl by hlásit pohyb škůdců nebo vetřelců. Takovéto rozšíření by bylo momentálně finančně mnohem náročnější, než vylepšení malého skleníku na chytrý. Vzhledem k vývoji v IoT, budou i samostatné chytré sekačky, nebo zavlažovací systém v dohledné době dostupnější, a tak je do budoucna nelze úplně vyloučit.

V neposlední řadě je zde možnost celý projekt zkomercializovat a provozovat jej jako profesionální řešení při podnikání. Znamenalo by to zkompletovat celé řešení do balíčku a takto ošetřené nabízet potenciálním zákazníkům a upravovat jej podle potřeby.

6. Závěr

Hlavním cílem práce, která se zaměřuje na zhodnocení dostupných IoT technologií pro domácí pěstitele, bylo charakterizovat jejich využití v prostředí chytrého skleníku.

Stručný přehled funkčnosti IoT sítí, v návaznosti na vývoj chytrých technologií v oblasti precizního zemědělství, popisuje teoretická část práce. Dále je popsána problematika z oblasti vícekritériálního rozhodování přehledem možných metod stanovení vah důležitosti kritérií (metoda pořadí, metoda Fullerova trojúhelníku, bodovací metoda a Saatyho metoda).

Pro monitoring využitelnosti zařízení internetu věcí v prostředí skleníku, byla zvolena analýza definovaných parametrů dvou potenciálně využitelných zařízení pracujících na platformě IoT (Arduino, Raspberry Pi). Srovnání definovaných parametrů - kritérií (výkon, funkce, oblíbenost značky, dostupnost na trhu a cena), probíhalo uplatněním metody Fullerova trojúhelníku. Výsledkem této analýzy byl dán výběr řídicí jednotky, která slouží jako základ pro další formulaci konceptu navrhovaného řešení modelu chytrého skleníku.

Vlastní práce v první části řeší koncept modelu chytrého skleníku. Koncept tvoří jeho funkční schéma řídicí, měřicí a regulační části a prvotní náčrt jednoduchého schématu komunikačních prvků. Návrh modelu celého systému je pak zaměřen právě na výběr konkrétní řídicí jednotky (zařízení Arduino, či Raspberry Pi), jako možné bezdrátové platformy, vhodné pro využití domácími pěstiteli.

Zhodnocením poznatků z teoretické části práce, společně s konkretizovanou konstrukční skladbou skleníku (fyzickým prostorem, řešenými problémy a regulovanými veličinami), vznikl výsledný návrh komunikačního modelu chytrého skleníku. Jeho důležitou součástí je problematika vlastního osazení sensorovými prvky a návrh řešení komunikace, ve vztahu k technologiím IoT, i k samostatně ovládaným a monitorovaným prvkům celého systému.

Mezi předpokládané přínosy navrhovaného řešení patří především optimalizace každodenně vykonávaných činností, dostupnost analýzy všech potřebných dat a možnost přístupu k uloženým informacím. Popisovaná rozšíření a uplatnění uvedeného navrženého modelu, jsou nicméně v mnoha směrech závislé na individuálních možnostech konkrétního domácího pěstitele.

7 Seznam použitých zdrojů

1. KUFA, Michal. *Jednotka pro měření a přenos environmentálních dat s využitím LPWAN*. Ostrava, 2019. *Diplomová práce*. VŠB – Technická univerzita Ostrava Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Ing. Karel Witas, Ph. D.
2. Sigfox [online]. 2020 [cit. 2020-01-12]. Dostupné z: https://www.sigfox.com/en/services#id_connexion
3. PŘIBYL, PH.D., prof. Ing. Ondřej a Ing. Michal LOM. *Sítě pro internet věci v České republice* [online]. 2017 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/informacni-a-telekomunikacni-technologie/16519-site-pro-internet-veci-v-ceske-republice>
4. Sigfox [online]. 2020 [cit. 2020-01-12]. Dostupné z: [=https://www.sigfox.com/en/admiral-leo](https://www.sigfox.com/en/admiral-leo)
5. LORA. *Elkoep* [online]. 2016 [cit. 2019-07-12]. Dostupné z: <https://www.elkoep.cz/lora>
6. PÁLENÍK, Bc. Luděk. *OBEČNÁ BEZPEČNOST INTERNETU VĚCÍ*. Brno, 2018. *Diplomová práce*. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ. Vedoucí práce Ing. Václav Oujezský, Ph.D.
7. MOŽNÝ, Bc. Radek. *OBEČNÁ BEZPEČNOST INTERNETU VĚCÍ*. Brno, 2019. *Diplomová práce*. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ. Vedoucí práce Ing. Pavel Mašek, Ph.D.
8. KŘEPELKA, Jiří. *Precizní zemědělství a jeho přínosy* [online]. 2010 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://www.zemedelec.cz/precizni-zemedelstvi-a-jeho-prinosy/>
9. *Precizní zemědělství v praxi* [online]. 2018, 10 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://www.csas.cz/content/dam/cz/csas/business_csas_cz/precizni-zemedelstvi/Precizni_zemedelstvi_v_praxi_2018_02.pdf
10. *Arduino platforma a IoT. ROI Management Consulting AG* | [online]. 2012 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.lean-fabrika.cz/prumysl-40-iot/iot-testbed/arduino-platforma-a-iot#.XmVIG6hKg2w>
11. VODA, Zbyšek. *SEZNÁMENÍ S ARDUINEM. ARDUINO.CZ* [online]. 2014 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://arduino.cz/seznameni-s-arduinem/>

12. ŠVANCER, Bc. Jan. *AUTOMATIZOVANÉ PĚSTOVÁNÍ ROSTLIN*. Brno, 2017.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií.
Vedoucí práce Ing. Martin Musil
13. *Raspberry Pi 4*. *Raspberrypi.org* [online]. [cit. 2020-01-12]. Dostupné z:
<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>
14. *Raspberry Pi: Co to vlastně je*. *Raspberry Pi - Wikipedie* [online]. Nitemedia, 2015,
1999-2015 [cit. 2020-02-23]. Dostupné z: <http://www.abclinuxu.cz/clanky/raspberry-pi-co-to-vlastne-je>
15. *Scratch: plnohodnotný programovací jazyk nebo jen dětské puzzle?* *ROOT.CZ* [online]. 2011 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z:
<https://www.root.cz/clanky/scratch-plnohodnotny-programovaci-jazyk-nebo-jen-detske-puzzle/>
16. ŠUBRT, Tomáš a & kolektiv. *Ekonomicko-matematické metody. 2. upravené vydání*.
Plzeň: Aleš Čeněk. ISBN 978-80-7380-563-0.
17. JABLONSKÝ, Josef. *Metody vícekriteriálního rozhodování a HTA* [online]. 2020, 15
[cit. 2020-01-12]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16313873-Metody-vicekriterialniho-rozhodovani-a-hta-josef-jablonsky-vse-praha.html>
18. SAATY, Thomas L. a Luis G. VARGAS. *Decision Making with the Analytic Network Process: Economic, Political, Social and Technological Applications with Benefits, Opportunities, Costs and Risks. Edition 2*. Springer Science & Business Media, 2013.
ISBN 978-14-614-7279.
19. *Na co si dát pozor při výběru počítače a podle čeho vybrat ten správný* Zdroj:
https://www.idnes.cz/technet/pc-mac/rady-pro-vyber-pocitace.A151207_114943_hardware_vse. Technet.cz [online]. 2015 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/technet/pc-mac/rady-pro-vyber-pocitace.A151207_114943_hardware_vse
20. LANE KELLER, Kevin. *Strategické řízení značky*. Grada Publishing, 2007. ISBN 978-80-247-1481.
21. KOTLER, Philip, Veronica WONG, John SAUNDERS a Gary ARMSTRONG. *Moderní marketing*. Čtvrté evropské vydání. Grada Publishing, 2007.
ISBN 978-80-247-1545.
22. *FORMOVÁNÍ CEN NA TRŽÍCH VÝROBNÍCH FAKTORŮ* [online]. 2016 [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <http://www.ekofun.cz/wp->

<content/uploads/2016/09/Formov%C3%A1n%C3%AD-cen-na-trz%C3%ADch-v%C3%BDrobn%C3%ADch-faktor%C5%AF-na-st%C3%A1hnut%C3%AD.pdf>

23. DANILA, Elena a Dorin DOMITRU LUCACHE. *Efficient Lighting System for Greenhouses [online]. International Conference on Electrical and Power Engineering*, 2016 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/309582430 Efficient Lighting System for Greenhouses](https://www.researchgate.net/publication/309582430_Efficient_Lighting_System_for_Greenhouses). Konferenční studie. Gheorghe Asachi Technical University of Iasi
24. *LED SPECTRUM ŽÁROVKA PRO PĚSTOVÁNÍ ROSTLIN E27*. Vsevakci.cz [online]. 2020 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://www.vsevakci.cz/zabava/led-spectrum-zarovka-pro-pestovani-rostlin-e27/?gclid=EAIaIQobChMI9tCe74qc6AIVQbDtCh131AgUEAYYA_iABEgKAD_D_BwE