

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Provozně ekonomická fakulta**

**Katedra informačních technologií**



**Bakalářská práce**

**IoT ostrovní systémy v zemědělství**

**Pavel Svátek**

© 2021 ČZU v Praze

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavel Svátek

Informatika

Název práce

**IoT ostrovní systémy v zemědělství**

Název anglicky

**IoT Island Systems in Agriculture**

### Cíle práce

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku využití a porovnání technologií a zařízení Internetu věcí (IoT) pro zemědělský sektor.

Hlavním cílem práce je zhodnotit dostupné technologie a zařízení Internetu věcí s ohledem na využití v zemědělství a tyto informace zohlednit v modelu konkrétního případu.

K splnění hlavního cíle je zapotřebí splnit následující dílčí cíle:

- Vytvořit charakteristiky funkcí a vlastností dostupných technologií a zařízení Internetu věcí pro zemědělství.
- Analyzovat, zhodnotit a porovnat možnosti využití zařízení Internetu věcí s ohledem na potřeby Smart agriculture.
- Formulovat návrh a vytvořit schéma využití technologií Internetu věcí pro konkrétní případ v zemědělství.

### Metodika

Řešení problematiky bakalářské práce bude založeno na studiu a analýze odborných informačních zdrojů.

V praktické části práce budou na základě poznatků zjištěných v analytické části zhodnoceny vybrané IoT technologie vhodné pro konkrétní případ v zemědělském podniku a navrhнутy možnosti jejich využití.

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

## Doporučený rozsah práce

40-50

## Klíčová slova

Internet věcí, senzory, zemědělství, model, využití, technologie, data, přesné zemědělství

---

## Doporučené zdroje informací

- CASTRIGNANO, A., BUTTAFUOCO, G. a KHOSLA, R. Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming. Mumbai : Academic Press, 2020. ISBN: 978-0128183731.
- CROPIN. IoT Application in Agriculture for Smart Farming. [Online] 2021. Dostupné z: <https://www.cropin.com/iot-internet-of-things-applications-agriculture/>.
- EASTERN PEAK. IoT in Agriculture: 5 Technology Use Cases for Smart Farming. [Online] 07. 07 2020. Dostupné z: <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider/>.
- HASSAN, Qusay F. Internet of Things A to Z: technologies and applications. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2018. ISBN: 11-194-5674-6.
- IoT Portál. Zemědělství. [Online] 2021. Dostupné z: <https://www.iiot-portal.cz/2016/04/18/zemedelstvi/>.
- MEIKLE, G. a BUNZ, M. Internet of Things. Hoboken : Wiley-Blackwell, 2017. ISBN: 978-1-509-51746-6.
- SINGH, R. Internet of Things (IOT) Enabled Automation in Agriculture. Delhi : New India Publishing Agency, 2018. ISBN: 978-9387973053.

---

## Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – PEF

## Vedoucí práce

Ing. Tomáš Vokoun

## Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 23. 8. 2021

**doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 5. 10. 2021

**Ing. Martin Pelikán, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 14. 03. 2022

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "IoT ostrovní systémy v zemědělství" jsem vypracoval 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 autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 15. 03. 2022

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Tomáši Vokounovi za cenné rady, konzultace a připomínky týkající se mé bakalářské práce. Také bych chtěl touto cestou poděkoval svému otci za veškerou podporu během celého studia, svým kamarádům, známým a spolužákům, kteří mě, jakkoliv motivovali a pomáhali během studia a při psaní této bakalářské práce.

# IoT ostrovní systémy v zemědělství

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá zhodnocením dostupných technologií Internetu věcí, které jsou využitelné ve zemědělství. Práce se zaměřuje především na analýzu a definici Internetu věcí, technologií, senzorů a přístrojů, které se dají využít ve chytrém – precizním zemědělství. Následně jsou tyto poznatky využity k sestavení modelu hydroponické farmy.

První část teoretického východiska práce popisuje, co vlastně Internet věcí je, jeho pokrok a rozšíření v dnešní době a míra využití ve zemědělském sektoru. V této části teoretického východiska bakalářské práce jsou také analyzovány a definovány v současné době dostupné technologie a zařízení Internetu věcí, které jsou zaměřeny pro využití ve chytrém zemědělství. V druhé části teoretických východisek bakalářská práce jsou uvedeny rozhodovací metody sloužící k optimální volbě technologií sloužících k sestavení efektivního modelu hydroponické farmy. Po teoretické části navazuje část praktická.

V praktické části bakalářské práce jsou využity informace, které byly získány z teoretického východiska práce. Pomocí těchto poznatků lze správně zvolit vhodné technologie pro sestavení modelu hydroponické farmy. Zařízení využívající Internet věcí jsou vybírány z dostupných technologií a přístrojů, které je možné si v době psaní této práce běžně pořídit. Zvolení nejvhodnějších technologií a zařízení je dosaženo pomocí použití rozhodovacích metod, které jsou aplikovány na kritické parametry.

Závěrečná část práce se zabývá zhodnocením předpokládaných přínosů a dalšího možného uplatnění a využití Internetu věcí v budoucnosti chytrého zemědělství.

**Klíčová slova:** Internet věcí, senzory, zemědělství, model, využití, technologie, data, přesné zemědělství

# IoT Island Systems in Agriculture

## Abstract

This bachelor thesis deals with the evaluation of available technologies of the Internet of Things, which are exploitable in agriculture. The work focuses mainly on the analysis and definition of the Internet of Things, technologies, sensors and devices that can be used in smart - precision agriculture. Subsequently, these findings are used to build a model of a hydroponic farm.

The first part of the theoretical background describes what the Internet of Things is, its progress and expansion today and the rate of use in the agricultural sector. The second part of the theoretical basis of the bachelor's thesis analyses and defines the currently available technologies and devices of the Internet of Things, which are used in smart agriculture. At the end of the theoretical part of the bachelor's thesis, decision-making methods are presented for the optimal choice of technologies used to build an effective model of a hydroponic farm. The theoretical part is followed by a practical part.

The practical part of the bachelor thesis uses information that was obtained from the theoretical background of the work. With the help of this knowledge, it is possible to correctly choose suitable technologies to make a model of a hydroponic farm. Devices using the Internet of Things are selected from available technologies and devices that can be purchased at the time of writing. The selection of the most suitable technologies and equipment is achieved through the use of decision-making methods that are applied to critical parameters.

The final part of the work deals with the evaluation of the expected benefits and other possible application and use of the Internet of Things in the future of smart agriculture.

**Keywords:** Internet of Things, sensors, agriculture, model, usage, technology, data, precision agriculture

## Obsah

<b>1. Úvod.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Cíl práce a metodika .....</b>	<b>10</b>
2.1 Cíl práce .....	10
2.2 Metodika práce.....	10
<b>3. Teoretická východiska .....</b>	<b>11</b>
3.1 Internet věcí.....	11
3.2 Internet věcí v zemědělství – Smart agriculture.....	13
3.3 Model Internetu věcí .....	15
3.3.1 Vrstva věcí a zařízení.....	16
3.3.2 Komunikační vrstva.....	24
3.3.3 Aplikační vrstva.....	29
3.4 Rozhodovací metody.....	37
<b>4. Vlastní práce.....</b>	<b>41</b>
4.1 Hydroponická farma.....	42
4.2 Rozvržení prostoru .....	43
4.3 Regulované veličiny a způsob regulace .....	44
4.4 Zvolení vhodných technologií a zařízení .....	48
<b>5. Výsledky a diskuse .....</b>	<b>53</b>
<b>6. Závěr.....</b>	<b>54</b>
<b>7. Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>55</b>

## Seznam obrázků

Obrázek č. 1 - Vizualizace PA (Castrignano, 2020) .....	14
Obrázek č. 2 - Model Internetu věcí podle Cisco (Cisco, 2021).....	15
Obrázek č. 3 - Senzory (DIYzone, 2021).....	17
Obrázek č. 4 - Zobrazení rychlosti a dosahu sítí (AVSystem, 2020).....	24
Obrázek č. 5 - Vizualizace dat na mapě (Microsoft, 2021) .....	32
Obrázek č. 6 - Schéma průřezu modelem skleníku (Vlastní zpracování).....	44
Obrázek č. 7 - Model pro úpravu vody (v menším měřítku) (Kyle, 2020).....	45
Obrázek č. 8 - Průřez modelem skleníku s regulátory (Vlastní zpracování) .....	47
Obrázek č. 9 - Srovnání sítí (Industrytoday, 2018).....	49
Obrázek č. 10 - Řídící program Mycodo - Zobrazení dat (Mycodo, 2021).....	52



## Seznam tabulek

Tabulka č. 1 - Přesnost dat v predikci (Microsoft, 2021).....	32
Tabulka č. 2 - Rozměry střech vybraných domů v Praze (Vlastní měření) .....	43
Tabulka č. 3 - Srovnání sítí (Vlastní zpracování (Schafferová, 2017)) .....	48
Tabulka č. 4 - Zvolení vhodné sítě pomocí VAV (Vlastní zpracování) .....	49
Tabulka č. 5 - Parametry řídicích jednotek (Vlastní zpracování) .....	51

## Seznam použitých zkratk

IoT	Internet of Things	Internet věcí
M2M	Machine to Machine	Stroj-stroji
PA	Precision agriculture	Precizní zemědělství
DMP	Device Management Platform	Platforma pro správu zařízení
GPIO	General Purpose Input/Output	Univerzální vstup/výstup
NFC	Near Field Communication	Komunikace na blízko
RF	Radio Frequency	Vysokofrekvenční pole
AI	Artificial Intelligence	Umělá inteligence
VAV		Vícekritériální analýza variant

# 1. Úvod

Internet věcí je v dnešní době velice rychle se rozvíjející a rozšířená technologická oblast. Pokud si uvědomíme, do jak širokého spektra aplikačních scénářů, zařízení a technologií Internet věcí zasahuje, je obecnější výraz „sít“ adekvátnější než „internet“, jelikož ne veškerá komunikace probíhá přes internet. Komunikace také neprobíhá pouze mezi věcmi nebo zařízeními, ale také mezi věcmi a lidmi. Bylo by tedy vhodnější použít výraz „Net of Everything (Sít' všeho)“ nežli výraz „Internet of Things (Internet věcí)“, který byl poprvé zmíněn již v roce 1999 Kevinem Ashtonem v článku pro Journal RFID, kde se zabýval využitím RFID tagů ve skladu, pro lepší lokalizaci položek a zjištění stavu jejich zásob (Ashton, 2009).

Je mnoho důvodů, proč dochází k stále většímu nárůstu zařízení Internetu věcí, pro běžné uživatele se jedná převážně o větší komfort a usnadnění každodenního života, v industriálním sektoru se jedná hlavně o automaticnost a data, díky nimž lze dosáhnout efektivity, úspor a vyššího výnosu. Jak napsal Ashton v deníku RFID již před rozvojem a popularitou Internetu věcí: "Kdybychom měli počítače, které by věděly o věcech všechno – pomocí dat, která shromáždily bez naší pomoci – byli bychom schopni vše sledovat a počítat. Tím bychom mohli výrazně snížit plýtvání, ztráty a náklady. Věděli bychom, kdy je potřeba věci vyměnit, opravit nebo stáhnout z oběhu a zda jsou stále čerstvé nebo již nadále ne.“ (Ashton, 2009). O velikém nárůstu a rozvoji zařízení IoT se můžeme přesvědčit ze statistik. V roce 2009 bylo zjištěno 0,8 miliardy připojených IoT zařízení a 8 miliard zařízení non-IoT. O deset let později v roce 2019 se poměr připojených zařízení IoT a non-IoT vyrovnal a to na 10 miliard. Do roku 2025 se odhaduje počet připojených zařízení IoT na 30,9 miliardy (Vailshery, 2021).

Cílem a významem této bakalářské práce je přiblížit možnost využití definovaných technologií a zařízení v konkrétní oblasti zemědělství. V souvislosti se stále se větším rozšiřováním a celkovým povědomím o možnostech a aplikacích těchto technologií a zařízení, se stávají finančně dostupnějšími než kdykoli v předešlých letech. Díky tomu lze nyní zavést technologie a zařízení Internetu věcí i na malých farmách, či na jiných menších projektech a tím výrazně zvýšit efektivitu a snížit náklady na provoz.

## **2. Cíl práce a metodika**

V následujících kapitolách je definován cíl bakalářské práce a metodika zpracování práce.

### **2.1 Cíl práce**

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku využití a porovnání technologií a zařízení Internetu věcí (IoT) pro zemědělský sektor.

Hlavním cílem práce je zhodnotit dostupné technologie a zařízení Internetu věcí s ohledem na využití v zemědělství a tyto informace zohlednit v modelu konkrétního případu.

K splnění hlavního cíle je zapotřebí splnit následující dílčí cíle:

- Vytvořit charakteristiky funkcí a vlastností dostupných technologií a zařízení Internetu věcí pro zemědělství.
- Analyzovat, zhodnotit a porovnat možnosti využití zařízení Internetu věcí s ohledem na potřeby Smart agriculture.
- Formulovat návrh a vytvořit model využití technologií Internetu věcí pro konkrétní případ v zemědělství.

### **2.2 Metodika práce**

Řešení problematiky bakalářské práce bude založeno na studiu a analýze odborných informačních zdrojů.

V praktické části práce budou na základě poznatků zjištěných v analytické části vyhodnoceny vybrané IoT technologie vhodné pro konkrétní případ v zemědělském sektoru a navrhnuty možnosti jejich využití.

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

### **3. Teoretická východiska**

První část teoretického východiska práce popisuje, co vlastně Internet věcí je, jeho pokrok a rozšíření v dnešní době a míra využití ve zemědělském sektoru. V této části teoretického východiska bakalářské práce jsou také analyzovány a definovány v současné době dostupné technologie a zařízení Internetu věcí, které jsou zaměřeny pro využití ve chytrém zemědělství. V druhé části teoretických východisek bakalářská práce jsou uvedeny rozhodovací metody sloužící k určení optimální volbě technologií sloužících k sestavení efektivního modelu hydroponické farmy. Po teoretické části navazuje část praktická.

#### **3.1 Internet věcí**

Internet věcí (IoT) označuje systém vzájemně propojených zařízení, senzorů, počítačů a digitálních strojů s unikátním identifikátorem, která přenášejí data přes síť. Tato zařízení jsou schopná shromažďovat a přenášet data přes bezdrátovou síť bez zásahu člověka.

V zásadě lze všechny fyzické objekty přeměnit na inteligentní objekty. Objektem v systému Internetu věcí může být například telefon, počítač, nositelná elektronika (existuje řada modelů náramkových hodinek se senzory a procesory, například pro měření srdeční frekvence nebo určování zeměpisné polohy) nebo i například osoba s implantátem kontrolujícím srdeční tep, hospodářské zvíře s biochip transpondérem, automobil, který má vestavěné senzory, které upozorní řidiče na nízký tlak v pneumatikách nebo jakýkoli jiný přírodní nebo člověkem vyrobený objekt, kterému lze přiřadit adresu IP (Internet Protocol) a který je schopen přenášet data po síti (Simplilearn, 2021).

Ekosystém IoT se skládá z inteligentních zařízení připojených do sítě, která využívají integrované součástky, jako jsou procesory, senzory a komunikační hardware. Tyto zařízení shromažďují, odesílají a jednají s daty, které získají ze svého prostředí. Zařízení IoT sdílejí data ze senzorů, které shromažďují, připojením k bráně IoT nebo jinému zařízení. Data jsou buďto odesílána do cloudu k analýze, nebo analyzována lokálně. Někdy tato zařízení komunikují i s jinými blízkými zařízeními a jednají podle informací, které od sebe navzájem získají. Zařízení provádějí většinu práce bez lidského zásahu, ačkoli lidé mohou se zařízeními komunikovat – například je nastavit, dát jim pokyny nebo přistupovat k jejich datům (Gillis, 2020).

## **Vývoj Internetu věcí**

Již na začátku roku 1926 Nikola Tesla představil „propojený svět“, svou vizi vysvětlil v rozhovoru pro *Colliers Magazine*: "Když je bezdrátové připojení dokonale aplikováno, celá Země bude přeměněna na obrovský mozek, což ve skutečnosti je, všechny věci jsou částice skutečného a rytmického celku [...] za pomoci nového nástroje, budeme schopni toto udělat. Ve srovnání s naším současným telefonem bude tento nástroj úžasně jednoduchý. Muž bude moci nosit toto zařízení v kapse vesty.“ (Kennedy, 1926).

Jak již bylo zmíněno v úvodu, prvním člověkem, který použil název „Internet věcí“ byl Kevin Ashton v roce 1999. Ve stejném roce Gershenfeld vydal svou práci „When Things Start to Think“, ve které představil svou vizi evoluce World Wide Webu. Uvedl, že věci budou využívat internet tak, aby lidé již nemuseli (Hassan, 2018). Bankomaty lze považovat za jeden z prvních chytrých objektů, které byly připojeny online již v roce 1974. Od té doby se možnosti využití IoT staly mnohem rozmanitější, zahrnující širokou škálu odvětví, včetně zdravotnictví, průmyslu, utilit, dopravy a brzy také osobní využití, například v domácnostech.

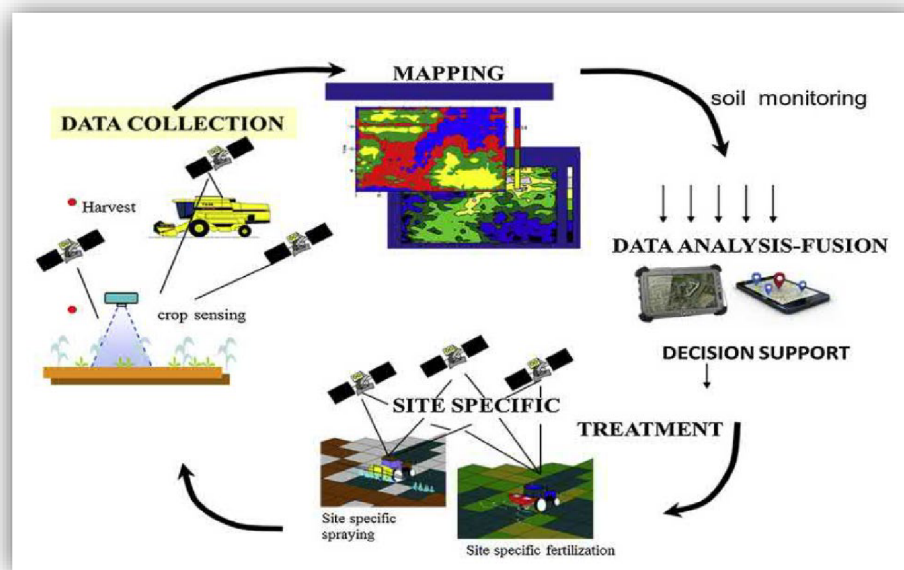
IoT není oblast, která by se objevil náhle nebo bez předchůdců. Před relativně novým označením „IoT“ existují technologičtí předchůdci a různé koncepty, například komunikace stroj-stroj (M2M). Kromě toho existují i nejnovější odvětví, například Průmyslový Internet věcí a Průmysl 4.0. Komunikace M2M označuje přímou kabelovou nebo bezdrátovou komunikaci mezi zařízeními pomocí jakéhokoliv komunikačního kanálu, který nutně nevyžaduje přímý zásah člověka. M2M jako takový lze považovat za předchůdce IoT. Technologie M2M může být zahrnuta v jakékoliv průmyslové výrobě, kde je umožněno senzorům nebo měřidlům předávat data, která zaznamenávají (např. teplota, propustnost a úroveň zásob), aplikačnímu softwaru, který je může dále zpracovávat a využít (například změna teploty nebo spouštění nových procesů. Příkladem může být zadávání objednávek k doplnění zásob). Tato komunikace byla zaměřena na monitorování vzdálených strojů, ze kterých byla data přijímána, zpracovávána na nějaké centrální stanici a v případě potřeby předávána zpět do těchto strojů s upravenými parametry (Hassan, 2018).

### 3.2 Internet věcí v zemědělství – Smart agriculture

Podle zprávy United Nations z roku 2019 světová populace překročí hranici 9,7 miliardy lidí do roku 2050 (UN, 2019). Před dosažením této hranice bude nutné překonat významné výzvy v podobě dosažení vysoké úrovně zemědělské produktivity nezbytné k uspokojení předpokládané světové poptávky po potravinách, krmivech, látkách a palivech v roce 2050.

Přestože zemědělství v minulosti čelilo významným výzvám, bude nutné do roku 2050 zvýšit produktivitu a překonat složité překážky nežli dříve, a to v podobě omezených zdrojů, méně kvalifikované pracovní síly, omezeného množství orné půdy a mimo jiné také rapidně se měnící klimatické podmínky. Zvýšení populace a poptávky po zemědělských produktech na začátku 20. století zemědělství překonalo především pomocí zavedení mechanizace, šlechtěním, vylepším genetiky a zvýšením zdrojů. Takový nárůst rostlinné a živočišné výroby však přišel za cenu nadměrného používání již zmíněných zemědělských zdrojů, těmito zdroji je myšleno hlavně voda na zavlažování, živiny, pesticidy a jiné chemikálie. Zemědělství s využitím vysokého množství zdrojů je náročné na zásobu zdrojů po celém světě, vedlo k vyčerpání půdy, nedostatku vody, rozsáhlému odlesňování a k vysoké úrovni emisí skleníkových plynů. V současné době představuje zemědělská produkce více než 70% spotřeby sladké vody a nadále neudržitelnou úroveň chemické spotřeby v rostlinné výrobě (Castrignano, 2020). Udržitelnost v zemědělství je proto nutností. Zemědělství musí poskytovat nová účinná řešení, je zapotřebí, aby byly přijaty a využity poznatky a technologie z jiných oborů a používat je integrovaným způsobem.

Zemědělství s využitím Internetu věcí, Smart agriculture (chytré zemědělství) neboli také Precizní zemědělství (PA) se prezentuje jako jedno z mnoha řešení velkých výzev, kterým zemědělství a náš svět v současné době čelí. PA existuje již poslední tři desetiletí a představilo se jako účinný přístup řízení, který využívá získaná data k použití konceptu pět „R“, v překladu do češtiny spíše pět „S“. Tento koncept říká, že je zapotřebí: „Right input at the right time, at the right place, in the right amount and in the right manner“, tedy: „Správný vstup ve správný čas, na správném místě, ve správném množství a správným způsobem.“. Koloběh a princip fungování PA můžeme vizualizovat v Obrázku č. 1 níže.



**Obrázek č. 1 - Vizualizace PA (Castrignano, 2020)**

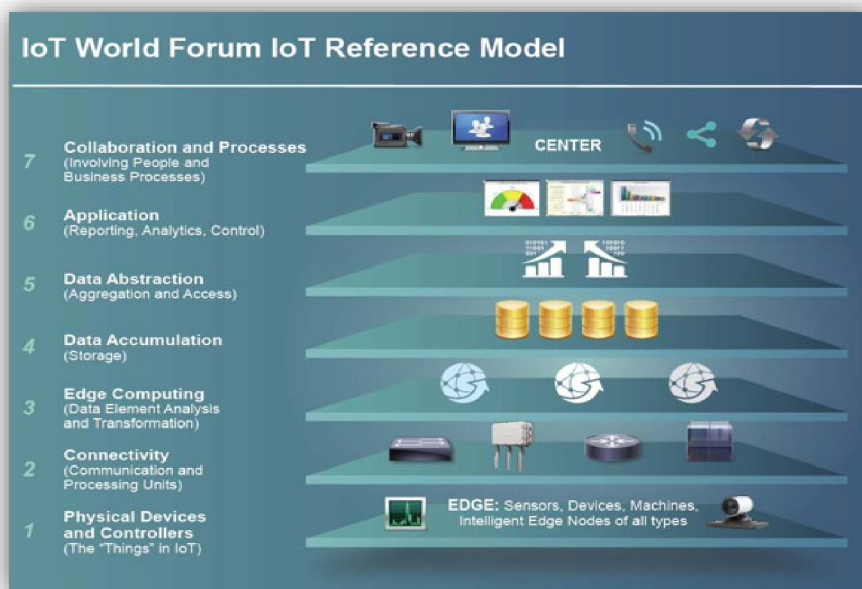
V průběhu let se PA rozrostlo po celém světě a pomalu přijímá novější technologie, které jsou autonomní a velice náročné na data. První dekáda PA se silně zaměřila na globální navigační satelitní služby (GNSS) a schopnost lokalizovat a kvantifikovat prostorovou variabilitu v půdách. Druhá dekáda se zaměřila na automatizaci traktorů a vývoj technologií, které by umožnily přesné řízení vstupů, například živin v plodinách. Nyní, ve třetím desetiletí, dochází k exponenciálnímu nárůstu sběru zemědělských dat prostřednictvím využití sad senzorů a snímacích zařízení, která vytvořila nové paradigma přesného rozhodování založeném na základě důkazů – dat. Také dochází k rozvoji a většímu rozšíření automatizace. V obou těchto případech můžeme právě využít technologie a zařízení Internetu věcí. Produkce, efektivita a udržitelnost zemědělství, by tedy do značné míry závisela na „obdělávání dat“ stejně tak jako na obdělávání půdy (Shannon, a další, 2020).

Dnešní PA je dokonalým příkladem průniku zemědělství a informačních technologií. V zájmu zvýšení produktivity a přesných dat zemědělství čím dál tím více závisí na shromažďování, přenosu a správě informací pomocí informačních a komunikačních technologií. Propojení zemědělství a informačních technologií v Smart agriculture je tedy shrnuto následovně: Sensory jsou připojeny v síti, která je propojena s internetovou sítí. Data jsou přenášena v reálném čase a následně jsou uložena v databázi, která obsahuje všechny potřebné znalosti a charakteristiky půdy a plodin. Inteligentní programy jsou spojené s databází za účelem rozhodování v reálném čase, odesílají rozhodovací příkazy

do autonomního systému nebo posílají návrhy farmářům. Právě díky tomu lze veškeré zemědělské postupy jako například, příprava půdy, setí, zavlažování, hnojení, řízení a kontroly škůdců plánovat plně autonomně pomocí autonomních strojů a robotů IoT (Castrignano, 2020).

### 3.3 Model Internetu věcí

Stejně jako referenční model ISO/OSI je architektura bezpečného připojení počítače k internetu, tak je pro identifikaci hlavních rysů a principu fungování internetu věcí také nutné vytvořit model, který objasňuje jeho prvky na různých úrovních. V posledních letech bylo vzhledem k rostoucímu zájmu o odvětví Internetu věcí navrženo několik referenčních modelů. Ten nejzákladnější referenční model Internetu věcí rozděluje technologie do tří základních relevantní technologických vrstev a to: (I) Vrstva věcí a zařízení, (II) Vrstva komunikační a (III) Aplikační vrstva. Tyto tři základní vrstvy v sobě již zahrnují veškeré technologie potřebné pro IoT. Některé referenční modely mohou být podrobnější a již znázorňovat jednotlivé podskupiny základních tří vrstev. Příkladem referenčního modelu, který podrobněji znázorňuje jednotlivé podskupiny je například ten definovaný společností Cisco ze Světového fóra IoT (Cisco, 2021). Zmiňovaný referenční model identifikuje sedm základních úrovní uvedených na Obrázku č. 2.



Obrázek č. 2 - Model Internetu věcí podle Cisco (Cisco, 2021)



V následujících kapitolách jsou uvedeny některé klíčové podrobnosti o každé ze tří základních úrovní a také jsou podrobně definovány a představeny podkategorie a komponenty důležité pro využití v zemědělském sektoru.

### **3.3.1 Vrstva věcí a zařízení**

První vrstvou architektury modelu Internetu věcí jsou fyzická zařízení. Zahrnuje širokou škálu „věcí“ nebo koncových zařízení, která fungují jako most mezi skutečným a digitálním světem. Liší se formou a velikostí, od drobných křemíkových čipů až po velká vozidla. Zařízení IoT lze podle jejich funkce rozdělit do následujících velkých skupin.

#### **Řídící jednotky**

Řídící jednotka je zařízení, které přijímá signály ze senzorů a na základě naprogramovaných pravidel vysílá příkazy do aktuátorů a zařízení. Na řídicí jednotku může být napojeno nesčetné množství senzorů, přídatných zařízení a aktuátorů. Nejznámějšími a cenově nejvíce dostupnými řídicími jednotkami jsou Arduino a Raspberry Pi. Obě uvedené řídicí jednotky stále procházejí vývojem, jejich relativně nízká cenová dostupnost a snadná technická obsluha vedla k jejich velkému rozšíření a popularitě. Tyto jednotky jsou spolu se dalšími zařízeními a senzory vyráběny formou zapojení Plug & Play – podle příloženého uživatelského manuálu lze komponenty relativně jednoduše sestavit a propojit. Právě díky uvedeným vlastnostem se tak staly dostupnými nejen v odborné komunitě, ale i pro širokou veřejnost (Turner, 2019).

#### **Arduino**

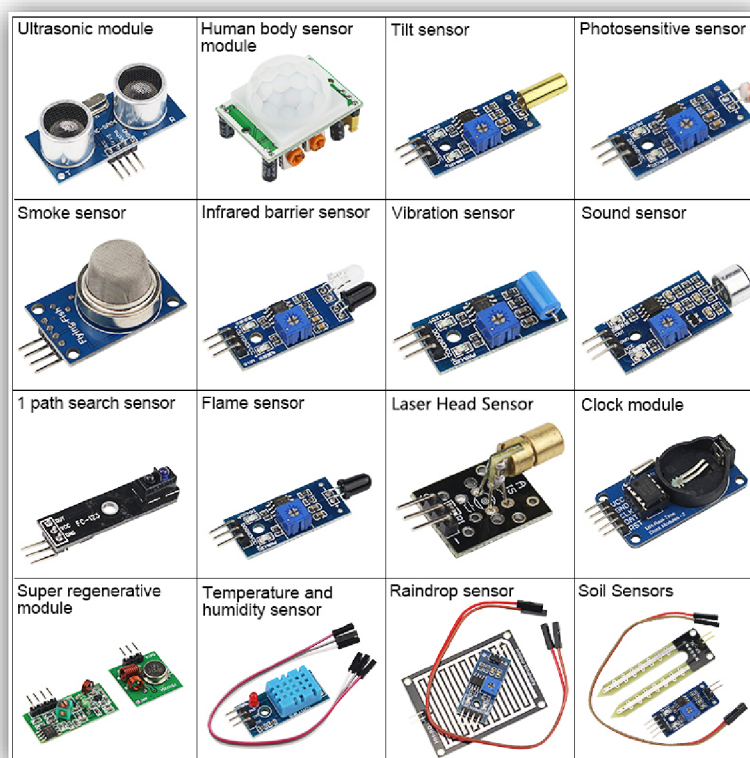
Arduino funguje jako mozek IoT systému a zpracovává data ze senzorů. Arduino je hardwarová platforma s otevřeným zdrojovým kódem, která je snadno dostupná volně pro nadšence z celého světa k tvorbě IoT projektů. Dodává se s mikrokontrolérem ATMEGA, který zpracovává data a usnadňuje správné fungování systému IoT. Výhoda je, že Arduino lze naprogramovat „n“-krát, což umožňuje vytvářet různé typy projektů IoT pouhou úpravou jednoduchého kódu. Pro programování Arduina je zapotřebí znát základy jazyka C++. Software vývojového prostředí je také potřebný pro projekty Internetu věcí založené na Arduinu. Lze připojit k internetu k zajištění komunikace mezi Arduinem a cloudem (SkyfiLabs, 2018).

## Raspberry Pi

Další hardwarová platforma s otevřeným zdrojovým kódem, která je v dnešní době mezi uživateli velmi populární, je Raspberry Pi. Podle všech definic je to klasický počítač. Raspberry Pi je levný počítač velikosti kreditní karty, který se připojuje k monitoru nebo televizi pomocí HDMI a používá standardní klávesnici a myš. Raspberry Pi umožňuje také 40pinové připojení GPIO, což umožňuje velmi snadné připojení k okolním zařízením. Může provozovat řadu operačních systémů, jako například Raspbian (Debian Linux), Android, Windows 10, IoT Core atd. (Chng, a další, 2021).

## Senzory

Senzor/Detektory/Převodníky jsou zařízení, která určují, zda se v jejich blízkosti vyskytuje určitá entita nebo funkce, měří kvalitativní nebo kvantitativní hodnoty určitých chemických nebo fyzikálních proměnných a vlastností. Zaznamenané naměřené hodnoty jsou obvykle převedeny na elektronické signály. Tyto zařízení mohou být elektrická, fotoelektrická nebo elektronická zařízení složená ze speciální elektroniky nebo jinak citlivých materiálů.



Obrázek č. 3 - Senzory (DIYzone, 2021)

K dispozici je mnoho typů senzorů, detektorů a převodníků, které mají mnoho funkcí. Mezi tyto funkce patří například detekce fyzické přítomnosti, plamenů, kovů, netěsnosti, hladiny nebo plynů a chemikálií. Některé jsou navrženy tak, aby snímaly fyzikální vlastnosti, jako je teplota, tlak nebo záření, zatímco jiné mohou detekovat pohyb nebo blízkost. V závislosti na aplikaci fungují různými způsoby a mohou mimo jiné využívat k měření hodnot elektromagnetická pole nebo optiku (Thomasnet.com, 2021).

Typů senzorů a veličin, které mohou měřit nebo zaznamenávat je nespočetné množství o tom také svědčí následující představení druhů senzorů (Mitsubayashi, a další, 2019):

### **Vizuální a zobrazovací senzory**

Elektronická zařízení, která detekují přítomnost předmětů nebo barev v jejich zorných polích a převádějí tyto informace na vizuální obraz do displeje.

### **Snímače teploty**

Elektronická zařízení, která detekují tepelné parametry. Teplotní senzor se obvykle při měření teploty a převodu na výstupní napětí spoléhají na odporový teploměr nebo termistor. Mezi klíčové specifikace patří typ senzoru/detektoru, maximální a minimální měřitelné teploty a také rozměry. Teplotní senzory se používají k měření tepelných charakteristik plynů, kapalin a pevných látek v mnoha procesních průmyslových odvětvích a jsou konfigurovány pro obecné i speciální účely

### **Radiační senzory**

Elektronická zařízení, která snímají přítomnost částic alfa, beta nebo gama. Klíčové specifikace zahrnují typ senzoru a minimální a maximální detekovatelné energie. Radiační detektory se používají pro průzkumy a zjištění radiační síly vzorků.

### **Senzory přiblížení**

Elektronická zařízení používaná k detekci přítomnosti blízkých předmětů bezkontaktními prostředky. Senzor přiblížení může detekovat přítomnost předmětů obvykle v rozmezí až několika milimetrů, a přitom generovat do ovladače obvykle stejnosměrný výstupní signál. Senzory přiblížení se používají v nesčetných výrobních operacích k detekci přítomnosti dílů a součástek. Mezi klíčové specifikace patří typ snímače, maximální snímací vzdálenost, minimální a maximální provozní teploty a rozměry. Senzory přiblížení jsou obecně zařízení krátkého dosahu, ale jsou k dispozici také v provedeních, která dokážou detekovat objekty až do vzdálenosti několika palců.

### **Snímače tlaku**

Elektromechanická zařízení, která detekují síly na jednotku plochy v plynech nebo kapalinách. Snímač tlaku obvykle používá k detekci a měření síly působící na oblast membránový a tenzometrický můstek. Mezi klíčové specifikace patří funkce senzoru, minimální a maximální pracovní tlaky, přesnost v plném rozsahu a další funkce specifické pro zařízení. Tlakové snímače se používají všude tam, kde jsou pro řízení nebo měření zapotřebí informace o tlaku plynu nebo kapaliny.

### **Snímače polohy**

Elektronická zařízení používaná ke snímání poloh ventilů, dveří, škrtecích klapek atd. Mezi klíčové specifikace patří typ senzoru, funkce senzoru, rozsah měření a funkce, které jsou specifické pro typ senzoru. Polohové senzory se používají všude tam, kde jsou potřebné informace o poloze v nesčetných řídicích aplikacích. Velmi často využívaným snímačem polohy je takzvaný string-pot neboli strunový potenciometr.

### **Optoelektronické snímače**

Elektrická zařízení, která snímají objekty procházející v jejich detekčním poli, i když jsou v případě potřeby také schopny detekovat barvu, čistotu a polohu. Tyto senzory se spoléhají na měření změn světla, které vyzařují pomocí vysílače a přijímače. Jsou běžné ve výrobě a automatizaci manipulace s materiálem pro účely, jako je počítání, robotické vychystávání a automatické dveře a brány.

### **Senzory částic**

Elektronická zařízení používaná ke snímání prachu a jiných částic ve vzduchu. Mezi klíčové specifikace patří typ snímače, minimální detekovatelná velikost částic, rozsah provozních teplot, objem vzorku a doba odezvy. Detektory částic používané v jaderném inženýrství se označují jako radiační senzory (viz výše).

### **Pohybová čidla**

Elektronická zařízení, která dokážou snímat pohyb nebo zastavení částí, osob atd. Typickými aplikacemi detekce pohybu jsou detekce zablokování dopravníků nebo zadření ložisek. Mezi klíčové specifikace patří zamýšlená aplikace, typ senzoru, funkce senzoru a minimální a maximální rychlost.

### **Kovové senzory**

Elektronická nebo elektromechanická zařízení používaná ke snímání přítomnosti kovu v různých situacích. Detektory kovů mohou být trvalé nebo přenosné a spoléhají na řadu sensorových technologií, přičemž nejvíce využívané jsou elektromagnetické síly.

Klíčové specifikace zahrnují zamýšlenou aplikaci, maximální snímací vzdálenost a určité funkce. Detektory kovů lze přizpůsobit tak, aby výslovně detekovaly určitý kov ve specifických výrobních operacích.

### **Senzory hladiny**

Elektronická nebo elektromechanická zařízení používaná ke stanovení výšky plynů, kapalin nebo pevných látek v nádržích nebo zásobnících. Typické snímače hladiny používají ke stanovení výšky produktu ultrazvukové, kapacitní, vibrační nebo mechanické prostředky. Mezi klíčové specifikace patří typ senzoru, funkce senzoru a maximální snímací vzdálenost. Senzory hladiny mohou být kontaktního nebo bezkontaktního typu.

### **Senzory úniku**

Elektronická zařízení používaná k identifikaci nebo monitorování nežádoucího úniku kapalin nebo plynů. Některé detektory netěsností například spoléhají na ultrazvukové prostředky pro detekci úniků vzduchu. Jiné detektory netěsností se při měření spolehlivosti spojů potrubí spoléhají na jednoduchá pěnídla. K měření účinnosti těsnění se ve vakuových baleních používají jiné detektory netěsností.

### **Senzory vlhkosti**

Elektronická zařízení, která měří množství vody ve vzduchu a převádějí tato měření na signál. Mezi klíčové specifikace patří maximální doba odezvy a minimální a maximální provozní teploty.

### **Plynové a chemické senzory**

Pevná nebo přenosná elektronická zařízení používaná ke snímání přítomnosti a vlastností různých plynů a chemických látek. Mezi klíčové specifikace patří zamýšlená aplikace, typ senzoru, rozsah měření a funkce. Plynové a chemické senzory/detektory se používají pro monitorování omezeného prostoru, detekci úniků atd. Často jsou navrženy se schopností detekovat více plynů a chemikálií najednou, ne pouze jednu látku.

### **Senzory síly**

Elektronická zařízení, která měří různé parametry související se silami, jako je hmotnost, točivý moment, zatížení atd. Senzor síly se obvykle spoléhá na siloměr, piezoelektrické zařízení, jehož odpor se mění při deformačním zatížení. Pro měření točivého momentu a deformace existují jiné metody. Mezi klíčové specifikace patří funkce senzoru, počet os, minimální a maximální zatížení (nebo momenty), minimální a maximální provozní teplota a také rozměry samotného senzoru. Senzory síly se používají v aplikacích pro měření zatížení všeho druhu, od nákladních vah až po zařízení pro napínání šroubů.

## **Průtoková čidla**

Elektronická nebo elektromechanická zařízení používaná ke snímání pohybu plynů, kapalin nebo pevných látek. Průtokový snímač může být elektronický – například pomocí ultrazvukové detekce zvenčí potrubí, nebo částečně mechanický – například lopatkové kolo, které sedí a otáčí se přímo v samotném toku. Mezi klíčové specifikace patří typ senzoru, funkce senzoru, maximální průtok, maximální pracovní tlak a minimální a maximální provozní teploty. Průtoková čidla se široce používají ve zpracovatelském průmyslu.

## **Snímače vad**

Senzory defektů jsou elektronická zařízení používaná v různých výrobních procesech k odhalení nesrovnalostí na površích nebo v podkladových materiálech, jako jsou svary. Detektory vad používají k identifikaci vad materiálů ultrazvukové, akustické nebo jiné prostředky a mohou být přenosné nebo pevné. Mezi klíčové specifikace patří typ senzoru, detekovatelný defekt nebo rozsah tloušťky a zamýšlená aplikace.

## **Senzory plamene**

Optoelektronická zařízení používaná ke snímání přítomnosti a kvality ohně. Detektor plamene se obvykle spoléhá na ultrafialovou nebo infračervenou detekci přítomnosti plamene a nachází uplatnění v mnoha aplikacích pro řízení spalování, jako jsou například hořáky. Klíčovou specifikací je typ detektoru. Detektory plamene nacházejí uplatnění také v bezpečnostních nastaveních, například v systémech pro hašení požáru pod kapotou.

## **Elektrická čidla**

Elektronická zařízení, která snímají proud, napětí atd. Mezi klíčové specifikace patří typ senzoru, funkce senzoru, minimální a maximální rozsahy měření a rozsah provozní teploty. Elektrická čidla se používají všude tam, kde jsou potřeba informace o stavu elektrického systému, a používají se ve všem, od železničních systémů až po monitorování ventilátorů, čerpadel a topení.

## **Kontaktní senzory**

Jedná se o jakýkoliv typ snímacího zařízení, který funguje tak, že detekuje stav doteku mezi senzorem a sledovaným předmětem. Jednoduchý typ kontaktního senzoru se používá v poplašných systémech ke sledování dveří, oken a dalších přístupových bodů. Když jsou dveře nebo okno zavřené, magnetický spínač poskytuje signalizaci řídicí jednotce alarmu, takže je znám stav tohoto vstupního bodu. Podobně, když se otevrou dveře nebo okno, kontaktní senzor upozorní ovladač alarmu na stav tohoto přístupového bodu a může

spustit akci, jako je například zapnutí zvukové sirény. Existuje mnoho použití kontaktních senzorů, jako například monitorování a regulace teploty a jako senzory přiblížení v robotických aplikacích a automatizovaných strojích.

### **Bezkontaktní senzory**

Zařízení, která ke svému fungování nevyžadují fyzický dotyk mezi senzorem a sledovaným objektem. Znáмым příkladem tohoto typu senzoru je detektor pohybu používaný v bezpečnostních světlech. Detekce předmětů v dosahu detektoru pohybu se provádí pomocí nemechanických nebo nefyzických prostředků, například pomocí detekce pasivní infračervené energie, mikrovlnné energie, ultrazvukových vln atd.

V zemědělském sektoru můžeme nalézt nespočet příkladů, kde je možné tyto senzory implementovat k automatizaci, monitorování a získávání velkého množství přesných dat.

### **Stroje, drony a roboti**

Od průmyslové revoluce v 19. století se automatizace stále zdokonalovala, aby efektivně zvládla sofistikovanější úkoly a zvýšila produkci. S rostoucími nároky a nedostatkem pracovních sil po celém světě začínají mezi zemědělci získávat pozornost zemědělské roboti, běžně známé jako Agroboti. Nedávné pokroky v oblasti senzorů Internetu věcí a technologie AI, umožnily rozvoj a rozšíření autonomně se řídících robotů. Dnešní technologie se nachází v prvních fázích zemědělské robotické revoluce, přičemž většina produktů je stále v raných zkušebních fázích a režimu výzkumu a vývoje.

### **Roboti na likvidaci škůdců**

Tito chytrí Agroboti využívají digitální zpracování obrazu k prohlížení a porovnání snímků plevelů, brouků, plísní a jiných škůdců ve své databázi. Pokud robot detekuje škůdce na plodině a rozpozná o jaké škůdce se jedná, může ihned aplikovat správný postřik přímo svými robotickými pažemi. Pokud je robot zapojen do systému Internetu věcí, může přijímat data z ostatních senzorů, a tak efektivněji fungovat. S rostoucím počtem škůdců, kteří se stávají odolnými vůči pesticidům jsou roboti přínosem pro životní prostředí a také pro zemědělce, kteří tyto pesticidy často preventivně šíří po celé farmě.

### **Samo navigační stroje**

Jako autíčka na ovládání lze také traktory a jiné těžké stroje automaticky spustit z pohodlí domova za pomoci sledování přes GPS. Tyto integrované automatické stroje jsou vysoce přesné a samy se přizpůsobí, když detekují rozdíly v terénu, což zjednodušuje práci farmářů. Jejich pohyby, stejně jako pracovní postup, lze snadno zkontrolovat například

na chytrých telefonech. Díky pokroku ve strojovém učení se tyto technologií poháněné stroje stávají chytřejšími a nezávislejšími také díky funkcím, jako je například automatická detekce překážek.

### **Sklízecí roboti**

Využívání Agrobotů ke sběru plodin řeší problém nedostatku pracovních sil. Tyto inovativní stroje, pracující v delikátním procesu sběru ovoce a zeleniny, mohou pracovat v režimu 24/7. Podle zkušeností farmářů sklízecí robot pracuje až 1,5krát rychleji než lidský pracovník. Tyto stroje používají kombinaci zpracování obrazu a robotických ramen k určení plodů, které je již třeba sebrat. Využití sklízecích strojů nachází uplatnění hlavně ve sadech a sklenících. Používají se také často ke sběru vysoce hodnotných plodiny, jako jsou rajčata a jahody.

### **Drony**

Zemědělství je jedním z hlavních průmyslových odvětví, kde se drony využívají. Drony vybavené senzory a kamerami se používají k zobrazování, mapování a průzkumu farem a polí. Existují pozemní drony a letecké drony. Pozemní drony jsou roboti, kteří zkoumají pole na kolech. Letecké drony, formálně známé jako bezpilotní prostředky nebo systémy bezpilotních letadel, jsou létající roboti. Drony lze dálkově ovládat nebo mohou létat autonomně prostřednictvím softwarově řízených letových plánů a pomocí vestavěných systémů, které pracují v koordinaci se senzory a GPS. Z dat z dronů lze čerpat poznatky týkající se zdraví plodin, zavlažování, postřiku, výsadby, půdní kvality polí, počítání rostlin a predikce výnosů a mnoho dalšího. Drony lze buď naplánovat na průzkumy farem a polí nebo je lze naplánovat k přistání na určeném místě blízkosti farem, kde je lze dobíjet a udržovat (Cropin, 2021).

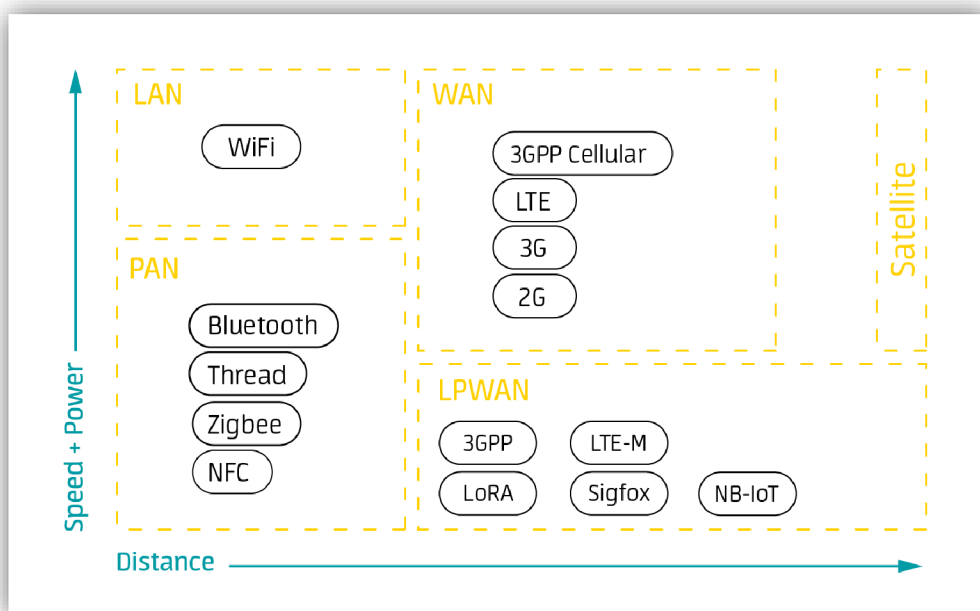
### **Aktuátory**

Aktuátor je zařízení, které používá formu energie k převodu řídicího signálu na mechanický pohyb. Od elektrických dveřních zámků v automobilech po křídélka v letadle jsou aktuátory všude kolem nás. Průmyslové závody používají tato zařízení k ovládnutí ventilů, klapek, kapalinových spojek a dalších zařízení používaných v řízení průmyslových procesů.



### 3.3.2 Komunikační vrstva

Komunikace a včasné hlášení informací jsou považovány za klíčovou součást přesného zemědělství. Skutečného účelu nelze dosáhnout, pokud není zajištěno pevné, spolehlivé a zabezpečené spojení mezi všemi zařízeními v daném systému Internetu věcí. Aby bylo dosaženo spolehlivosti komunikace, mohou telekomunikační operátoři hrát klíčovou roli v odvětví budoucího zemědělství. Pokud opravdu chceme implementovat IoT ve velkém měřítku v zemědělském průmyslu, musíme zajistit vhodně velkou a spolehlivou architekturu. Nalezení nejlepšího řešení pro daný projekt vždy zahrnuje sjednání rovnováhy mezi třemi základními parametry připojení: rozsah, šířka pásma a spotřeba energie, tyto parametry musí být zohledněny před výběrem vhodného komunikačního prostředku.



Obrázek č. 4 - Zobrazení rychlosti a dosahu sítí (AVSystem, 2020)

Obecně lze říct, že nižší frekvence umožňují dopravcům poskytovat pokrytí na větší ploše, zatímco vyšší frekvence umožňují dopravcům poskytovat služby více zákazníkům v menší oblasti (Push, 2020).

#### **PAN – Personal Area Network**

Jedná se o propojení osobních technologických zařízení pro komunikaci na krátkou vzdálenost, která je okolo 10 metrů nebo v dosahu jednotlivé osoby. Tyto systémy jsou obvykle bezdrátové a zahrnují přenos dat mezi zařízeními, jako jsou smartphony, osobní

počítače, sluchátka atd. Účelem takové sítě je obvykle umožnit buď přenos dat nebo informací mezi těmito zařízeními nebo na server k umožnění dalšího připojení k internetu.

### **Bluetooth**

Bluetooth je bezdrátový technologický standard krátkého dosahu, který se používá pro výměnu dat mezi pevnými a mobilními zařízeními na krátké vzdálenosti pomocí rádiových vln UHF. Používá se k přenosu audia, videa i dalších souborů. Bluetooth v roce 1994 vynalezla švédská společnost Ericsson, když hledala alternativu místo kabelového spojení mobilních zařízení. Nejnovější verze Bluetooth 5.2 z roku 2020 nabízí rychlosti připojení 125 kb/s, 500 kb/s, 1Mb/s a 2Mb/s, dosah Bluetooth připojení může být v budovách 40 metrů a venku až 240 metru, dosah závisí na přenosové rychlosti, čím nižší rychlost, tím vyšší dosah (Alza, 2019). Technologie Bluetooth využívá spektrum 2,4 GHz ISM (2400 až 2483,5 MHz), které umožňuje dobrou rovnováhu mezi dosahem a propustností. Pásmo 2,4 GHz je navíc k dispozici po celém světě, což z něj činí skutečný standard pro bezdrátové připojení s nízkým výkonem.

### **ZigBee**

ZigBee je bezdrátová síť s nízkou spotřebou pro přenos malých datových balíčků na krátké vzdálenosti. Jednotlivé přístroje jsou decentralizované a fungují nezávisle na sobě, zařízení jsou díky jednotnému jazyku schopné vzájemně spolupracovat v jedné síti chytré domácnosti a signál si předávat mezi sebou, a to nezávisle na řídicí jednotce. Největší výhodou ZigBee je, že zvládne až 65 000 připojených zařízení. Dosah připojení je maximálně do 100 metrů. ZigBee celosvětově využívá 16 kanálů v pásmu ISM 2,4 GHz a 13 kanálů v pásmu 915 MHz v Severní Americe a jeden kanál v pásmu 868 MHz v Evropě. Technologie byla vytvořena speciálně pro domácí systém Internetu věcí, funguje také pro zařízení s nízkým výkonem v průmyslových, vědeckých a zdravotnických zařízeních (Immax, 2019).

### **NFC**

Near Field Communication (NFC) je bezkontaktní komunikační technologie založená na vysokofrekvenčním poli (RF). Technologie NFC je dokonale navržena pro výměnu dat mezi dvěma zařízeními pomocí jednoduchého dotykového gesta. Zařízení má za úkol také přenos energie ze zařízení NFC na NFC Tag. NFC Tagy proto ke svému provozu nepotřebují baterie ani jiné napájecí zdroje, protože potřebné napájení pro komunikaci zajišťuje pole RF. Když je aktivní režim bezdrátového nabíjení, je možné zvýšit intenzitu pole RF, což umožňuje nabíjecí výkon až 1 W. Tato technologie je také

ideální pro malá zařízení IoT fungující jako NFC Tag, protože pro NFC není potřeba žádný další nabíjecí zdroj. Technologie NFC je navržena na provozní vzdálenost několika centimetrů, což útočníkům ztěžuje záznam komunikace mezi zařízeními. Výsledkem je, že úroveň zabezpečení komunikace NFC je ve výchozím nastavení vyšší než ve srovnání s jinými protokoly bezdrátové komunikace. Pracuje ve frekvenčním rozsahu soustředěném na 13,56 MHz a nabízí přenosovou rychlost dat až 424 kb/s do vzdálenosti přibližně 10 centimetrů. (NFCforum, 2021).

### **LAN – Local Area Network**

Místní síť (LAN) je soubor zařízení propojených dohromady na jednom fyzickém místě, například v budově, kanceláři nebo doma. LAN může být malá nebo velká, od domácí sítě s jedním uživatelem po podnikovou síť s tisíci uživateli a zařízeními. Síť LAN obsahuje kabely, přístupové body, přepínače, směrovače a další komponenty, které umožňují zařízením připojit se k interním serverům, webovým serverům. Vzestup virtualizace také podpořil vývoj virtuálních sítí LAN, které umožňují správcům sítí logicky seskupovat síťové uzly a rozdělovat jejich síť bez nutnosti velkých změn infrastruktury (Cisco, 2021).

### **Wi-Fi**

Wi-Fi je nejoblíbenější technologie bezdrátových sítí, skvěle hodí pro datově náročná řešení IoT, která se provozují na malé ploše. Nevýhodou připojení Wi-Fi je velká náročnost na spotřebu energie a velice omezený dosah. Dobrým příkladem použití s Internetem věci jsou inteligentní domácí zařízení připojená k elektrické síti. Díky přenosovým schopnostem na frekvencích 2,4 GHz nebo 5 GHz je signál Wi-Fi schopen přenášet podstatně více dat než ostatní technologie. Nedávno vyvinuté standardy Wi-Fi HEW (802.11ax) a Ha-Low (802.11ah) jsou více orientovány na IoT a řeší výzvy související s dosahem a spotřebou energií v průmyslových prostředích IoT (AVSystem, 2020).

### **WAN – Wide Area Network**

WAN je velká síť informací, která není svázána s jediným místem. Síť WAN mohou usnadňovat komunikaci, sdílení informací a mnoho dalšího mezi zařízeními z celého světa prostřednictvím poskytovatele WAN. Síť WAN mohou být životně důležité pro mezinárodní podniky, ale jsou také nezbytné pro každodenní použití, protože internet je považován za největší WAN síť na světě.

## **Mobilní síť – 5G, 4G/LTE, 3G**

Mobilní síť nabízí spolehlivou širokopásmovou komunikaci, na druhou stranu kladou velmi vysoké provozní náklady a energetické požadavky. Přestože mobilní síť nejsou životaschopné pro většinu využití IoT poháněných bateriovými senzorovými sítěmi, dobře se hodí do případů použití, jako jsou sdílená auta a správa vozového parku. Next-gen 5G s podporou vysokorychlostní mobility a ultra nízkou latencí je předváděn jako budoucnost autonomních vozidel. Očekává se také, že 5G v budoucnu umožní sledování videa v reálném čase z veřejných kamerových systémů, živý přenos zdravotních dat v reálném čase. Světově se využívá frekvence nízkého pásma v rozmezí 800 až 900 MHz a ve vysokém pásmu mezi 1700 až 2100 MHz (Industrytoday, 2018).

## **LPWAN – Low-Power Wide Area Networks**

Technologie LPWAN byla vytvořena speciálně pro zařízení IoT. Poskytuje bezdrátové připojení s dlouhým dosahem při nízké spotřebě energie s životností baterie 10+ let. LPWAN nabízí působivé pokrytí až 40 kilometrů a prodlouženou výdrž baterie pro senzory a zařízení s nízkým výkonem, se perfektně hodí pro průmyslové a zemědělské aplikace IoT. Kvůli skvělým možnostem geolokace je LPWAN také schopen identifikovat místo pobytu zařízení bez pomoci GPS, využívá pomoc rádiových signálů, což z něj činí skvělou nákladově efektivní možnost lokalizace a sledování. Díky pravidelnému odesílání dat v malých částech splňuje technologie požadavky chytrých měst, inteligentních budov a Smart agriculture (monitorování v terénu) (AlexSoft, 2020).

## **LoRa**

LoRa je zkratka pro Long Range. Specifikace LoRaWAN® je síťový protokol určený k bezdrátovému připojení „věcí“ napájených bateriemi k internetu v regionálních, národních nebo globálních sítích a zaměřuje se na klíčové požadavky Internetu věcí, tedy směrovou komunikaci, komplexní zabezpečení, mobilitu a lokalizační služby. Síťová architektura LoRa je nasazena v topologii hvězda, ve které brány přenášejí informace mezi koncovými zařízeními a centrálním síťovým serverem. Brány jsou připojeny k síťovému serveru prostřednictvím standardních IP připojení a fungují jako transparentní most, jednoduše převádějící RF pakety na IP pakety a naopak. LoRa pracuje na frekvencích těsně pod 1 GHz. Využívá RF pásma sub-GHz, jako jsou 433MHz, 868MHz a 915MHz, k zajištění přenosu na větší vzdálenost přes 10 km s nízkou spotřebou energie, ideální

pro připojení IoT. Přenosová rychlost se pohybuje mezi 0.3 až 50 kb/s (LoRa-Alliance, 2021).

### **Sigfox**

Sigfox komunikuje pomocí průmyslového, vědeckého a lékařského rádiového pásma 868 MHz v Evropě a 902 MHz v USA. Stávající standard pro komunikaci Sigfox podporuje až 140 uplinkových zpráv denně, z nichž každá může nést zatížení 12 oktetů s datovou rychlostí až 100 bitů za sekundu. Využívá širokouhý signál, který volně prochází pevnými předměty, a přitom vyžaduje malou spotřebu energie. Síť je založena na hvězdicové topologii a vyžaduje, aby generovaný provoz přenášel mobilní operátor. Signál lze použít ke snadnému pokrytí velkých ploch, také dokáže proniknout například k podzemním objektům. V listopadu 2020 síť Sigfox IoT pokryla celkem 5,8 milionu kilometrů čtverečních v celkem 72 zemích, přičemž tuto síť využilo celkem 1,3 miliardy světové populace (Sigfox, 2021).

### **NB-IoTs**

Úzkopásmový rádiový technologický standard Internetu věcí vyvinutý společností 3GPP, který umožňuje širokou škálu zařízení a služeb. NB-IoT se zaměřuje konkrétně na vnitřní pokrytí, nízké náklady, dlouhou výdrž baterie a vysokou hustotu připojení, signál je prostupný přes několik zdí, v podzemí nebo pod vodou. NB-IoT používá podskupinu standardu LTE, ale omezuje šířku pásma na pouze jedno úzké pásmo a to 200 kHz. Přenosová rychlost dat se pohybuje okolo 160 kb/s, nevýhodou může být vysoká latence, které se pohybuje až okolo 10 sekund. IoT aplikacím, které vyžadují častější komunikaci, bude nejlépe sloužit NB-IoT, který nemá žádná omezení pracovního cyklu (i-Scoop, 2021).

### **Frekvence upřednostňovaná pro IoT**

V dnešní době většina uživatelů, zřizovatelů IoT systému má sklon k užívání frekvence okolo 900 MHz, nejzásadnější důvody pro tento trend jsou popsány dále v této kapitole.

Evropská komise se rozhodla, že bude využívat pásmo 900 MHz pro zařízení krátkého dosahu konzistentně ve všech členských státech. Tento krok způsobí, že pásma 874-876 a 915-921 MHz budou výchozí frekvencí pro aplikace související s inteligentními městy, inteligentními domy, inteligentním zemědělstvím, dopravou, logistikou a průmyslovou výrobou. V současné době jsou části těchto pásem vyhrazeny pro armádu v některých zemích, včetně Běloruska, Francie, Německa, Řecka, Nizozemska, Portugalska

a Velké Británie, ale celkově nejsou moc využívána. Toto pásmo je velice zajímavé pro ostatní uživatele spektra 900 MHz, zejména pro železniční průmysl a trh s Internetem věcí (IoT).

Regulace poskytovala frekvenční spektrum pro zařízení Internetu věcí například pro Chytrá města až doposud. Očekává se však, že trh s Internetem věcí se bude rozšiřovat velice rapidně, je zapotřebí vyhrazení jednotného spektra, které by bylo možné využívat za vynaložení co nejmenších nákladů. Evropská komise uvedla příklad využití levných senzorů pro sběr dat, které jsou instalovány v pouličních sloupech za účelem ovládní osvětlení. Zatímco sofistikovanější zařízení mohou překlenout rozdíly ve spektru výběrem různých pásem podle jejich dostupnosti, výrobní náklady by se zvýšily u zařízení krátkého dosahu. Rozhodnutí sjednotit pásmo na 900 MHz také uspokojí potřeby pro zařízení IoT příští generace. Nová dostupnost spektra v rozsahu 900 MHz umožní vylepšené možnosti RFID, zejména pro označování položek ve skladu a továrním nastavení, s vyšší rychlostí a přesností a malými velikostmi štítků. Logistickým společnostem to poskytne možnost označovat a sledovat menší objekty a materiály (Blackman, 2018).

Kromě nízkých nákladů na zařízení a provoz, poměrně malého až žádného využití frekvence 900 MHz je další výhodou dosah a propustnost skrze překážky. Jak uvedl výrobce EnGenius: „Kvůli dosahu používáme 900 MHz. Je to vlastně pásmo ISM s nejnižší frekvencí, které je méně pohlcováno objekty a má méně příležitostí k odrazu, což znamená, že v interiéru je více cest. To je důvod, proč mnoho našich velkých zákazníků, jako Target a TJ Max, pořizuje naše produkty místo Wi-Fi. S Wi-Fi potřebujete přístupový bod každých 100 stop a spoustu opakovačů. U nás prostě nastavíte jednu anténu, jednu základnovou stanici a je hotovo.“ (Milne, 2017).

### **3.3.3 Aplikační vrstva**

S aplikační vrstvou interaguje uživatel. To je ta vrstva, která je zodpovědná za poskytování služeb specifických pro uživatele uživateli. Může se jednat například o implementaci chytré domácnosti, kde uživatelé klepnutím na tlačítko v aplikaci zapnou kávovar. Pro využití v této práci se může jednat například o kontrolu stavu a posílání příkazů pro zemědělské stroje.

## **Edge computing, Cloud computing**

Tato úroveň je zásadní pro to, aby systémy IoT mohly splňovat požadavky na rychlost, zabezpečení a rozsah mobilní sítě 5. generace neboli 5G. Nový bezdrátový standard slibuje vyšší rychlosti, nižší latenci a schopnost zvládnout mnohem více připojených zařízení než současný standard 4G.

Myšlenkou technologie Edge computing je zpracovávat a ukládat informace co nejdříve a co nejbližší jejich zdrojům. Tento přístup umožňuje lokální analýzu a transformaci velkých objemů dat v reálném čase na okraji sítí. Šetří se tak čas a další zdroje, které by jinak byly potřeba k odesílání všech dat do cloudových služeb. Výsledkem je snížená latence systému, která vede k reakcím v reálném čase a lepšímu výkonu (AlexSoft, 2020).

## **Akumulace a zpracování dat**

Stovky tisíc objektů připojených k síti vytvářejí obrovské množství dat, a ty musí být nějakým způsobem uloženy a následně zpracovány. Existují dobře zavedené metodiky pro uspořádání a ukládání dat, jako jsou například relační databáze, které mohou být implementovány pomocí databázových jazyků, jedním z příkladů databázových jazyků je SQL. V posledních letech však vznikla potřeba, aby se efektivně ukládalo obrovské množství dat v reálném čase. Pro splnění těchto potřeb byly vytvořeny přístupy jako například NoSQL a distribuované souborové systémy pro správu Big Data. Aktuální referenční technologie pro řešení Big Data jsou Mongo DB, Hadoop souborový systém a Cassandra DB.

Data jsou v reálném čase zachycena prostřednictvím rozhraní pro programování aplikací a zde ponechána, aby splňovala požadavky aplikací, které nejsou realizovány v reálném čase. Fáze akumulace dat funguje jako tranzitní centrum mezi generováním dat založených na událostech a spotřebou dat založenou na dotazech. Fáze akumulace dat mimo jiné definuje, zda jsou data relevantní pro požadavky a kam by měla být umístěna. Ukládání data může být realizováno do široké škály úložných řešení, od datových jezer schopných pojmout nestrukturovaná data, jako jsou obrázky a video streamy, až po úschovny událostí a telemetrické databáze. Celkovým cílem je roztřídit velké množství různých dat a uložit je nejefektivnějším způsobem (Meikle, 2017).

Ve fázi zpracování dat je příprava dat dokončena, aby ji spotřebitelské aplikace mohly použít ke generování přehledů. Celý proces zahrnuje následující kroky:

- Kombinace dat z různých zdrojů, IoT i non-IoT.
- Sladění více datových formátů.
- Agregace dat na jednom místě nebo jejich zpřístupnění bez ohledu na umístění prostřednictvím virtualizace dat.

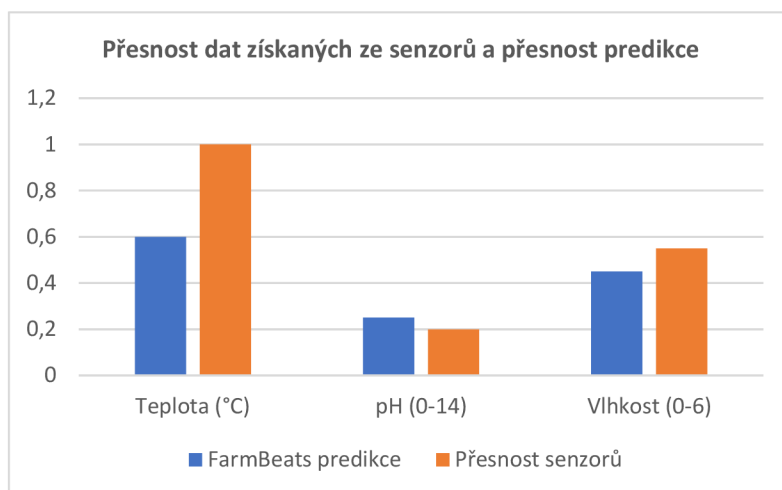
Podobně i data shromážděná v aplikační vrstvě jsou zde přeformátována pro odeslání na fyzickou úroveň, aby jim zařízení „porozuměla“. Na této úrovni jsou nalezeny metodiky a technologie pro přiřazování významu dat. Je dobře známo, že samotná data nic nerepresentují. Když nějaká data odpoví na určitou otázku, pak je možné říci, že se z data stane informace. Správné množství informací potřebné k rozhodnutí se definují jako „znalosti“. Na této úrovni jsou implementovány metodiky pro organizaci znalostí. Technologickou oblastí, ve které jsou organizovány nejrozšířenější znalosti na světě, je určitě sémantický web. Z technologického hlediska W3C navrhl standard Resource Description Framework (RDF) jako řadu deklarativních jazyků založených na syntaxi XML8. RDF je vhodný k popisu struktury jakéhokoli identifikovatelného zdroje v síti s jedinečnou adresou (IPv4 nebo Ipv6). RDF je také nástroj vyvinutý pro kódování a výměnu strukturovaných metadat, který umožňuje interoperabilitu mezi více aplikacemi, které sdílejí informace na webu. Mnoho výzkumných skupin pracuje na sémantickém popisu objektů IoT. Fáze akumulace dat a abstrakce společně zakrývají detaily hardwaru a zlepšují interoperabilitu chytrých zařízení. A co víc, nechali vývojáře softwaru soustředit se na řešení konkrétních obchodních úkolů – spíše než na ponoření se do specifikací zařízení od různých dodavatelů (Perry, 2018).



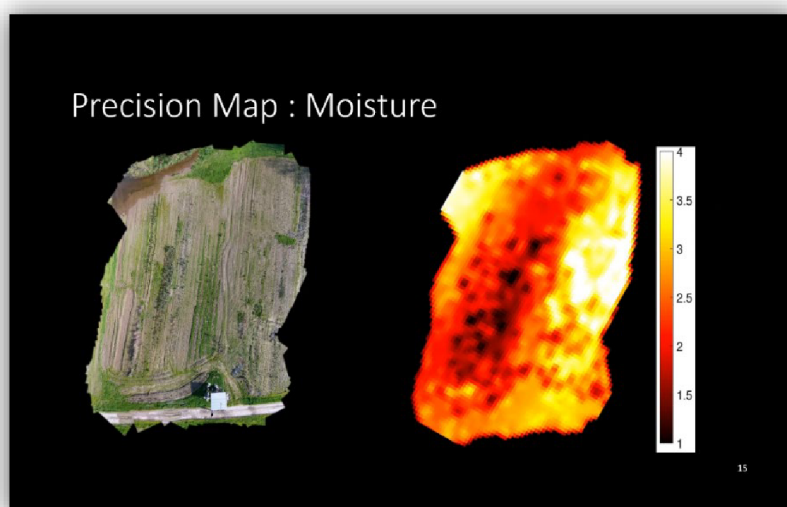
## Zobrazení a predikce dat

Za pomoci dat získaných ze senzorů a vizualizačního programu je možné data snadno a přehledně zobrazit v podobě grafu nebo mapy s využitím snímků z dronů, kamer, leteckých nebo satelitních snímků. Příklad vizualizace můžeme vidět na následujícím obrázku.

Pokud máme k dispozici pouze omezené množství senzorů, můžeme také dojít k hodnotám v místech, kde senzory nejsou. K zjištění těchto hodnot můžeme využít data z míst, kde senzory máme, z těchto míst porovnáváme snímky se snímky míst, kde senzory nejsou. Z porovnání snímků je možné velice efektivně předpovídat jaké hodnoty jsou ve zbylých místech, kde senzory nejsou využity. Přesnost prediktivních hodnot můžeme vidět v následujícím grafu.



**Tabulka č. 1 - Přesnost dat v predikci (Microsoft, 2021)**



**Obrázek č. 5 - Vizualizace dat na mapě (Microsoft, 2021)**

Tato metoda je vyvíjena společností Microsoft v programu FarmBeats, kde se snaží o snížení nákladu v přesném zemědělství za využití Internetu věcí (Microsoft, 2021).

Nejznámějšími a nejvyužívanějšími nástroji na vizualizaci dat jsou Tableau, Looker, IBM Cognos Analytics, Microsoft Power BI, SAP Analytics Cloud.

### **Řídící software**

Terminologie IoT se stále vyvíjí, ale IoT je obecně přijímáno jako síť chytrých zařízení, která jsou schopna autonomně si vyměňovat data bez zásahu člověka. Aby zařízení připojená k IoT fungovala správně, potřebují několik komponent: senzory pro sběr dat, rádio nebo jinou digitální komunikační technologii pro odesílání dat a software pro řízení nebo automatizaci procesu. Software IoT je povolující technologie, která řídí sběr dat a komunikaci na připojeném zařízení, takže může poskytovat data v reálném čase, která počítače a aplikace mohou transformovat a prezentovat jako informace.

Připojená zařízení mohou inteligentně fungovat díky inteligenci, kterou platforma IoT poskytuje. Chytrá zařízení mají pouze omezené výpočetní schopnosti a mají další primární funkci. Inteligence obvykle pochází ze systému v cloudu, kde sídlí software pro IoT, ale dokáže přenést potřebné informace, aby zařízení mohlo provádět akci nebo funkci kdekoli. Mezi výhody softwaru IoT patří:

- Poskytování rozhraní pro automatizaci a ovládání chytrých zařízení.
- Povolení přístupu k datům z připojených zařízení v reálném čase pro poskytování informací právě včas.
- Přidaná hodnota prostřednictvím inteligence zlepšením sběru dat ze senzorů.
- Usnadnění komunikace mezi zařízeními nebo mezi zařízeními.
- Pomoc při shromažďování a spotřebě velkých dat.
- Poskytování nových obchodních příležitostí a podpora lepší kvality života.

Existují dva možné způsoby vývoje nebo konkrétního využití systému IoT určeného pro chytré zemědělství: získání technologie vyvinuté předem právě k danému využití nebo využití nesčetných příležitostí, které svět open source nabízí. Zatímco první způsob, rozhodně profesionálnější, zahrnuje velké investice, a proto je výsadou středních a velkých společností, které si je mohou dovolit, druhý je možností, kterou by mohly i malé společnosti s personálem se silnou schopností „Udělej si sám“ využít.

System musí být schopen monitorovat veličiny a rozhodovat se podle toho, co měří. Pokud je například sledovaným parametrem půdní vlhkost, pak bude do půdy zapojen senzor vlhkosti, který je pravidelně kontrolován. Hodnota načtená senzorem je odeslána do systému rozhodování, který na základě přesných pravidel rozhodne, zda, kde a kolik zavlažovat. Toto rozhodnutí je odesláno do aktivačního systému, který bude pokračovat ve vykonávání příkazu aktivací jednoho nebo více elektromagnetických ventilů. Tyto tři bloky, jako je měření, rozhodování a ovládání, mohou být stejně jednoduché jako právě popsany případ použití, ale mohou být také velmi složité. Blok měření může monitorovat multispektrální nebo hyperspektrální data, může fungovat na jednotlivých informacích nebo velkém množství vstupů. Jak je uvedeno v předchozím odstavci, tyto údaje se obvykle nedostanou k samotnému rozhodovateli, ale jsou „obohaceny“ řadou dalších dat (metadat), která je charakterizují a z nich je potřeba získat pouze ty potřebné. Software může provádět jednoduchá rozhodnutí, může implementovat složité rozhodovací algoritmy, může používat data v reálném čase a historická data nebo může přistupovat k místním datům nebo datům poskytovaným webovými službami (např. údaje o počasí, historické údaje, statistické údaje atd.) (Singh, 2018).

Nejrozšířenějšími a nejnámějšími softwary jsou následující:

### **SAP**

SAP Internet of Things je součástí platformy inteligentních technologií. Platforma IoT spojuje aktiva, procesy a lidi na základě informací v reálném čase ze služeb digitální platformy IoT a dat senzorů. Jako řešení případů využití průmyslového internetu věcí nabízí platforma obchodní služby a specifické možnosti napříč výrobou, dodavatelským řetězcem, logistikou, aktivy a produkty. Mezi funkce patří cloudové služby pro vytváření aplikací a integraci IoT, správu velkých dat a analytické služby (SAP, 2021).

### **New Relic One**

New Relic One je platforma pro pozorovatelnost, která může shromažďovat, ukládat a monitorovat všechny typy provozních dat, včetně dat pocházejících ze zařízení IoT. Jedná se o telemetrickou datovou platformu, která také umožňuje uživatelům vytvářet vlastní aplikace na API a komponentách produktů. Platforma může monitorovat software z různých nasazení a distribucí a vizualizovat jejich výkon. Má také integrovanou inteligenci, která dokáže rychleji detekovat, diagnostikovat a řešit problémy (NewRelic, 2021).

## **Wolfram**

Wolfram nabízí několik technologických prvků a iniciativ, které jsou použitelné pro IoT. Například projekt Connected Devices Project ukládá informace o více než 2 500 připojených zařízeních, včetně nositelných digitálních fotoaparátů, Bluetooth monitorů srdečního tepu, digitálních multimetrů a kuchyňských teploměrů. Má také Data Drop, což je služba, která usnadňuje shromažďování dat ze zařízení, senzorů, programů a lidí. Mezi další produkty patří Data Framework, Alpha a Wolfram Language+Raspberry Pi (Wolfram, 2021).

## **Pega 7**

Pega 7 je platforma IoT řešení a analytická platforma typu end-to-end. Data zařízení a senzorů v reálném čase jsou analyzována a okamžitě se s nimi pracuje. Velký počet připojených zařízení může poskytnout cenné poznatky a nové zdroje příjmů. Tyto vhledy lze převést do organizovaných akcí napříč obchodními systémy. Data IoT lze analyzovat a vytvořit předepsané kroky pro prevenci a opravy. Mezi další funkce patří API, konektory, správa BPM a case a vývoj s nízkým kódem (PEGA, 2021).

## **InnovationSuite**

Software InnovationSuite Analytics a IIoT od společnosti Rockwell Automation je komplexní sada produktů, které do průmyslových provozů přinášejí analytiku, strojové učení, průmyslové IoT a rozšířenou realitu. Platforma IoT zjednodušuje správu dat a usnadňuje uživatelům přístup k informacím, které potřebují k rozhodování, jejich porozumění a využití. Například ThingWorx IIoT poskytuje jediné řešení průmyslové konektivity pro sběr, agregaci a bezpečný přístup k datům průmyslových operací. Jediné rozhraní umožňuje uživatelům připojit, spravovat, monitorovat a ovládat automatizační zařízení a softwarové aplikace (RockwellAutomation, 2021).

## **Platforma Watson IoT**

Watson IoT Platform od IBM umožňuje uživatelům bezpečné připojení, shromažďování a rychlé zpracování dat IoT. Pomocí IBM Cloud mohou využívat výhod integrovaných vizualizací a analytických služeb založených na AI. K dispozici je rozšiřitelný katalog analytických funkcí. Zabezpečené informace lze sdílet prostřednictvím obchodní sítě se službou blockchain, takže IoT a další aktiva mohou ověřovat události z důvěryhodného systému hlavní knihy. Platformu lze použít pro účely správy podnikových aktiv, správy zařízení a systémového inženýrství (IBM, 2021).

### **Cisco IoT Control Center**

Cisco IoT Control Center je řešení pro správu konektivity pro připojená mobilní zařízení. Je to platforma, která umožňuje podnikům a podnikům nasadit spolehlivou službu IoT se ziskem. Mezi výhody patří automatické zřizování a konfigurovatelná pravidla automatizace, nižší celkové náklady na vlastnictví, výjimečná spolehlivost služeb, flexibilní obchodní model a správa zařízení v soukromých sítích LTE/5G (Cisco, 2021).

### **Oracle IoT**

Oracle IoT Intelligent Applications Cloud využívá senzorická data v reálném čase z připojených zařízení a poskytuje analytické poznatky. Platformu IoT lze použít přímo v široké oblasti, jako je výroba, údržba, logistika a služby. Uživatelé mohou snadno přistupovat k aplikacím řízení a povolit automatizaci. Aplikace IoT mohou pomoci znovu objevit výrobní procesy, monitorovat připojené stroje, snížit náklady sledováním tras vozidel, zajistit shodu s předpisy a podpořit bezpečnost na pracovišti propojením a monitorováním pracovišť (Oracle, 2021).

### **AWS IoT**

AWS IoT jsou služby pro průmyslová, obchodní a spotřebitelská řešení. Může sdružovat správu dat a analytiku ze zařízení v domácnostech, továrnách, nemocnicích, automobilech a na dalších místech. Platforma IoT obsahuje vrstvy zabezpečení, jako je šifrování, řízení přístupu, nepřetržité monitorování a audity. Zařízení se stávají inteligentnějšími díky dostupným službám AI na zabezpečené a osvědčené cloudové infrastruktuře (Amazon, 2021).

### **Google Cloud IoT**

Google Cloud nabízí plně spravované a integrované služby IoT. Platforma IoT umožňuje připojit, ukládat a analyzovat data na okraji (Edge computing) a v cloudu. Některé z dostupných funkcí jsou nástroje pro streamování a dávkovou analýzu, připojení a správu ingestu, připojení a správu zařízení, skladování dat a rychlé dotazování a platformu AI. Může předvídat údržbu a optimalizaci zařízení nebo sledovat aktiva v reálném čase. Některé z případů použití jsou pro logistiku a správu dodavatelského řetězce, inteligentní budovy a automatizované domácnosti (Google, 2021).

### **Azure IoT Central**

Umožňuje vytvářet rychleji škálovatelná řešení s využitím aplikace IoT Plug and Play, která pomáhá zjednodušit interakce zařízení. Otevřený modelovací jazyk aplikace umožňuje bezproblémovou integraci zařízení-cloud a pomáhá zkrátit dobu vývoje a snížit

náklady na vývoj a složitost vývoje. Lze vytvářet zařízení, která se bezproblémově integrují s jakýmkoli cloudovým řešením Azure IoT, a zrychlují řešení bez nutnosti psát vložený kód (Microsoft, 2021).

### **Spolupráce a procesy**

Objekty a prostředky IoT jsou obecně téměř vždy spravovány v rámci jednoho nebo více procesů. To znamená, že spolu s dalšími prvky platformy přispívají k dosažení dobře definovaných obchodních cílů. Metodiky k definování, optimalizaci, monitorování a integraci procesů jsou součástí technik řízení procesů. Proto tato úroveň zahrnuje všechny technologie užitečné pro dočasný vývoj stavu platformy IoT a pro spolupráci (v čase a prostoru) mezi zapojenými prostředky. Digitálními druhy této úrovně jsou tedy systém řízení pracovního toku, dynamické sdílení spektra, systémy pro simulaci procesů (např. Simulace diskretních událostí) (Castrignano, 2020).

### **3.4 Rozhodovací metody**

Rozhodování na základě více kritérií je dílčí disciplínou operačního výzkumu, která explicitně vyhodnocuje více protichůdných kritérií při rozhodování jak v každodenním životě, tak v oblastech, jako je obchod, vláda a medicína. Modely vícekritériálního rozhodování zobrazují rozhodovací problémy, v nichž se důsledky rozhodnutí posuzují podle více kritérií. Vícekritériálnost charakterizuje téměř každou rozhodovací situaci. Zohlednění více kritérií při hodnocení vnáší do řešení problémů obtíže, konflikty, které vyplývají z obecné kontroverznosti kritérií. Kdyby totiž všechna kritéria ukazovala na stejné řešení, stačilo by pro volbu nejvhodnějšího rozhodnutí jediné z nich. Účelem modelů v těchto situacích je buď nalezení „nejlepší“ varianty podle všech uvažovaných hledisek, vyloučení neefektivních variant, nebo uspořádání množiny variant. Konfliktní kritéria jsou typická při hodnocení možností například: náklady nebo cena a nějaké měřítko kvality je obvykle dalším kritériem, které je snadno v rozporu s náklady. Při nákupu auta mohou být cena, komfort, bezpečnost a spotřeba paliva některými z hlavních kritérií, která zvažujeme – je neobvyklé, že nejlevnější auto je to nej pohodlnější a nejbezpečnější (Šubrt, 2019).

### Metoda pořadí

K určení vah kritérií se metoda pořadí používá především v případech, kdy jejich důležitost hodnotí několik expertů. Každý z nich seřadí kritéria od nejdůležitějšího po nejméně důležité. Nejdůležitější kritérium bude ohodnoceno  $n$  body ( $n$  je počet kritérií), druhé nejdůležitější  $n-1$  body atd., až nejméně důležité kritérium dostane jen 1 bod. V případě stejné důležitosti kritérií dostanou tato kritéria body podle průměrného pořadí. Váhu každého z kritérií určíme tak, že sečteme body, které získalo od všech expertů, a vydělíme je celkovým počtem bodů, které experti rozdělili mezi všechna kritéria. Tím je zaručeno, že suma vah všech kritérií je rovna 1.

Postup řešení metody pořadí:

- Kritéria jsou seřazena nejprve podle pořadí od nejdůležitějšího po nejméně důležité.
- Předpokladem je, že je k dispozici  $k$  kritérií. Nejdůležitější kritérium je ohodnoceno  $k$  body ( $b_i = k$ ) druhé nejdůležitější  $k - 1$  body ( $b_i = k - 1$ ) atd. až poslední (nejméně důležité) jedním bodem ( $b_i = 1$ ).
- V případě, že jsou některá kritéria stejně důležitá, jsou ohodnocena příslušným průměrem.
- Váha příslušného kritéria je pak vypočítána podle vztahu  $v_i = b_i / \sum_{i=1}^k b_i$
- $\sum_{i=1}^k b_i$  je součtem bodů rozdělených mezi jednotlivá kritéria. Pro tento součet platí  $\sum_{i=1}^k b_i = k(k + 1)/2$

### 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. 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.

Postup řešení bodovací metody:

- Výpočet vah je při použití této metody identický s postupem uvedeným v předchozí metodě, jediný rozdíl je v přidělení bodů  $b_i$ .
- Opět platí pravidlo, že čím důležitější je některé kritérium, tím vyšší dostane počet bodů.
- Každé kritérium v této metodě je ohodnoceno body z nějakého předem daného intervalu, např.  $b_i = \in < 0; 10 >$ .
- Váha příslušného kritéria je pak vypočítána podle vztahu  $v_i = b_i / \sum_{i=1}^k b_i$

### Metoda Fullerova trojúhelníku

Pokud ordinální informace vyjadřuje pouze vztah mezi každou dvojicí hodnocených kritérií, lze použít metodu párového porovnání. Pokud předpokládáme, že v případě, kdy uživatel hodnotí kritérium  $j$  jako důležitější než  $l$ , zároveň platí, že kritérium  $l$  je považováno za méně důležité než kritérium  $j$ , stačí provést srovnání. Toto porovnávání se většinou provádí pomocí tzv. Fullerova trojúhelníku. U každé dvojice prvků se zakroužkuje ten prvek, který se považuje za důležitější.

Postup řešení metody Fullerova trojúhelníku:

- Jsou-li srovnána každá dvě kritéria z celkového počtu  $k$  kritérií, následně jsou vybrány všechny kombinace dvou prvků z  $k$ . Celkový počet porovnání je tedy roven 
$$N = \binom{k}{2} = \frac{k(k-1)(k-2)!}{2!(k-2)!} = \frac{k(k-1)}{2}.$$
- Pro větší přehlednost při srovnávání je sestaven tzv. Fullerův trojúhelník. Trojúhelník má vždy  $k - 1$  dvojřádků. V prvním řádku jsou všechny kombinace pro porovnání s prvním kritériem, v druhém kombinace pro porovnání s druhým kritériem, kromě té, která je v předchozím řádku, v každém dalším řádku jsou kombinace pro porovnání s dalším kritériem, které nejsou v předchozích řádcích. Každý řádek má tedy o 1 člen méně než řádek předchozí.
- Symbolem  $n_i$  je označen počet zakroužkovaných  $i$ , konkrétně tedy počet zakroužkovaných jedniček označíme  $n_1$ , apod.
- Váhy jsou poté spočítány podle vztahu 
$$v_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^k n_i} = \frac{n_i}{N}$$



## Saatyho metoda

Saatyho metoda se používá pro analýzu a řešení rozhodovacích úloh, kde řešitel vybírá variantu, která nejvíce naplňuje stanovený cíl. Řešitel musí definovat varianty a kritéria. Poté řešitel párově porovná kritéria a varianty mezi sebou a určí své preference a váhu dané preference (Sekničková, 2021).

Postup řešení Saatyho metody:

- Srovnávají se opět vždy páry kritérií (stejně jako v předchozím případě) a hodnocení se ukládá do tzv. Saatyho matice  $S = (s_{ij})$  podle následujícího systému:
  - 1 –  $i$  a  $j$  jsou rovnocenná
  - 3 –  $i$  je slabě preferováno před  $j$
  - 5 –  $i$  je silně preferováno před  $j$
  - 7 –  $i$  je velmi silně preferováno před  $j$
  - 9 –  $i$  je absolutně preferováno před  $j$
- Hodnoty 2,4,6 a 8 jsou ponechány pro hodnocení mezistupňů.
- Je zřejmé, že  $s_{ii} = 1$ , neboť kritérium je rovnocenné samo se sebou.
- Také musí platit, že  $s_{ij} = 1/s_{ji}$  pro všechna  $i$ .
- Saatyho matice je vyplněna takto:
  - Na diagonále jsou hodnoty 1 ( $s_{ii} = 1$ )
  - $s_{ij} \in \langle 0; 9 \rangle$ , pokud  $i$  je preferováno před  $j$ .
  - $s_{ij} = 1/s_{ji}$
- Pro každé  $i$  je spočítána hodnota  $s_i = \prod_{j=1}^k s_{ij}$
- Pro každé  $i$  je spočítána hodnota  $R_i = (s_i)^{1/k} = \sqrt[k]{s_i}$
- Dále je vypočítána  $\sum_{i=1}^k R_i$
- Nakonec je určena váha kritérií podle vztahu  $v_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^k R_i}$

## 4. Vlastní práce

Ve vlastní práci jsou na konkrétním případě řešeny možnosti přímého použití zařízení, která využívají Internet věcí. Případem pro využití Internetu věcí v zemědělství je v této práci zvolena vnitřní (skleníková) hydroponická farma. Pro realistické vytvoření modelu této farmy dle potřeb pro Českou republiku jsou využity dostupné informace o krytých (skleníkových) farmách v České republice.

Rostliny pěstované hydroponicky se na rozdíl od mnoha jiných zemědělských plodin nevysazují do půdy. Místo toho jsou kořeny vloženy do anorganického pěstebního média. Ke kořenům rostliny se pak aplikuje voda bohatá na živiny. K pochopení, jak hydroponicky pěstované rostliny rostou a dospívají, je důležité porozumět účelu, ke kterému půda slouží. Jednou z nejdůležitějších funkcí půdy je její schopnost zadržovat vodu a živiny, následně je postupně dodávat kořenům rostliny. V hydroponii je tato potřeba nahrazena umístěním rostliny do anorganického pěstebního média, jako je vermikulit, perlit, minerální vlna nebo expandovaný jílový substrát. Alternativně lze rostliny umístit i do jednoduché nádoby bez substrátu nebo je nechat plavat přímo na vodě. Požadavky rostlin na živiny jsou následně zařízeny pravidelnou aplikací vody obohacenou na živinách přímo do kořenové zóny rostliny (AgricultureAcademy, 2020).

Existuje velké množství typů hydroponických farem. Hlavním parametrem pro rozdělení hydroponických farem do kategorií je způsob distribuce vody a umístění rostlin:

- Systémy živinového filmu - Rostliny jsou umístěny do šikmých dutých trubek nebo kanálů. Voda s živinami je nepřetržitě čerpána kanály, v kterých jsou umístěny kořenové systémy rostlin. Není potřeba dalších pěstebních médií. Voda je čerpána nejprve do vyšších konců kanálů, ta následně stéká po svahu.
- Systémy hlubinných kultur - Rostliny jsou umístěny v květináčích (deskách) s pěstebními médii, které plavou na hladině vody. Kořeny rostliny pak prorůstají do vody. Čerpadlo okysličuje vodu, aby kořeny zůstaly zdravé, ale kromě toho není potřeba žádná další mechanizace.
- Odkapávací systém - Tato technika využívá odkapávací potrubí a čerpadlo. Obvykle je každé rostlině přidělen kapkovač, který umožňuje jemné doladění koncentrace živin a intenzity zavlažování.

## 4.1 Hydroponická farma

K vytvoření modelu funkční hydroponické farmy je zapotřebí stanovit si dílčí cíle a překážky, které je potřeba splnit. K vytvoření modelu farmy pro účely bakalářské práce byl zvolen typ hydroponické farmy „Systém živinového filmu“. Hlavní výhody hydroponických farem obecně jsou:

- Nezáleží na velikosti, mohou být zřízeny kdekoliv.
- Lze maximalizovat výnos, protože kořeny hydroponicky pěstovaných rostlin jsou udržovány kompaktní.
- Osvobození od omezení špatných půdních podmínek a látek znečišťujících životní prostředí, což umožňuje pěstovat téměř jakoukoli bylinku nebo listovou zeleninu kdekoli.
- Úspora na vodě a živinách. V konvenčním zemědělství se většina vody a živin aplikovaných na rostliny ztrácí drenáží, odtokem a odpařováním.
- Produkce plodin mimo sezónu. Klimatizované systémy umožňují pěstiteli doladit teplotu a osvětlení tak, aby vyhovovaly potřebám jejich rostlin.
- Rostliny rostou rychleji. Dle potřeby je možné měnit podmínky prostředí, rostlinám jsou vždy poskytnuty optimální podmínky pro růst.
- Odstraněním půdy jsou také odstraněny jakékoliv půdní choroby a plevel.

Hlavní výhodou a důvodem pro zvolení typu hydroponické farmy „Systém živinového filmu“ je pořizovací cena a nízká spotřeba. Protože systém recirkuluje vodu, nevyžaduje ke svému fungování velké množství vody nebo živin. Neustálý průtok také ztěžuje hromadění solí na kořenech rostliny. Systémy nutriční filmové techniky také nutně nevyžadují pěstební média, takže lze ušetřit na nákladech na nákup médií a potíží s jejich výměnou. Další výhodou je modulární design, Technologické systémy nutričního filmu jsou ideální pro rozsáhlé a komerční činnosti. Jakmile je jeden kanál nastavený a funkční, je velmi snadné jej rozšířit. Skleník lze naplnit několika kanály podporujícími různé plodiny.

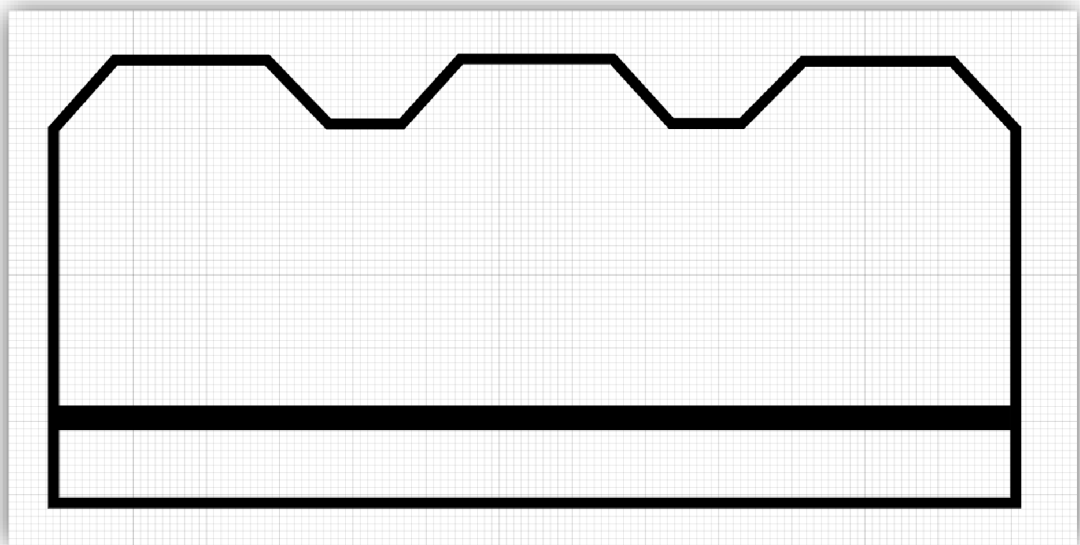
## 4.2 Rozvržení prostoru

Prvním krokem k vytvoření kryté hydroponické farmy je nalezení prostorů pro její vybudování. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole jednou z největších výhod hydroponických farem je odstranění závislosti na kvalitě zeminy a podnebí, díky tomu ji lze postavit téměř kdekoliv. Dalším krokem je zvolení požadované rozlohy a výšky, může se jednat o malý městský skleník například na střeše domu nebo „Mega skleníky“ převážně lokalizovaný na venkově. Největší skleník v Česku byl dostavěn v roce 2017 v polích mezi Hustopečemi a Velkými Němčicemi za 15 měsíců, cena jeho postavení byla 200 milionů korun a jeho rozloha je 4,64 hektarů, ročně se v něm pěstuje přes 1 400 tun rajčat (NWT, 2021). Pro potřeby této práce byla pro co nejvíce rozsáhlou možnost využití (například také na střeše panelového domu) zvolena velikost 100x13m, jedná se o velikost, která vyhovuje největšímu počtu měřených vytipovaných panelových domů s rovnou střechou v Praze.

Lokace	Rozměr	Počet stejných domů
Malešice	110x13m	10
Horní Měcholupy	180x18m	9
Strahov	75x13m	20
Modřany	100x13m	8
Kobylisy	120x13m	16

**Tabulka č. 2 - Rozměry střech vybraných domů v Praze (Vlastní měření)**

Důležitá je také výška skleníku. Hlavním parametrem pro určení výšky skleníku pro hydroponickou farmu jsou pěstované plodiny. Vytvářený model v této práci je koncipován pro co největší možnost využití a rozšíření, cílem je tedy možnost pěstování co největšího počtu plodin. Možné je pěstovat tyto plodiny: saláty, rajčata, papriky, okurky, jahody, řeřichu, celer a některé bylinky, z hlediska výšky možných pěstovaných plodin byla vybrána výška skleníku na 4 metry pěstebního prostoru. Schéma průřezu modelem skleníku je zobrazeno na obrázku níže.



Obrázek č. 6 - Schéma průřezu modelem skleníku (Vlastní zpracování)

### 4.3 Regulované veličiny a způsob regulace

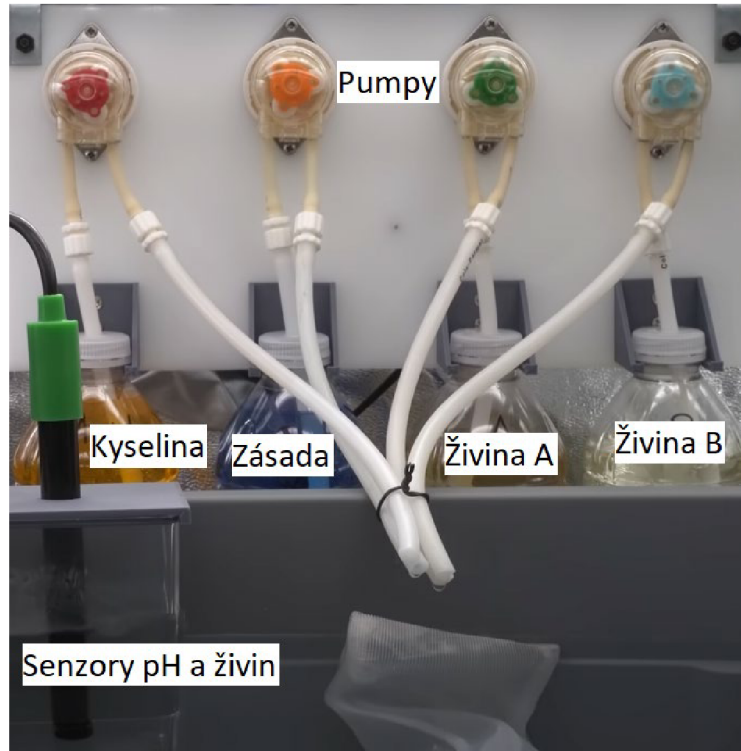
Pro bezproblémový a automatický chod skleníku, s co nejnižším až žádným zásahem lidského faktoru je stěžejní regulovat a kontrolovat hlavně tyto důležité veličiny:

#### **Voda a její chemické složení**

Jednou z nejdůležitějších regulovaných veličin v hydroponické farmě je voda. Vodu s živinami je možno skladovat v nádrži blízko prostoru hydroponické farmy nebo v nádrži přímo pod farmou, což snižuje nároky na prostor a je právě využito ve vytvářeném modelu. U vody je důležité kontrolovat a regulovat její složení hlavně hodnoty pH, živin a případných škodlivých mikrobů.

Zpočátku je důležité mít k dispozici dostatečné množství vody. Ta je v případě zde tvořeného modelu uskladněna v nádrži umístěné přímo pod prostorem samotného skleníku. K regulaci množství uskladněné vody jsou využity senzory výšky hladiny. Při nedostatku vody je k doplnění využita dešťová voda ze střechy skleníku hydroponické farmy nebo je doplněna z vodovodního potrubí. V případě, že hladina vody není vyšší než maximálně nastavená, jsou otevřeny klapky, které umožňují průtok dešťové vody ze střechy do nádrže. Pokud hladina vody dosáhne maximálního nastaveného limitu 100% kapacity nádrže, jsou klapky automaticky zavřeny a přebytečná dešťová voda odtéká pryč. Pokud je hladina vody nižší jak 20% kapacity je do nádrže automaticky čerpána voda z vodovodního potrubí nebo případně studny do té doby, dokud hladina nedosáhne 40% kapacity nádrže. Zbýlých 60%

kapacity nádrže je rezervováno pro případnou dešťovou vodu. K využití vody v hydroponické farmě je zapotřebí sledovat a regulovat její správné složení, hlavně množství živin a pH vody, případně zabránit nežádoucím mikroorganismům. K regulaci je nejdříve nezbytně nutná kalibrace senzorů, je zapotřebí zjistit pH a elektrickou vodivost vody a následně živin, kyseliny a zásady. Při regulaci je zapotřebí prvně dosáhnout požadovaného množství živin a až následně regulovat pH, důvodem pro toto pořadí je, že živiny ovlivňují hodnotu pH. Obecně ideální množství živin pro hydroponickou farmu je rovno elektrické vodivosti 800 microsiemens na centimetr a ideální hodnota pH by měla být v rozmezí 5,5 až 6,5 (Kyle, 2020), avšak tyto hodnoty se mohou lišit v závislosti na pěstované rostlině. Do vody v nádrži jsou postupně pomocí pumpy přidávány živiny, do té doby, dokud senzor nenačte požadovanou hodnotu elektrické vodivosti. Měření a dávkování živin je prováděno v intervalech 5 min, aby došlo k dostatečnému rozptýlení ve vodě a naměření pravdivých hodnot. Po dosažení požadovaného množství živin je stejným způsobem regulováno pH vody, postupně je přidávána zásada nebo kyselina k dosažení požadovaných hodnot. K zneškodnění nežádoucích mikroorganismů je do nádrže periodicky automaticky přidáváno biokontrolní činidlo.



Obrázek č. 7 - Model pro úpravu vody (v menším měřítku) (Kyle, 2020)

Voda obohacená o živiny je čerpána z nádrže přímo do kanálů s plodinami. Pro kontrolu, zda voda protéká kanály a protéká ideální rychlostí jsou v kanálech umístěny senzory průtoku. Pokud je rychlost toku vody nižší nebo vyšší než požadovaná, je výkon čerpadla změněn.

### **Vzduch**

Další důležitá veličina ve skleníkové hydroponické farmě, kterou je potřeba regulovat je vzduch, konkrétně jeho teplota a vlhkost. Jak již bylo zmíněno v představení konceptu hydroponické farmy, jednou z výhod skleníkové hydroponické farmy je možnost produkce plodin mimo sezónu. Klimatizované systémy umožňují pěstiteli doladit teplotu, vlhkost a osvětlení tak, aby vyhovovaly potřebám pěstovaných rostlin. Velký teplotní rozptyl a změny by mohly 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 a vlhkostní regulace s ohledem na pěstované rostliny je tedy nepostradatelnou regulovanou veličinou.

Regulace teploty a vlhkosti je v modelu hydroponické farmy vytvářeném v této práci řešena topením, větráky a mechanickými okny umístěnými na střeše skleníku. K správnému fungování těchto regulátorů je zapotřebí senzorů na měření vnitřní a vnější teploty a vlhkosti. Pokud je teplota v prostoru hydroponické farmy nižší, než nastavený požadovaný teplotní rozsah pro danou pěstovanou rostlinu systém automaticky zapne topení. Pokud je teplota v prostoru naopak vyšší než požadovaná, systém topení vypne a zároveň pokud je vnější teplota nižší než vnitřní, systém automaticky otevře mechanická okna a zapne větráky, aby došlo k vyvětrání teplého vzduchu. Otevření mechanických oken a zapnutí větráků bude také na stejném principu použito na regulaci vlhkosti, zapotřebí je použití vnitřního a vnějšího senzoru vlhkosti.

### **Světlo**

Osvětlení skleníku je obecně jednou z nejdůležitějších věcí a závisí na správné rovnováze světelných vlnových délek a světelné síle. Existuje nepřeberné množství druhů osvětlení pro optimální růst rostlin. V současné době je pravděpodobně nejlepší zajistit osvětlení pomocí technologie nastavitelných LED světel, neboť ty nejlépe stimulují a podporují fotosyntézu a tím pádem i adekvátní růst pěstovaných kultur. Optimálním nastavením vlnových délek pro konkrétní plodinu, je možné dosáhnout nejlepších výsledků. Navíc jsou LED světla dosavadně nejúspěšnější formou. Například saláty potřebují podporovat pouze vegetativní procesy, pro které je určeno hlavně modré světlo, jinými

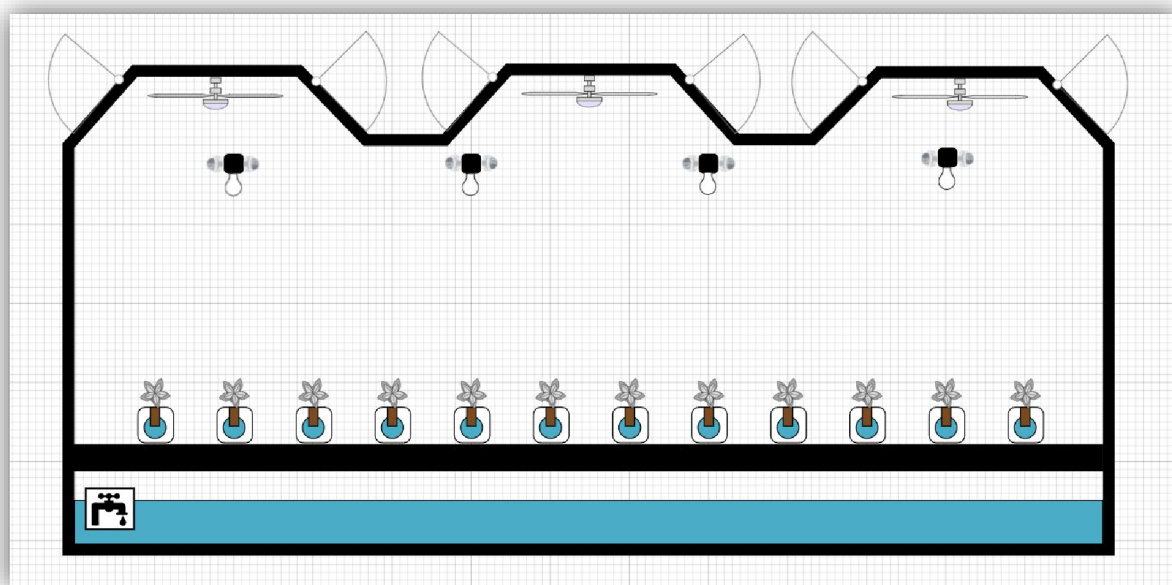
barvami světla, například červenou, oranžovou, zelenou, či žlutou bychom podpořili tvorbu jiných potřebných procesů. Regulace světla vždy závisí na typu pěstované plodiny.

### **Zralost**

Z důvodu co nejvíce automatického chodu skleníkové hydroponické farmy bez lidského zásahu je také zapotřebí sledovat zralost pěstovaných plodin. K sledování zralosti jsou využity kamery, jejichž záznam je následovně zpracováván programem. Program rozpoznává barvu plodin případně velikost pěstovaných plodin, určí, zda jsou již zralé a automaticky upozorní personál, kolik plodin a v jakém sektoru je již zapotřebí sklídit.

### **Škůdci a choroby**

Aby nedošlo k zneškodnění pěstovaných plodin je zapotřebí sledovat a kontrolovat, zda se nepodařilo škůdcům, plísním nebo jiným chorobám vniknout do skleníku. K detekci škůdců jsou využity kamery umístěné na stropu skleníku. Kamery snímají listy a plodiny pěstovaných rostlin. Záznam z kamer je předán do rozpoznávacího softwaru, ten sleduje, zda se ve skleníku neobjevují škůdci, či se na listech a plodech nevyskytuje plíseň nebo jiná choroba. Pokud software škůdce nebo chorobu detekuje, porovnáním charakteristických rysů určí, o jakého škůdce nebo chorobu se jedná a následně v daném sektoru spustí rozprašovače s příslušným pesticidem.



**Obrázek č. 8 - Průřez modelem skleníku s regulátory (Vlastní zpracování)**



#### 4.4 Zvolení vhodných technologií a zařízení

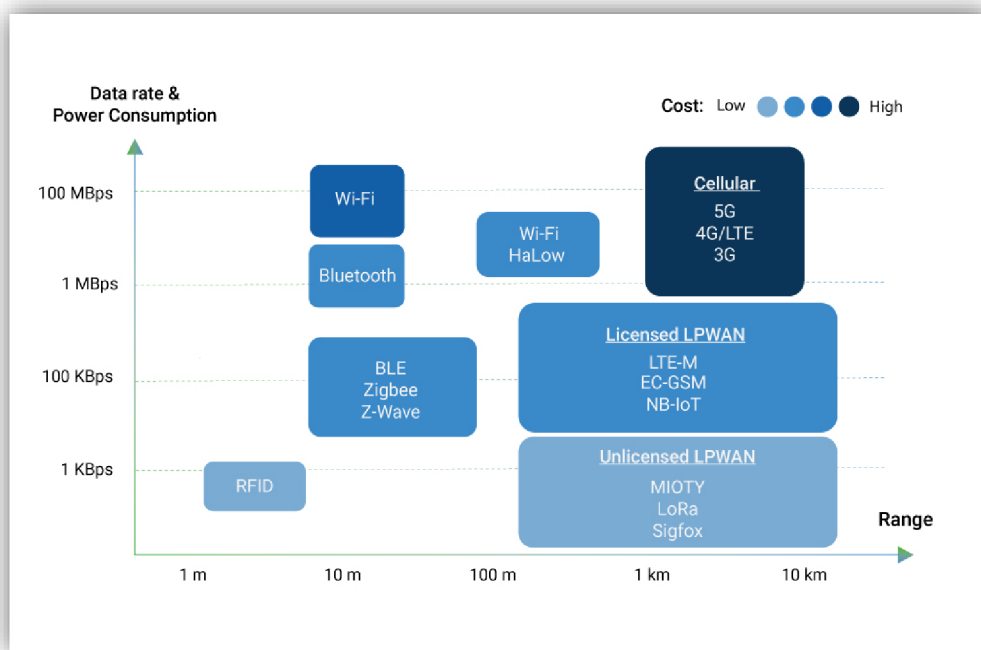
V předchozí kapitole byla představena konstrukce skleníku pro hydroponickou farmu, veličiny, které je zapotřebí kontrolovat a způsob, princip, jak je regulovat. V této části jsou vybrány samotné přístroje a senzory, které slouží k regulaci. Pomocí rozhodovacích metod jsou vybrány zařízení z vybraných běžně dostupných zástupců ty, které nejvíce vyhovují modelované skleníkové hydroponické farmě se zaměřením na cenové kritérium.

##### Komunikační síť

Jak již bylo zmíněno v Teoretické části této práce, pro správné fungování systému Internetu věcí a jeho propojených zařízení, je nezbytně zapotřebí síť, která vše propojuje do jednoho celku. Dostupné komunikační sítě již byly představeny, nyní je potřeba zvolit tu nejvhodnější pro potřeby modelované skleníkové hydroponické farmy. Zmíněné sítě a jejich hlavní kritéria - Maximální dosah signálu, Maximální počet připojených zařízení, Přenosová rychlost, Spotřeba elektrické energie - jsou zobrazeny v tabulce a obrázku níže.

Typ sítě		Max. dosah signálu	Max. počet připojených zařízení	Přenosová rychlost	Spotřeba elektrické energie	Náklady na pořízení
Krátký dosah	NFC	0,004 km	11	424 kb/s	Nízká (1)	Nízká (1)
	Bluetooth	0,15 km	200	1024 kb/s	Střední (2)	Nízká (1)
	Wi-Fi	0,05 km	32	10 240 kb/s	Vysoká (3)	Nízká (1)
	ZigBee	0,1 km	1000	250 kb/s	Střední (2)	Nízká (1)
Dlouhý dosah	Mobilní síť	35 km	1000+	10 240 kb/s	Vysoká (3)	Vysoká (3)
	LoRa	15 km	120	50 kb/s	Nízká (1)	Střední (2)
	Sigfox	50 km	1000+	0,048 kb/s	Nízká (1)	Vysoká (3)
	NB-IoT	35 km	1000+	26 kb/s	Nízká (1)	Vysoká (3)

Tabulka č. 3 - Srovnání sítí (Vlastní zpracování (Schafferová, 2017))



Obrázek č. 9 - Srovnání sítí (Industrytoday, 2018)

Pro zvolení nejvhodnější sítě bude použita vícekriteriální analýza, metoda vážného součtu. V této metodě je nutné určit váhy a povahy kritérií. Z parametrů modelované skleníkové hydroponické farmy je patrné, že není potřeba mít veliký dosah sítě (cca 100 m), ani veliký počet připojených zařízení, avšak kvůli přenosu vysokých, kvalitních dat z kamer je zapotřebí celkem vysoká přenosová rychlost a jak již bylo zmíněno dříve, vytvářený model hydroponické farmy je také zaměřen na nízkou cenu pořízení. Výpočet vhodné sítě pomocí vícekriteriální analýzy, metodou vážného součtu je uveden v tabulce níže.

Typ sítě	Max. dosah signálu	Max. počet připojených zařízení	Přenosová rychlost	Spotřeba elektrické energie	Náklady na pořízení	Výsledná hodnota
Krátký dosah	NFC	0	0,041401757	1	1	0,462420527
	Bluetooth	0,002920234	0,191102123	0,099995781	0,5	0,483956076
	Wi-Fi	0,000920074	0,021233569	1	0	0,703277043
	ZigBee	0,001920154	1	0,024409489	0,5	0,582514862
Dlouhý dosah	Mobilní sítě	0,699975998	1	1	0	0,5199976
	LoRa	0,299943996	0,110212336	0,004878148	1	0,297989694
	Sigfox	1	1	0	1	0,3
	NB-IoT	0,699975998	1	0,002534387	1	0,270757916
Váhy	0,1	0,15	0,3	0,05	0,4	
Povaha	MAX	MAX	MAX	MIN	MIN	
H - Ideální varianta	50 km	1000	10 240 kb/s	Nízká (1)	Nízká (1)	
D - Bazální varianta	0,004 km	11	0,048 kb/s	Vysoká (3)	Vysoká (3)	
H - D	49,996 km	989	10239,952	Střední (2)	Střední (2)	

Tabulka č. 4 - Zvolení vhodné sítě pomocí VAV (Vlastní zpracování)

Výsledkem vícekriteriální analýzy variant - metodou vážného součtu je zvolena kompromisní varianta, v tomto případě se jedná o síť Wi-Fi s hodnotou 0,7. Na druhém místě vyšla síť ZigBee. Pro potřeby modelované hydroponické farmy bude tedy využito připojení pomocí Wi-Fi. Z důvodu kratšího dosahu, než je požadováno, je potřeba umístění více přístupových bodů v prostoru skleníkové hydroponické farmy.

### **Řídící jednotka**

K řízení celého systému Internetu věcí slouží řídicí jednotka. K automatickému ovládání základních procesů (regulace vody, vzduchu, světla) lze využít i málo výkonné počítače, jako jsou již zmíněné Raspberry Pi nebo Arduino, naopak složitější operace, jako je vyhodnocení zralosti a škůdců z obrazu jsou potřeba výkonnější jednotky.

V této práci modelovaném systému skleníkové hydroponické farmy je využito k řízení všech procesů málo výkonná řídicí jednotka s využitím Edge computing nebo Cloud computing pro zpracování náročnějších dat z obrazových záznamů. K srovnání konkrétních platforem pro řízení modelu automatické hydroponické farmy je možné vybrat z mnoha důležitých kritérií. Základní požadavky, pro řídicí jednotku Internetu věcí jsou: zajištění stability, bezproblémová funkčnost a konzistence celého tvořeného systému, tedy jedná se především o výkonnostní parametr. Dalšími kritérii mohou být například: funkce, síťové propojení, konektivita, cena. Pro vytvářený model automatické skleníkové hydroponické farmy bude vybrána řídicí jednotka z výběru mezi nejvíce využívanými řídicími jednotkami pro Internet věcí od společností Arduino a Raspberry Pi, tedy modely Arduino MKR NB 1500 a Raspberry Pi 4 - Model B (Arduino, 2021) (RaspberryPi, 2022). Porovnání hlavních parametrů je znázorněno v tabulce níže.

Oblast	Sledované parametry	Platforma řídicí jednotky	
		Arduino MKR NB 1500	Raspberry Pi 4 - Model B
Výkon	Čip	SAMD21 Cortex - 48 MHz	ARM Cortex-A72 - 1500 MHz
	Operační paměť RAM	256 KB	4 000 000 KB
Funkce	Video-karta	Ne	Ano
	Síťové připojení	LTE	Bluetooth 5.0
			Wi-Fi
			Gigabit Ethernet (1000 Mbit/s)
	Konektory	USB 2.0	2x USB 2.0
		8x digitální vstup/ výstup	2x USB 3.0
		13x PWM	USB-C
		1x UART	2 × microHDMI 2.0
		1x SPI	MIPI DSI konektor
		1x I2C	MIPI CSI konektor
		7x analogový vstup	Čtečka paměťových karet
1x analogový výstup		3,5mm Jack	
	MicroSIM		
Náklady	Cena	1 633 Kč	1 540 Kč

**Tabulka č. 5 - Parametry řídicích jednotek (Vlastní zpracování)**

Již z tabulky hlavních parametrů je patrné, že Arduino je díky konektorům spíše konstruováno pro infrastrukturní řešení Internetu věcí, a Raspberry Pi je velice vhodně vybaveno síťovými prvky pro bezdrátové řešení. Párovým porovnáním těchto dvou zařízení tedy vychází, že pro vytvářený model hydroponické farmy je vhodnější zvolit řídicí jednotku Raspberry Pi 4 - Model B.

### **Řídicí a zobrazovací program**

Společně s řídicí jednotkou je řídicí program pomyslným mozkiem celého systému Internetu věcí. Programu zpracovává veškerá data získána ze senzorů, případně již zpracovaná data z Edge nebo Cloud computing. V teoretické části této práce byly uvedeny nejznámější a nejvyužívanější programy pro ovládání systému Internetu věcí v podnicích s velkým počtem připojených zařízení a přenášených dat. Zde modelovaný systém hydroponické farmy však přenáší data z pouze pár zařízení a systém není nějak komplikovaný, z toho důvodu lze využít veškeré komerční programy, není potřeba sledovat parametry programů a hledat konkrétní potřebné řešení. Z tohoto hlediska lze říci, že komerční programy mají pro využití modelovaného automatického systému skleníkové hydroponické farmy zbytečné funkce a v několika případech jsou i velice drahé. Pro chod

systemu Internetu věci v modelované hydroponické farmě postačí program Raspbian přímo od výrobce zvolené řídicí jednotky a Open-source software, například Mycodo. Mycodo umožňuje přehledné zobrazení získaných dat, jejich zpracování, nastavení požadovaných parametrů a případně vysílá řídicí signály, pokud je třeba hodnoty upravit do požadovaných.



Obrázek č. 10 - Řídicí program Mycodo - Zobrazení dat (Mycodo, 2021)

## 5. Výsledky a diskuse

V praktické části byl úspěšně vyhotoven model automatické skleníkové hydroponické farmy za pomoci znalostí získaných z části teoretické a s využitím zařízení a senzorů Internetu věcí. Dále byl vytvořen návrh na řízení a regulaci sledovaných veličin pomocí senzorů a zařízení IoT. Sledované a regulované veličiny v systému automatické skleníkové hydroponické farmy jsou následující: Voda a její chemické složení, Vzduch – teplota a vlhkost, Světlo, Zralost, Škůdci a choroby. V následující části byla zvolena technologie sítě na přenos dat a propojení zařízení a senzorů Internetu věcí využitých v modelovaném případě. Z provedené vícekritériální analýzy variant – metodou váženého součtu byla zvolena vhodná síť. Váha sledovaných kritérií byla určena v pořadí od nejvyššího následovně: Náklady na pořízení, Přenosová rychlost, Maximální počet připojených zařízení, Dosah signálu, Spotřeba energií. Nejlepší kompromisní variantou byla vypočítána síť Wi-Fi. Tato síť nabízí střední dosah signálu, v závislosti na velikosti obsluhovaného prostoru by k propojením všech zařízení muselo být v některých případech využito více přístupových bodů. Mezi hlavní výhody této sítě patří její náklady na pořízení a přenosová rychlost. Na druhém místě z výpočtu vychází kompromisní varianta síť ZigBee. K řízení celého modelovaného systému byla zvolena párovým porovnáním hlavních parametrů a kritérií pouze slabá řídicí jednotka, a to Raspberry Pi 4 - Model B, která zpracovává získaná data ze senzorů a již předzpracovaná data z kamerového systému. Po zpracování a vyhodnocení získaných a nastavených dat vysílá řídicí signály k dosažení požadovaných hodnot. Jak již bylo zmíněno, z důvodu jednoduchosti a malého rozsahu systému není potřeba výkonná řídicí jednotka, tak také není potřeba komplikovaný řídicí software. K uspokojení potřeb modelovaného systému Internetu věcí není třeba pořizovat drahý software, postačí Open-source software, například Mycodo. V tomto systému lze nastavit a regulovat veškeré sledované a regulované veličiny.

Z hlediska ekonomického a enviromentálního prostředí (změna klimatického podnebí) je možné se rozvíjet směrem k lokálním automatickým hydroponickým farmám, které využívají Internet věcí k jejímu autonomnímu řízení. V dnešní době je na trhu mnoho výrobců, kteří vyrábějí levné a kvalitní senzory, zařízení pro využití v systému Internetu věcí, což umožňuje jeho dostupné pořízení a větší rozšíření.

## 6. Závěr

V úvodu této bakalářské práce byla uvedena definice Internetu věcí, jeho historie a vývoj. Následně bylo představeno precizní / chytré zemědělství, které využívá zařízení a technologie Internetu věcí, a důvod proč je jeho rozvoj důležitý pro budoucnost. Za hlavní cíl teoretické části práce bylo zvoleno představení a zhodnocení dostupných technologií, zařízení a senzorů Internetu věcí. V této části byla představena struktura modelu Internetu věcí. Byly popsány jednotlivé vrstvy, tedy: Vrstva věcí a zařízení, Komunikační vrstva, Aplikační vrstva. V první vrstvě (Věcí a zařízení) byla popsána řídicí jednotka, veškeré dostupné druhy senzorů a také stroje, drony a roboti využitelní v zemědělství. V druhé vrstvě (Komunikační) se podařilo detailně rozřadit typové skupiny komunikačních sítí a detailně uvést jejich zástupce. Také byla uvedena upřednostňovaná a často využívaná frekvence pro komunikační síť v systému Internetu věcí. V třetí vrstvě (Aplikační) byl definován Edge a Cloud computing a důvody jeho využití, také byl uveden způsob zpracování dat, možnost jejich zobrazení. V této části byl také představen řídicí software pro systém Internetu věcí a jeho nejvyužívanější zástupci. Metody sloužící pro zvolení vhodných zařízení a technologií byly uvedeny v závěru teoretického východiska práce.

V praktické části jsou na konkrétním případu ze zemědělského sektoru využity informace a poznatky získané v teoretické části. Za konkrétní případ byla zvolena krytá (skleníková) hydroponická farma, která využívá systém Internetu věcí k jejímu co nejvíce autonomnímu řízení. Hydroponická farma byla zvolena z důvodu odbourání co největšího počtu finančních a environmentálních překážek, kterým v dnešní době svět čelí a v budoucnu dále čelit bude. Jsou představeny dílčí sledované veličiny, které je zapotřebí regulovat a také jakým způsobem a s jakými zařízeními a senzory je možné tyto veličiny regulovat. Pro modelovaný systém je následně pomocí matematické metody zvolena vhodná komunikační síť a jsou uvedeny její méně vhodné alternativy. U výběru řídicího softwaru nebylo vhodné zvolit žádný z uvedených populárních softwarů v teoretické části z důvodu jejich vysoké pořizovací ceně a komplexnosti / rozsahu systému pro které jsou budovány. Pro tvořený model postačí obyčejný Open-source software, který lze nastavit podle požadavků a je možné také nastavit zobrazení výstupů podle potřeb uživatele.

Internet věcí má vysoký ekonomický potenciál a je také velice důležitý pro rozvoj nejen zemědělství, ale průmyslu celkově. Jeho využití přispívá nejen k pohodlnějšímu životu, ale jeho zavedení také výrazně snižuje náklady.

## 7. Seznam použitých zdrojů

- AgricultureAcademy. 2020.** What Is Hydroponics And How Does It Work? *Agriculture Academy*. [Online] 2020. [Citace: 23.. 12. 2021.] <https://ag-academy.newzenler.com/>.
- AlexSoft. 2020.** Internet of Things (IoT) Architecture: Key Layers and Components. *Alexsoft.com*. [Online] 12. 08. 2020. [Citace: 25. 08. 2021.] <https://www.altexsoft.com/blog/iot-architecture-layers-components/>.
- Alza. 2019.** Bluetooth (INFORMACE). *Alza.cz*. [Online] 10. 03. 2019. [Citace: 25. 08. 2021.] <https://www.alza.cz/slovník/bluetooth-art12370.htm>.
- Amazon. 2021.** AWS IoT Core. *aws.amazon.com*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://aws.amazon.com/iot-core/>.
- Arduino. 2021.** Arduino Official Store. *Arduino.cc*. [Online] 2021. [Citace: 25. 01. 2022.] <https://store.arduino.cc/>.
- Ashton, Kevin. 2009.** RFID Journal. *That 'Internet of Things' Thing*. [Online] 22. 06. 2009. [Citace: 08. 08. 2021.] <https://www.rfidjournal.com/that-internet-of-things-thing>.
- AVSystem. 2020.** IoT Connectivity. *avsystem.com*. [Online] 13. 08. 2020. [Citace: 20. 08. 2021.] <https://www.avsystem.com/blog/iot-connectivity/>.
- Blackman, James. 2018.** Europe seeks to hamonise 900MHz band for next-gen IoT and RFID devices. *Enterprise IoT Insights*. [Online] 15. 10. 2018. [Citace: 12. 09. 2021.] <https://enterpriseiotinsights.com/20181015/channels/news/europe-seeks-to-hamonise-900mhz>.
- Castrignano, A., Buttafuoco, G. a Khosla, R. 2020.** *Agricultural Internet of Things and Decision Support for Precision Smart Farming*. Mumbai : Academic Press, 2020. ISBN: 978-0128183731.
- Cisco. 2021.** Internet of Things (IoT). *Cisco Solutions*. [Online] 2021. [Citace: 18. 08. 2021.] <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>.
- , 2021. What Is a LAN? *Cisco.com*. [Online] 2021. [Citace: 25. 08. 2021.] <https://www.cisco.com/c/en/us/products/switches/what-is-a-lan-local-area-network.html>.
- Cropin. 2021.** *IoT Application in Agriculture for Smart Farming*. [Online] 2021. <https://www.cropin.com/iot-internet-of-things-applications-agriculture/>.
- DIYzone. 2021.** 16pcs/lot Raspberry Pi 3 B+ Sensor Module Package 16 kinds of Sensor 16 in 1 Sensor Kits for UNO R3 with Retail Box. *AliExpress*. [Online] 2021. [Citace: 08. 09. 2021.] <https://www.aliexpress.com/item/32818638791.html>.
- Gillis, Alexander S. 2020.** TechTarget. *What is IoT (Internet of Things) and How Does it Work?* [Online] 02. 2020. [Citace: 11. 08. 2021.] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>.
- Google. 2021.** Google Cloud IoT solutions. *cloud.google.com*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://cloud.google.com/solutions/iot>.
- Hassan, Qusay F. 2018.** *Internet of Things A to Z: technologies and applications*. Hoboken, New Jersey : John Wiley, 2018. ISBN: 11-194-5674-6.
- Chalimov, Alexey. 2020.** Eastern Peak. *IoT in Agriculture: 5 Technology Use Cases for Smart Farming*. [Online] 07. 07. 2020. <https://easternpeak.com/blog/iot-in-agriculture-technology-use-cases-for-smart-farming-and-challenges-to-consider/>.
- Chng, Clarence a Wei-Meng, Lee. 2021.** Introduction to IoT Using the Raspberry Pi. *Code Magazine*. [Online] 14. 04. 2021. [Citace: 20. 08. 2021.] <https://www.codemag.com/article/1607071/Introduction-to-IoT-Using-the-Raspberry-Pi>.
- IBM. 2021.** IBM Watson Iot Platform. *IBM Watson*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://internetofthings.ibmcloud.com/>.



**Immax. 2019.** V čem tkví krása technologie ZigBee? *Immax.cz*. [Online] 03. 10. 2019. [Citace: 2021. 08. 25.] <https://www.immax.cz/clanky/detail/v-cem-tkvi-krasa-technologie-zigbee.htm>.

**Industrytoday. 2018.** Best Uses of Wireless IoT Communication Technology. *Industrytoday.com*. [Online] 10. 12. 2018. [Citace: 20. 08. 2021.] <https://industrytoday.com/best-uses-of-wireless-iot-communication-technology/>.

**i-Scoop. 2021.** NB-IoT explained: a complete guide to Narrowband-IoT. *i-scoop.eu*. [Online] 2021. [Citace: 11. 09. 2021.] <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/lpwan/nb-iot-narrowband-iot/>.

**Kyle, Gabriel. 2020.** Automated Hydroponic System. *kylegabriel.com*. [Online] 2020. [Citace: 21. 01. 2022.] <https://kylegabriel.com/projects/2020/06/automated-hydroponic-system-build.html>.

**LoRa-Alliance. 2021.** What is LoRaWAN®. *LoRa Alliance*. [Online] 2021. [Citace: 10. 09. 2021.] <https://loro-alliance.org/about-lorawan/>.

**Meikle, G. a Bunz, M. 2017.** *Internet of Things*. Hoboken : Wiley-Blackwell, 2017. ISBN: 978-1-509-51746-6.

**Microsoft. 2021.** FarmBeats: AI, Edge & IoT for Agriculture. *Microsoft Research*. [Online] 2021. [Citace: 20. 08. 2021.] <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/farmbeats-iot-agriculture/>.

**Milne, Alex. 2017.** Let's Talk About 900. *RF Venue*. [Online] 2017. [Citace: 13. 09. 2021.] <https://www.rfvenue.com/blog/2014/12/14/lets-talk-about-900>.

**Mitsubayashi, Kohji, Niwa, Osamu a Ueno, Yuko. 2019.** *Chemical, Gas, and Biosensors for Internet of Things and Related Applications*. Amsterdam : Elsevier, 2019. ISBN: 978-0128154090.

**Mycodo. 2021.** Mycodo. *GitHub*. [Online] 3. 09. 2021. [Citace: 10. 02. 2022.] <https://kizniche.github.io/Mycodo/>.

**NewRelic. 2021.** New Relic One. *newrelic.com*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://newrelic.com/platform>.

**NFCforum. 2021.** About the technology. *nfc-forum.org*. [Online] 2021. [Citace: 25. 08. 2021.] <https://nfc-forum.org/what-is-nfc/about-the-technology/>.

**NWT. 2021.** Divize Agro. *agro.nwt.cz*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://agro.nwt.cz/realizovane-projekty/>.

**Oracle. 2021.** IoT Intelligent Applications. *oracle.com*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://www.oracle.com/cz/internet-of-things/>.

**PEGA. 2021.** Only Pega 7 Lets You Build For Change. *pega.com*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://www.pega.com/insights/resources/only-pega-7-lets-you-build-change>.

**Perry, Lea. 2018.** *Internet of Things for Architects: Architecting IoT solutions by implementing sensors, communication infrastructure, edge computing, analytics, and security*. Birmingham : Packt Publishing Ltd, 2018. ISBN: 978-1788470599.

**Push, Amanda. 2020.** Cellular Frequency Bands. *Allconnect*. [Online] 31. 07. 2020. [Citace: 09. 09. 2021.] <https://www.allconnect.com/blog/cellular-frequency-bands>.

**RaspberryPi. 2022.** Raspberry Pi. *Raspberry Pi*. [Online] 2022. [Citace: 25. 01. 2022.] <https://www.raspberrypi.com/>.

**RockwellAutomation. 2021.** InnovationSuite Analytics & IIOT Software. *rockwellautomation.com*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/factorytalk/innovationsuite.html>.

- SAP. 2021.** SAP Business Software. *sap.com*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://www.sap.com/cz/index.html>.
- Sekničková, Jana. 2021.** EKO422-Vahy. *jana.seknicka.eu*. [Online] 2021. [Citace: 28. 11. 2021.] <http://jana.seknicka.eu>.
- Shannon, Kent D., Clay, David E. a Kitchen, Newell R. 2020.** *Precision Agriculture Basics*. USA : American Society of Agronomy, 2020. ISBN: 978-0891183662.
- Schafferová, Magdalena. 2017.** Jak se vyznat v záplavě sítí pro internet věci. *ZooCo.io*. [Online] 20. 10. 2017. [Citace: 20. 1. 2022.] <https://www.zooco.io/blog/jak-se-vyznat-v-zaplave-siti-pro-internet-veci/>.
- Sigfox. 2021.** Technology. *Sigfox*. [Online] 2021. [Citace: 10. 09. 2021.] [https://www.sigfox.com/en/what-sigfox/technology#id\\_technology](https://www.sigfox.com/en/what-sigfox/technology#id_technology).
- Simplilearn. 2021.** Introduction to IoT. *Simplilearn*. [Online] 2021. [Citace: 18. 08. 2021.] <https://www.simplilearn.com/learn-iot-basics-skillup>.
- Singh, R. 2018.** *Internet of Things (IOT) Enabled Automation in Agriculture*. Delhi : New India Publishing Agency- Nipa, 2018. ISBN: 978-9387973053.
- SkyfiLabs. 2018.** What is Arduino in IoT? *Skyfilabs.com*. [Online] 2018. [Citace: 20. 08. 2021.] <https://www.skyfilabs.com/resources/what-is-arduino-in-iot>.
- Šubrt, T. a kolektiv. 2019.** *Ekonomicko-matematické metody*. Praha : Čeněk Aleš, 2019. ISBN: 978-80-7380-762-7.
- Thomasnet.com. 2021.** Different Types of Sensors and their Uses (i.e. Electrical Sensors). *Thomas Publishing Company*. [Online] 2021. [Citace: 23. 08. 2021.] <https://www.thomasnet.com/articles/instruments-controls/sensors/>.
- Turner, Ryan. 2019.** *Arduino Programming: The Ultimate Beginner's Guide to Learn Arduino Programming Step by Step*. Tennessee : Lightning Source Inc, 2019. ISBN: 9781647710002.
- UN. 2019.** United Nations. *Growing at a slower pace, world population is expected to reach 9.7 billion in 2050 and could peak at nearly 11 billion around 2100*. [Online] 17. 07. 2019. [Citace: 13. 08. 2021.] <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/world-population-prospects-2019.html>.
- Vailshery, Lionel Sujay. 2021.** Statista. *Global IoT and non-IoT connections 2010-2025*. [Online] 08. 03. 2021. [Citace: 03. 08. 2021.] <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>.
- Wolfram. 2021.** WolframComputation Meets Knowledge. *wolfram.com*. [Online] 2021. [Citace: 11. 10. 2021.] <https://www.wolfram.com/>.