

EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA HOSPODÁRSKEJ INFORMATIKY

Evidenčné číslo: 103004/B/2022/421000283552

IOT ZARIADENIE PRE PESTOVATEĽOV

Bakalárska práca

2022

Aleš Sýkora

EKONOMICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
FAKULTA HOSPODÁRSKEJ INFORMATIKY

IoT zariadenie pre pestovateľov
Bakalárska práca

Študijný program: Hospodárska informatika
Študijný odbor: Informatika
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky
Vedúci záverečnej práce: Ing. Peter Procházka

Bratislava 2022

Aleš Sýkora

Čestné vyhlásenie

Vyhlasujem, že som celú bakalársku prácu vypracoval samostatne s použitím uvedenej odbornej literatúry.

Bratislava, 12.5.2022

.....

Aleš Sýkora

Pod'akovanie

Touto cestou vyslovujem pod'akovanie môjmu školiteľovi Ing. Petrovi Prochádzkovi za pomoc, odborné vedenie, konzultácie, cenné rady, a pripomienky pri vypracovaní mojej bakalárskej práce.

Abstrakt

SÝKORA, Aleš: *IoT zariadenie pre pestovateľov*. – Ekonomická univerzita v Bratislave. Fakulta hospodárskej informatiky; Katedra aplikovanej informatiky. – Vedúci záverečnej práce: Ing. Peter Procházka. Bratislava: FHI, 2022, 44 str.

Cieľom záverečnej práce je navrhnúť a vytvoriť IoT zariadenie, ktoré dokáže zautomatizovať určité pestovateľské procesy pomocou Arduina. Súčasťou práce je poukázanie na výhody zariadenia a porovnanie s možnými alternatívami. Práca je rozdelená do piatich kapitol, obsahuje päť obrázkov, štyri tabuľky a dva grafy. Prvá kapitola obsahuje charakteristiku IoT zariadení. Druhá kapitola sa zameriava na definíciu hydroponického pestovania. Tretia kapitola obsahuje cieľ práce a čiastkové ciele. Štvrtá kapitola sa zaoberá metodikou práce a metódami porovnávania alternatív. Posledná kapitola sa zaoberá tvorbou reprezentatívneho hydroponického IoT systému. Výsledkom práce je IoT zariadenie, ktoré automatizuje určité procesy v pestovateľskom reťazci.

Kľúčové slová: IoT, Arduino, mikrokontroler, hydroponia, pestovanie, Cloud

Abstrakt

SÝKORA, Aleš: *IoT equipment for growers*. – University of Economics in Bratislava. Faculty of Economic Informatics; Department of Applied Informatics. – Leader of the final thesis: Ing. Peter Procházka. Bratislava: FHI EU, 2022, 44 p.

The aim of the final work is to design and create an IoT device that can automate certain cultivation processes using Arduino. Part of the work is to point out the benefits of the device and compare it with possible alternatives. The work is divided into five chapters, contains five pictures, four tables and two graphs. The first chapter contains characteristics of IoT devices. The second chapter focuses on defining the hydroponic growing. The third chapter contains the main and partial goals. The fourth chapter deals with the methodology of work and methods with regards to comparing alternatives. The last chapter deals with the creation of the representative hydroponic IoT system. The result of the work is an IoT device that automates certain processes in the growing chain.

Key words: IoT, Arduino, microcontroller, hydroponic, growing, Cloud

Obsah

Úvod	11
1 Predstavenie IoT zariadení	12
1.1 IoT a jeho vývoj	12
1.2 Charakteristika IoT	14
1.3 Štandardizácia	14
1.4 Reálna aplikácia IoT zariadení	16
1.4.1 Zdravotníctvo	16
1.4.2 Inteligentné poľnohospodárstvo	17
1.4.3 Inteligentné mestá	17
1.4.4 Ochrana osobných údajov	18
1.5 Arduino	19
1.5.1 Hardvér	19
1.5.2 Softvér	21
2 Hydroponia	22
2.1 Charakteristika hydroponie	22
2.2 História hydroponie	23
3 Cieľ práce	24
4 Metodika práce a metóda porovnávania alternatív	25
4.1 Metodika práce	25
4.1.1 Výber vhodného mikrokontroléra	25
4.1.2 Prepojenie jednotlivých súčiastok	26
4.1.3 Programovanie funkcionality	26
4.1.4 Výber aplikácie pre zobrazovanie výstupných údajov	26
4.1.5 Prepojenie dát s vizualizačným programom.	26
4.2 Metóda porovnávania alternatív	26
4.2.1 Výber reprezentatívnych alternatív	27
4.2.2 Určenie skúmaných funkcionalít a ich váhy	27
4.2.3 Ohodnotenie skúmaných subjektov	27
4.2.4 Konklúzia	27
5 Výsledky práce	28
5.1 Použitá logická jednotka	28
5.2 Senzory	30
5.2.1 Senzor vody	30

5.2.2	Senzor teploty a vlhkosti	30
5.2.3	Alternatívne senzory.....	31
5.3	Mechanické súčiastky a osvetlenie.....	31
5.3.1	Relé.....	32
5.3.2	Ventilátor.....	32
5.3.3	Vodná pumpa	32
5.3.4	LED osvetlenie	33
5.4	Cloudová platforma.....	34
5.4.1	Charakteristika cloudu.....	34
5.4.2	Arduino Cloud.....	35
5.4.3	Webový editor	36
5.4.4	Vizualizačný nástroj	37
5.5	Porovnávanie alternatív	38
	Záver.....	42
	Zoznam použitej literatúry	43

Zoznam obrázkov

Obrázok 1 Architektúra logickej jednotky Arduino (Monk, 2016).....	21
Obrázok 2 Zapojenie súčiastok pomocou skúšobného kontaktného poľa (Circuito.io, 2022)	29
Obrázok 3 Kontextové menu Arduino Cloud [vlastné spracovanie]	36
Obrázok 4 Webový editor kódu [vlastné spracovanie]	37
Obrázok 5 Vizualizácia dát pre IoT [vlastné spracovanie]	38

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1 Fázy vývoja internetu [vlastné spracovanie]	13
Tabuľka 2 Generácie priemyselných revolúcií [vlastné spracovanie]	14
Tabuľka 3 Pridelené váhy jednotlivých parametrov[vlastné spracovanie]	39
Tabuľka 4 Vybrané parametre pre jednotlivé alternatívy [vlastné spracovanie]	39

Zoznam grafov

Graf 1 Dopad rozšírenia inteligentného pripojenia v spoločnosti (Khan, 2019).....	13
Graf 2 Bodové ohodnotenie jednotlivých IoT alternatív [vlastné spracovanie]	40

Zoznam skratiek a značiek

IoT – *Internet of Things* / Internet vecí

PCB – *Printed Circuit Board* / Doska plošných spojov

IKT – *Information and Communication Technology* / Informačné a komunikačné technológie

RFID – *Radio Frequency IDentification* / Rádiofrekvenčná identifikácia

M2M – *Machine to Machine* / Komunikácia stroj-stroj

ETSI – *European Telecommunications Standards Institute* / Európsky inštitút pre telekomunikačné normy

VPN – *Virtual Private Network* / Virtuálna súkromná sieť

IEEE – *Institute of Electrical and Electronics Engineers* / Inštitút elektrických a elektrotechnických inžinierov

USB – *Universal Serial Bus* / Univerzálna sériová zbernica

GDPR – *General Data Protection Regulation* / Všeobecné nariadenie o ochrane osobných údajov

RAM – *Random Access Memory* / Pamäť s priamym prístupom

EEPROM – *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory* / Elektronicky zmazateľná programovateľná pamäť

Úvod

V tejto bakalárskej práci si predstavíme stále pomerne mladú technológiu hydroponického pestovania pomocou IoT zariadenia. Pestovanie rastlín vo vodnom roztoku a za pomoci kontrolovaného prostredia je v dnešnej dobe pomerne známy koncept, no využitie internetu vecí na zefektívnenie a previazanie procesov je stále v rannom štádiu. Všetko nasvedčuje tomu, že v nasledujúcich rokoch sa tento trend bude ďalej rozvíjať. V dnešnej dobe sa s touto technológiou už dokážeme stretnúť aj v bežnom živote. Existuje pomerne rozsiahli počet súkromných pestovateľov, ktorý ponúkajú takto dopestované plodiny na trhu pre širokú verejnosť. No IoT hydroponické pestovanie dokáže ponúknuť oveľa viac, než sa môže na prvý pohľad zdať.

Mnohé väčšie podniky sa zameriavajú na pestovanie širokej škály rôznych rastlín, za pomoci drahých komerčných systémov internetu vecí. Situácia je úplne odlišná pri živnostníkoch a malých firmách. Takéto využitie je primárne z finančného hľadiska príliš nákladné. Preto sa v tejto bakalárskej práci zamierame na vytvorenie demonštratívneho IoT systému, ktorý by poskytoval aj malým firmám dostatočnú funkčnosť, za relatívne malé vstupné náklady.

V prvej kapitole si predstavíme samotný pojem internet vecí, jeho štandardizáciu, stručne si predstavíme reálnu aplikáciu vo svete, ochranu takto zdieľaných údajov a základnú charakteristiku mikrokontrolera Arduino. Ďalej sa pozrieme na definíciu hydroponického pestovania a stručnú históriu tejto metódy. V štvrtej kapitole si popíšeme cieľ a metodiku práce. V piatej, záverečnej kapitole, sa pokúsime aplikovať poznatky získané z predošlých kapitol na konkrétnom modeli a pokúsime sa porovnať rôzne alternatívy dostupné na trhu.

1 Predstavenie IoT zariadení

V tejto časti práce si predstavíme rôzne definície pojmu *internet vecí*. Určíme si samotnú podstatu a charakteristiku tohto pojmu. Predstavíme si reálne použitia IoT v praxi. Popíšeme si možnosti ochrany osobných údajov. Taktiež charakterizujeme mikrokontroler Arduino, ktorý bol použitý v tejto bakalárskej práci.

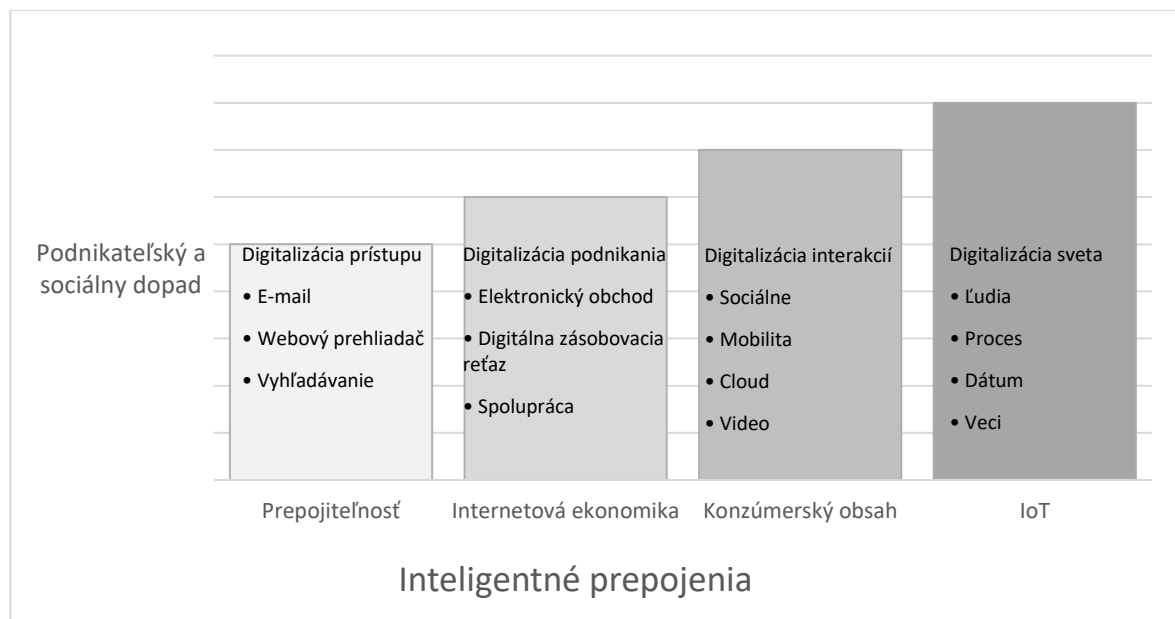
1.1 IoT a jeho vývoj

Internet vecí (IoT), prináša masívne evolučné zmeny v informačných a komunikačných technológiách (IKT) integráciou komunikácie bezdrôtového pripojenia, senzorov a techniky zberu a spracovania údajov. IoT definuje nové dimenzie IKT takmer vo všetkých segmentoch spoločnosti a priemyslu. (Khan, 2019)

Základným predpokladom a cieľom IoT je „spájať nespojiteľné“. To znamená, že objekty ktoré nie sú momentálne pripojené k sieti budú po prepojení schopné medzi sebou komunikovať. IoT sa dá považovať za technologický prechod, v ktorom nám zariadenia umožňujú vnímať a ovládať fyzický svet pomocou prepojených inteligentných objektov. To v konečnom dôsledku umožňuje lepšiu účinnosť, presnosť a automatizáciu. IoT je potrebné vnímať ako spojnicu rôznych konceptov, protokolov a technológií, ktoré sú niekedy do istej miery závislé od konkrétneho odvetvia. Široký rad IT prvkov je navrhnutý tak, aby vytváral množstvo možností v oblastiach produktivity a automatizácie a zároveň prinášal nové výzvy, napr. škálovanie obrovského množstva zariadení a množstva údajov („Big Data“), ktoré bude potrebné spracovať. (Khan, 2019)

Koncept internetu vecí prvýkrát predstavil Kevin Ashton z Auto-ID Labs v roku 1999. Prvotnou myšlienkou bolo vyvinúť sieť systémov využívajúce zariadenia RFID (rádiofrekvenčná identifikácia). (Khan, 2019)

Vývoj internetu možno rozdeliť do štyroch kategórií. Každá z týchto fáz mala hlboký vplyv na našu spoločnosť a náš život. Tieto štyri kategórie sú ďalej definované v tabuľke.



Graf 1 Dopad rozšírenia inteligentného pripojenia v spoločnosti (Khan, 2019)

Ak sa zameriava IoT na komunikáciu pomocou internetu, je potrebné spomenúť aj evolučné fázy výmeny informácií.

Internetová fáza	
Konektivita (Digitalizácia prístupu)	Táto fáza priniesla e-mail, webové služby a ľahko dostupné vyhľadávanie informácií.
Sieťová ekonomika (Digitalizácia podnikania)	Táto fáza umožnila elektronický obchod a vylepšenia dodávateľského reťazca spolu so zapojením do riadenia efektívnosti obchodných procesov.
Pohlčujúce zážitky (Digitalizácia interakcií)	Táto fáza rozšírila možnosti internetu o video a sociálne médiá, pričom sa berie zreteľ na prepojenie prostredníctvom mobility. Aplikácií je stále viac a presunuli sa do cloudu.
Inteligentné pripojenia	Táto fáza pridáva konektivitu k objektom a strojom sveta okolo nás. To umožňuje nové služby a zážitky. Spája nespojené.

Tabuľka 1 Fázy vývoja internetu [vlastné spracovanie]

Koncept IoT sa považuje za tak dôležitý z hľadiska budúceho rozvoja, že je často označovaný za súčasť priemyslu 4.0.

Priemysel 1.0	Mechanická pomoc (koniec 18. st.) Stroje poháňané vodou a parou sú súčasťou výrobných zariadení.
Priemysel 2.0	Hromadná výroba (začiatok 20. st.) Deľba práce a elektriny vedú k masovej výrobe.
Priemysel 3.0	Elektronika a riadenie (začiatok 70. rokov) Výrobu ďalej automatizuje elektronika a IT .
Priemysel 4.0	Integrácia IoT (dnes) Moderné senzory sú integrované

Tabuľka 2 Generácie priemyselných revolúcií [vlastné spracovanie]

1.2 Charakteristika IoT

Internet vecí (IoT) je distribuovaný IKT systém, ktorý integruje senzory, výpočtové zariadenia, algoritmy a fyzické objekty známe ako „*Things*“, ktoré sú jednoznačne identifikovateľné. Tieto objekty majú schopnosti zhromažďovať a prenášať údaje cez sieť bez akéhokoľvek ľudského zásahu, čím ponúkajú autonómne spracovanie údajov. (Khan, 2019)

Komunikačná sieť je jedným z kľúčových prvkov systému IoT, ktorý umožňuje tok informácií medzi veľkým množstvom zariadení, ovládačov a dátových úložísk. Mnoho zariadení internetu vecí zväčša vyžaduje jednosmerný prenos údajov, zatiaľ čo niektoré ako napríklad motorické senzory vyžadujú obojsmerný prenos údajov. Systém internetu vecí môže byť nasadený na podporu mnohých aplikácií. Počnúc od jednoduchých úloh domácej automatizácie až po úlohy zachraňujúce život. Napríklad implantované senzory v ľudskom tele by sa mohli použiť na monitorovanie funkcie orgánov. (Khan, 2019)

Systémy internetu vecí umožňujú zbierať obrovské množstvá dát, ktoré generujú tzv. Big Data. Sú úzko prepojené, keďže prostredie IoT funguje na princípe zaznamenávania údajov, následného ukladania, výpočtu a opätovného prístupu k nim. Medzi sedem základných výziev patrí dátový objem, rýchlosť prenosu, rozmanitosť, variabilita, zraniteľnosť a vizualizácia. (Pethuru, 2020)

1.3 Štandardizácia

V snahe štandardizovať rýchlo rastúcu oblasť komunikácie stroj-stroj (M2M), Európsky inštitút pre telekomunikačné normy (ETSI) vytvoril Technický výbor M2M v roku 2008. Cieľom tohto výboru bolo vytvoriť spoločnú architektúru, ktorá by pomohla urýchliť prijatie aplikácií a zariadení M2M. Postupom času sa pôvodný koncept rozšíril o internet vecí.

Uvedomujúc si túto potrebu štandardizácie, v roku 2012 ETSI a 13 ďalších zakladajúcich členov spustili oneM2M ako globálnu iniciatívu, navrhnutú na podporu efektívnych komunikačných systémov M2M a IT. (David, 2017)

Cieľom oneM2M je vytvoriť spoločnú vrstvu služieb, do ktorej sa dá ľahko vložiť zariadenie umožňujúce komunikáciu s aplikačnými servermi. oneM2M's framework sa zameriava na služby, aplikácie a platformy IoT. Tie obsahujú inteligentné aplikácie, siete, automatizácie inteligentných miest, elektronické zdravotníctvo a pripojené vozidlá. Jednou z najväčších výziev pri navrhovaní IT architektúry je riešenie heterogenity zariadení, softvéru a prístupových metód. oneM2M slúži na „end-to-end“ IoT komunikáciu bez ohľadu na rôznorodosť pripojených systémov. (David, 2017)

oneM2M rozdeľuje funkcie IoT do troch hlavných domén: aplikačná vrstva, vrstva služieb a sieťová vrstva. Tie sú popísané nižšie: (David, 2017)

- Aplikačná vrstva: zahŕňa protokoly aplikačnej vrstvy a štandardizácie Northbound API definícii pre interakciu s business intelligence (BI) systémami. Aplikácie majú tendenciu byť špecifické pre konkrétny priemysel, pretože používajú špecifické dátové modely.
- Vrstva služieb: táto vrstva je zobrazená ako horizontálny rámec cez vertikálne priemyselné aplikácie. Zahŕňa horizontálne moduly fyzickej siete, na ktorej bežia aplikácie IoT, základné protokoly správy a hardvéru. Príklady zahŕňajú siete MPLS, VPN a pod.
- Sieťová vrstva: kľúčová pre zariadenia IoT a koncové body. Zahŕňa samotné zariadenia a komunikačnú sieť, ktorá ich spája. Medzi túto infraštruktúru patria bezdrôtové mesh technológie, napr ako IEEE 802.15.4 a bezdrôtové systémy typu point-to-multipoint, ako napríklad IEEE 801,11ah. Zahnuté sú aj káblové pripojenia zariadení, ako napríklad IEEE 1901 komunikácie pomocou elektrického vedenia.

1.4 Reálna aplikácia IoT zariadení

IoT systémy môžu byť zavedené v mnohých doménach, ako napríklad sociálna, občianska, zdravotnícka, školská, priemyselná, obranná a pod. Požiadavky a uplatnenie systémov internetu vecí sa budú v rôznych doménach líšiť podľa konkrétnych potrieb. (Khan, 2019)

V nasledujúcich podkapitolách sme sa bližšie pozreli na tri konkrétne odvetvia, v ktorých sa IoT snaží najviac presadiť.

1.4.1 Zdravotníctvo

Trhový podiel sa pre rok 2022 odhaduje na viac ako 500 miliárd USD. Tento odhad zahŕňa lekárske prístroje, softvér, systémy a služby. Taktiež tu môžeme zaradiť nositeľné aj implantovateľné zariadenia. Jedným z rastúcich sektorov v rámci medicínskeho IoT sú systémy na asistenciu a monitorovanie starších pacientov, ktoré môžu výrazne zlepšiť kvalitu života a zároveň znížiť celkové náklady na starostlivosť. (Khan, 2019)

Zdravotná starostlivosť založená na IoT zahŕňa kognitívne výpočty, hlasové vyhľadávanie, rozpoznávanie hlasu, blockchain, 3D tlač, 3D ultrazvuk a biometriu. Medzi najvýznamnejšie patria: (Grupta, 2020)

- Bezdrôtová a mobilná technológia - tá by umožnila lekársku prax odkiaľkoľvek, kedykoľvek a z akéhokoľvek zariadenia. Dotýka sa prakticky každého aspektu nášho života.
- Nositeľná technológia – umožnila by nosenie ľahkých senzorov na bežnom oblečení. Špeciálne aplikácie by tak dokázali spracovať 24 hodinový prehľad o fyziologickom stave nositeľa.
- 3D tlač – spôsob vytvárania trojrozmerných objektov pomocou špeciálne navrhnutých plastových polymérov alebo organických zlúčenín. Tu môže patriť ako tlačenie liekov, primárne tabliet, tak aj tvorba protetických náhrad.
- Rozšírená / virtuálna realita - tá by umožňovala vizualizáciu virtuálnych objektov v reálnom prostredí, pre potreby lepšej diagnostiky a liečby. Taktiež tu do určitej miery vstupuje aj koncept virtuálnych ordinácií.

1.4.2 Inteligentné poľnohospodárstvo

Očakáva sa, že veľkosť globálneho trhu s inteligentným poľnohospodárstvom sa do roku 2025 strojnásobí a dosiahne 15,3 miliardy USD (v porovnaní s mierne nad 5 miliardami USD v roku 2016). (IOT World Congress, 2022)

S nedávnymi poľnohospodárskymi trendmi závislými od poľnohospodárstva priniesol internet vecí obrovské výhody, ako je efektívne využívanie vody, optimalizácia vstupov a mnohé ďalšie.

Poľnohospodárstvo založené na IoT zlepšuje celý systém na základe monitorovania polí a fám v reálnom čase. S pomocou senzorov a vzájomnej prepojenosti internetu vecí v poľnohospodárstve dokážeme nielen ušetriť čas farmárov, ale znížiť aj nadmerné využívanie zdrojov, akými sú voda a elektrina. Udržujú rôzne faktory, ako je vlhkosť, teplota a pôda pod kontrolou a poskytujú prehľad v reálnom čase. (Latief, 2021)

V reálnom svete sa inteligentné poľnohospodárstvo využíva najmä pri rušivých poveternostných podmienkach. Vďaka notifikáciám v reálnom čase sa odstráni potreba fyzickej prítomnosti počas nepriaznivých klimatických podmienok, čo v konečnom dôsledku zvyšuje produktivitu. Taktiež tu môžeme zaradiť riadenie zavlažovania, riadenie dobytku, sledovanie vozidiel a mnohé ďalšie, ktoré zohrávajú zásadnú úlohu pri zvyšovaní efektívnosti a účinnosti. (Latief, 2021)

Novinkou v tomto segmente sú pozemné a vzdušné drony. Tie sa používajú na hodnotenie zdravia plodín, monitorovanie plodín, výsadbu, postrek plodín a analýzu polí. Drony s tepelnými alebo multispektrálnymi senzormi dokážu identifikovať oblasti, ktoré vyžadujú zmeny v zavlažovaní, indikujú zdravotný stav rastlín a vypočítajú ich vegetačný index. Taktiež tu existuje predpoklad nižšej záťaže na životné prostredie oproti aktuálnemu spôsobu pestovania. (Latief, 2021)

1.4.3 Inteligentné mestá

Definície a charakteristiky inteligentných miest sa líšia. Tie sa považujú za mestské prostredie kde sa aktívne zavádzajú IKT systémy na zber údajov pre podporu, monitorovanie

a zlepšovanie mestskej infraštruktúry, napríklad ako je doprava, odpadové hospodárstvo, spotreba energie a krízová reakcia. (Halegoua, 2020)

V podstate majú inteligentné mestá schopnosť monitorovať okolie prostredníctvom všadeprítomných senzorov a vysokorýchlostných sietí, ktoré vnímajú objekty. Riadiace orgány EÚ ako Európska komisia definuje inteligentné mestá ako subjekty, ktoré využívajú IKT na vytváranie efektívnejších a pútavejších služieb pre občanov a podniky. Ministerstvo Dopravy USA popisuje inteligentné mestá ako mestské formy ktoré využívajú technológie na podporu mobility ľudí a tovaru. (Halegoua, 2020)

1.4.4 Ochrana osobných údajov

Ako sa senzory stávajú čoraz používanějšími v našom každodennom živote, zvyšuje sa aj špecifickosť údajov jednotlivcov, ktoré sú nimi prenášané. Tieto údaje môžu siahať od zdravotných informácií až po nákupné vzorce a transakcie v maloobchodných prevádzkach. Pre podniky majú tieto údaje určitú peňažnú hodnotu. Vyvstáva však morálna otázka, kto vlastní tieto údaje a ako jednotlivci môžu kontrolovať, či a s kým môžu byť zdieľané. (David, 2017)

V našich podmienkach rieši bezpečnosť na poli údajov jednotlivca Európska komisia pomocou legislatívy GDPR (General Data Protection Regulation). V zásade sa delí na dve kategórie: (Európska komisia, 2016)

- Pravidlá pre podniky a organizácie
- Práva občanov

Hlavné povinnosti podnikov sú: (Európska komisia, 2016)

- Osobné údaje musia byť spracúvané zákonne a transparentne, pričom sa musí zabezpečiť zákonnosť, spravodlivosť a transparentnosť,
- Musí existovať konkrétny účel spracúvania údajov a organizácia musí tento účel jednotlivcom oznámiť, keď zbiera ich osobné údaje,
- Organizácia musí zbierať a spracúvať iba osobné údaje, ktoré sú nevyhnutné na naplnenie daného účelu,
- Spoločnosť nemôže ďalej použiť osobné údaje na iné účely, ktoré nie sú zlučiteľné s pôvodným účelom zberu,

- Spoločnosť musí zaviesť primerané technické a organizačné ochranné opatrenia, ktorými sa zaisťuje ochrana osobných údajov vrátane ochrany pred neoprávneným alebo nezákonným spracovaním.

Niektoré z práv občanov sú: (Európska komisia, 2016)

- Právo na informácie o spracúvaní osobných údajov,
- Získať prístup k osobným údajom, ktoré sú uchovávané,
- Požiadat' o vymazanie osobných údajov,
- Dostať svoje osobné údaje v strojovo čitateľnom formáte a poslať ich inému prevádzkovateľovi.

1.5 Arduino

Arduino sa dá charakterizovať ako doska plošných spojov (PCB) navrhnutá tak, aby používala čip mikrokontroléra, ako aj vstupy a výstupy. Mikrokontrolér je malý počítač obsiahnutý v samostatnom integrovanom obvode. Umožňuje používateľom programovať funkčnosť zapojených periférii. (Nussey, 2018)

1.5.1 Hardvér

Srdcom Arduina je mikrokontrolér. Sú to zariadenia, ktoré boli pôvodne určené na zabudovanie do spotrebných produktov vrátane automobilov, bielej elektrotechniky, DVD prehrávačov, detských hračiek a pod. Je to v podstate malý počítač na čipe. Obsahuje procesor, 1-2kB pamäte RAM (random access memory) na uchovávanie údajov, niekoľko kilobajtov vymazateľnej a programovateľnej pamäte na čítanie (EPROM), alebo flash pamäte na uloženie programov a má vstupné a výstupné piny, Tieto I/O piny spájajú mikrokontrolér so zvyškom elektroniky. (Monk, 2016)

Vstupy a výstupy dokážu čítať a zapisovať digitálny a analógový signál. Mikrokontrolér na doske Arduino je osadený 28-pinovým čipom v strede dosky od spoločnosti Atmel. Tento jediný čip obsahuje pamäť, procesor a všetku elektroniku pre I/O piny. (Monk, 2016)

Čip samotný nebude fungovať len tak sám o sebe bez podpornej elektroniky, ktorá je schopná zabezpečiť regulovanú a presnú dodávku elektriny, ako aj prostriedok na komunikáciu

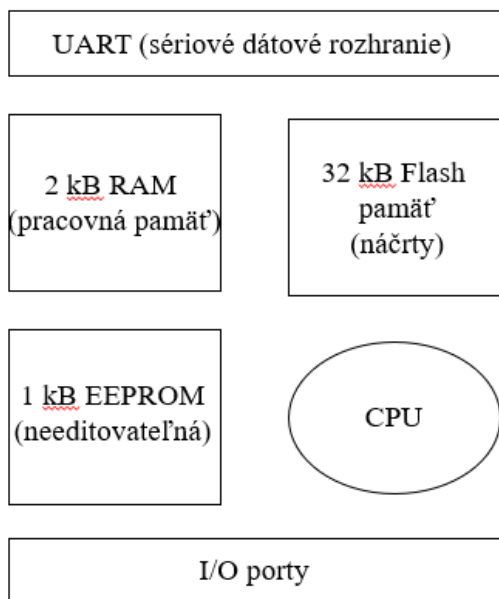
s počítačom, pomocou ktorého bude mikrokontrolér programovaný. Tu prichádzajú na rad vývojové dosky.

Súbory dizajnu pre dosku plošných spojov a schémy sú verejne dostupné. Výrobcovia mikrokontrolérov - vrátane spoločnosti Atmel, ktorá vyrába a poskytuje aj mikrokontrolér ATmega328 používaný v doske Arduino – poskytujú vlastné vývojové dosky a programovací softvér. Zvyčajne sú zamerané ako na profesionálnych elektroinžinierov, tak aj na fanúšikov a nadšencov. (Monk, 2016)

Hlavné časti vývojovej dosky ATmega 328: (Monk, 2016)

- Zdroj – pod USB konektorom je 5-voltový (5V) regulátor napätia. Reguluje akékoľvek napätie (medzi 7V a 12V). Je napájaný zo zásuvky do konštantných 5V. Je dostatočne veľký, aby mohol efektívne odvádzať teplo, ktoré je tvorené reguláciou napätia.
- Konektory napájania – Jediným mechanickým je tlačidlo Reset. To resetujete mikrokontrolér tak, aby sa spustil jeho program od začiatku. Zvyšné piny v tejto časti poskytujú iba rôzne napätia (3,5 V, 5V, GND a 9V).
- Analógové piny – tie sú označené ako Analog In A0 až A5. Tieto vstupy je možné využiť aj ako digitálne I/O.
- Digitálne pripojenia – Nachádzajú sa tu piny označené Digital 0 až 13. Pri použití pinov ako výstupov sa správajú skôr ako piny napätia napájacieho zdroja. Napríklad, pri zapnutí budú na 5V a po vypnutí na 0V. Prvé dva piny (D0 a D1) sú označené ako RX a TX. Slúžia pre príjem a vysielanie. Sú vyhradené na komunikáciu, aj pre USB konektor.

Pre demonštráciu architektúry dosky je použitá bloková schéma, zobrazujúca hlavné funkcie tohto zariadenia. Mozog zariadenia pozostáva z centrálnej procesorovej jednotky (CPU). Načítava programové inštrukcie uložené vo flash pamäti a vykoná ich. To zahŕňa načítanie údajov z pamäte (RAM), ich výmena a potom vloženie späť. Taktiež to môže znamenať zmenu digitálnych výstupov z 0V na 5V. Pamäť EEPROM je určená na ukladanie programových inštrukcií (z náčrtov), ak ich nechceme stratiť v prípade resetovania alebo vypnutia napájania. (Monk, 2016)



Obrázok 1 Architektúra logickej jednotky Arduino (Monk, 2016)

1.5.2 Softvér

Na programovanie je vytvorený program Arduino IDE. Ten poskytuje možnosť písania kódu v jazyku vyššej úrovne, ktorý je následne pomocou kompilátora prevedený do strojového kódu. Arduino používa nadstavbu jazyka C++ a spolu s ním knižničné funkcie na interakciu pre špecifické digitálne a analógové porty. (Blum, 2014)

Arduino IDE je dostupné pre rozdielne operačné systémy. Beží na Windows, Mac OS X a Linux. Obsahuje textový editor na písanie kódu, oblasť správ, textovú konzolu, panel nástrojov s tlačidlami pre bežné funkcie a menu. Pripája sa k hardvéru Arduino na nahrávanie programov a komunikáciu s nimi. Prostredie samotné je open source a je napísané v jazyku Java. (Pearson, 2019)

2 Hydroponia

Hydroponia samotná je využívaná už nejaký čas. Pomerne rozšírené je využitie hydroponie v husto zaľudnených miestach, kde sú pre nedostatok priestoru a veľkú vzdialenosť fariem hydroponické systémy adaptované do záhrad vertikálnych. Tie využívajú efektívne priestor pomocou vrstvenia poschodí s pestovanými plodinami. Vďaka tomuto spôsobu dokážu farmári napríklad na ploche 10m² pri použití 10 vrstiev vypestovať totožné množstvo plodín ako na poli o veľkosti 100m². S použitím slnečných kolektorov sa dokonca pestovanie hydroponickým spôsobom približuje veľmi blízko k uhlíkovo neutrálnej stope.

V blízkej budúcnosti je vysoká pravdepodobnosť zníženia obstarávacej ceny a zvýšenia dostupnosti týchto systémov. Nasvedčuje tomu politika EU v otázkach „*Green Deal*“, kedy sa smer EU bude uberať k obnoviteľným a udržateľným technológiám. Dôležitým míľnikom bude aj začatie výroby 2 až 3 nm logických čipov a rozsiahle investície do výstavby nových tovární na výrobu čipov v EU, v rámci lepšej diverzifikácie dodávateľského reťazca. Nedávna čipová kríza ukázala úzke miesta v schopnosti zásobovať západný trh dostatočným objemom potrebných komplexných elektronických súčiastok.

2.1 Charakteristika hydroponie

Hydroponické záhradníctvo sa v mnohých ohľadoch líši od konvenčného pestovania. Táto metóda zahŕňa pestovanie rastlín pomocou roztoku živín. V hydroponickom systéme sa rastliny vysádzajú do bezpôdnych nádob. Korene rastlín sú ponorené alebo vystavené v nádrži, ktorá je plná roztoku bohatého na živiny. Rastliny sú doslova z času na čas kŕmené roztokom, ktorý aktívne zabraňuje vysychaniu koreňov a rastlín. (Resh, 2012)

Tak ako všetko, aj hydroponické systémy majú svoje pozitíva a negatíva. Medzi výhody patria: (Resh, 2012)

- Nie je potrebná pôda,
- Voda v systéme je recyklovateľná - pomerne ľahko sa kontroluje výživa rastlín, čo umožňuje znížiť alebo zvýšiť nutričné hodnoty podľa potreby,
- Plodiny sú vysoko úrodné a majú lepší zdravotný stav – hlavným dôvodom je roztok bohatý na živiny, ale aj skutočnosť, že rastliny sa pestujú v kontrolovanom prostredí.

K hlavným nevýhodám môžeme zaradiť: (Resh, 2012)

- Rastliny sú náchylnejšie na úhyn - rastliny sú neustále vystavené vlhkosti, taktiež existuje riziko infekcie patogénom,
- Väčšie rastliny sa pestujú problematicky - neprítomnosť pevnej pôdy podkopáva oporu rastliny.

2.2 História hydroponie

1699: Anglicky historik a botanik John Woodward ako prvý experimentálne dokázal, že rastliny získavajú živiny v pôde z vody. Woodward taktiež svojím prvým hydroponickým experimentom ukázal, že rastlinám sa lepšie darí v riečnej vode než v čistej, resp. destilovanej. V tejto dobe bolo zahájených mnoho projektov v púštnych a suchých oblastiach po celom svete, avšak väčšina skončila fiaskom, čo viedlo k celkovému úpadku hydroponického pestovania. (Texier, 2014)

1970-1990: Objavil sa nový fenomén: indoorové pestovanie. V roku 1978 bola založená spoločnosť General Hydroponics. Vylepšili hydroponické systémy určené k veľkoprodukcii potravín tak, aby dosahovali väčšie výnosy na menšej ploche. K tomu bol využívaný najlepší dostupný výživový roztok. (Texier, 2014)

1995 až súčasnosť: Najprv si indoorové hydroponické pestovanie získalo obľubu v Škandinávii, odkiaľ sa neskôr rozšírilo do ďalších štátov. Inovatívna technológia hydroponického pestovania so sebou priniesla nové možnosti kultivácie plodín od liečebných bylín cez korenie až po okrasné kvetiny. Najnovším trendom v hydroponii je integrácia týchto systémov do architektonických návrhov, slúžiacich čiastočne ako ozdobná súčasť interiéru, prípadne vrstva na fasádach a strechách. Rastliny pestované na streche fungujú zároveň ako skvelá izolácia, pri ktorej dochádza k efektívnemu spracovaniu oxidu uhličitého (CO₂). (Texier, 2014)

3 Cieľ práce

Hlavným cieľom bakalárskej práce bolo navrhnúť a vytvoriť automatizovaný IoT hydroponický systém, ktorý by mohol byť využívaný na zjednodušenie pestovateľských procesov.

V rámci dosiahnutia konečného cieľa bolo potrebné určiť si pár čiastkových cieľov. Tie boli:

- Štúdium literatúry, ktorá pojednáva o technológiách v oblasti IoT a hydroponických systémov,
- Zvolenie platformy na vytvorenie IoT systému,
- Analyzovať cieľové potreby subjektov,
- Určenie cieľov podporných procesov,
- Spracovať obsah informácií potrebných na vytvorenie IoT hydroponického systému,
- Rozdeliť obsah na lekcie a kapitoly,
- Navrhnúť a vypracovať príklad ktorý bude slúžiť ako demonštrácia konceptu,
- Navrhnúť cloudové prepojenie,
- Spracovanie vizuálneho prostredia pre interpretáciu dát,
- Otestovať funkčnosť systému,
- Porovnanie dostupných alternatív.

4 Metodika práce a metóda porovnávania alternatív

Samotnej tvorbe hydroponického IoT systému predchádzalo viacero čiastkových procesov. Od teoretického návrhu až po samotný fyzický koncept. Tie sme rozdelili do týchto aktivít:

- Výber vhodného mikrokontroléra,
- Prepojenie jednotlivých súčiastok,
- Programovanie funkcionality,
- Výber aplikácie pre zobrazovanie výstupných údajov,
- Prepojenie dát s vizualizačným programom.

V rámci porovnávania alternatív sme tento proces taktiež rozdelili na čiastkové body:

- Výber reprezentatívnych alternatív,
- Určenie skúmaných funkcionalít a ich váhu,
- Ohodnotenie skúmaných subjektov,
- Konklúzia.

4.1 Metodika práce

Táto podkapitola sa zameriava na bližšiu špecifikáciu čiastkových procesov postupu tvorby IoT systému.

4.1.1 Výber vhodného mikrokontroléra

Prvým krokom bola analýza a výber vhodnej logickej jednotky. Analýza bola potrebná z dôvodu doplnenia nedostatočných vedomostí na poli technológii a dostupných možností. Vďaka nej sme následne boli schopný určiť mikrokontroler a súčiastky, ktoré boli vhodné pre splnenie požiadaviek určených zadaním.

4.1.2 Prepojenie jednotlivých súčiastok

V tejto časti si bolo potrebné vytvoriť návrh zapojenia senzorov, mechanických súčastí a logickej jednotky. Samotný návrh pomáhal do veľkej miery predísť komplikáciám spojených s nesprávnym prepojením elektromechanických súčastí a zamedziť ako poškodeniu komponentov, tak aj ohrozeniu zdravia následkom nesprávnej manipulácie.

4.1.3 Programovanie funkcionality

Programovanie samotných funkcionalít systému bola pravdepodobne najdôležitejšia časť celého procesu. Následkom výberu konkrétnej logickej jednotky bolo použitie preddefinovaného jazyka ako programovacieho nástroja. Vďaka kvalitnému štýlu výučby tohto jazyka na Ekonomickej univerzite v Bratislave to nepredstavovalo veľkú prekážku. Jednotlivé programovacie časti museli odzrkadľovať teoretické potreby pestovateľov v mikro až stredných podnikateľských podmienkach.

4.1.4 Výber aplikácie pre zobrazovanie výstupných údajov

Pri výbere poskytovateľa, ktorý bol schopný zobrazovať údaje bolo potrebné určiť vhodného kandidáta. Jedným z možných riešení bolo naprogramovať aplikáciu v jazyku Java, ktorá by komunikovala s IoT zariadením pomocou sieťového pripojenia. Druhým možným variantom bolo vytvoriť webovú stránku, ktorá by bežala na lokálnom serveri. Posledná alternatíva bola využiť poskytnuté cloudové prostredie od samotného výrobcu toho-ktorého zariadenia.

4.1.5 Prepojenie dát s vizualizačným programom.

Na základe výberu IoT prostredia, ktoré poskytovala spoločnosť Arduino, sme sa vyhli mnohým komplikáciám, ktoré mohli teoreticky nastať. Výberom tohto variantu sme zaručili jednoduchosť používania a konzistentnosť poskytovaných služieb vzdialeného servera.

4.2 Metóda porovnávania alternatív

Táto podkapitola sa bližšie zameriava na určenie čiastkových procesov postupu porovnávania alternatív k vytvorenému systému.

4.2.1 Výber reprezentatívnych alternatív

Vhodných alternatív sa na trhu nachádzalo dostatočné množstvo, no základná charakteristika chýbala každej možnosti. Nedostatok vysokej škálovateľnosti dostupných produktov bola hlavnou prekážkou pri určení vhodnosti. Taktiež, veľa z nich ponúkalo len obmedzené možnosti komunikácie s ďalšími zariadeniami, ako cloudové služby alebo osobné počítače. Vybrané alternatívy nakoniec zastupovali majoritu v oblasti inteligentných hydroponických systémov.

4.2.2 Určenie skúmaných funkcionalít a ich váhy

Po preskúmaní možností a potrieb ktoré sa spájajú s pestovaním, sme vybrali najpodstatnejšie vlastnosti hydroponických systémov. Rozhodovali sme sa medzi množstvom rozdielnych funkcionalít. Medzi ne patrili napríklad veľkosť, spoľahlivosť, konektivita alebo celková obstarávacia cena. Následne sme im na základe prevažne subjektívneho názoru priradili váhy.

4.2.3 Ohodnotenie skúmaných subjektov

Skúmaným funkcionalitám sme prisúdili konkrétne hodnoty váh. Snažili sme sa odzrkadliť možné teoretické potreby pestovateľov našimi očami. Vytvorili sme vzorec pre jednoznačné bodové ohodnotenie alternatív.

4.2.4 Konklúzia

V závere sme vyhodnotili alternatívy aby sme dospeli k preferovanému zariadeniu. Vyberali sme si z dostupných hydroponických systémov určených pre domáce a teda obmedzené pestovanie.

5 Výsledky práce

Táto časť bakalárskej práce sa zameriava na výber mikrokontrolera, jeho naprogramovanie a prepojenie s poskytovateľom služieb tretej strany. Taktiež sa zameriava na porovnanie konkurenčných produktov s návrhom.

5.1 Použitá logická jednotka

Použitý Arduino bolo typu 33 IoT. Hlavný dôvod výberu konkrétne tohto modelu bola veľká možnosť konektivity a pomerne skromné rozmery zariadenia. Konektivita zahŕňala pripojenie pomocou Wifi, Bluetooth a micro USB konektora. Pre správnu komunikáciu mikrokontrolera bol potrebný softvérový agent. Ten sa staral o doinštalovanie potrebných ovládačov a komunikáciu medzi Arduino-PC-Server, na serveri <https://cloud.arduino.cc>.

Poskytovateľ zabezpečoval 24-hodinovú podporu a ponuku IoT služieb daného mikrokontrolera. Pre správne fungovanie kódu sme použili prednastavené knižnice, ponúkané spoločnosťou Arduino, ktoré boli voľne dostupné. Tieto funkcie boli dostupné každej zakúpenej jednotke dizajnovanej pre IoT.

Bežne sa na Arduino doskách nachádzala široká škála digitálnych a analógových pinov pre pripojenie periférii, ktoré k nej boli už od výroby pripojené. V tomto konkrétnom modeli boli v rámci ušetrenia výrobných cien dodávané samostatne. Pre tento dôvod sme museli pomocou pájkovania cínom pripojiť tieto piny k samotnej doske.

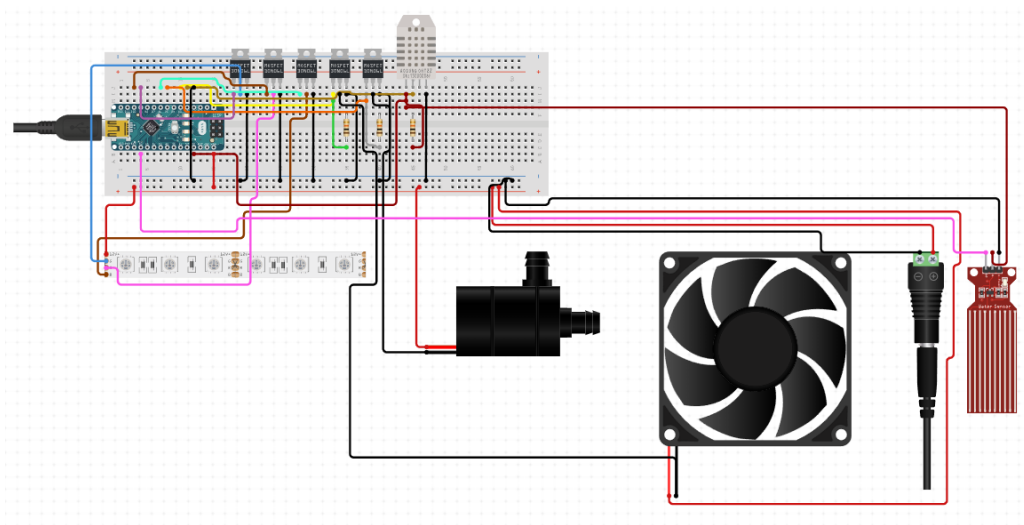
Následne sme túto jednotku pripojili pomocou spojovacích káblov k skúšobnému kontaktnému poľu. Základná premisa tohto doplnku bola rozšírenie možnosti konektivity logickej jednotky a ďalších použitých súčastí.

Bolo to možné vďaka plastovej doštičke s otvormi v pravidelných rozstupoch 2,54 mm, ktoré boli poprepávané do skupín pomocou plechových pružiniek vo vnútri. Pružinka sa skladala z dvoch prehnutých plieškov, ktoré sa navzájom dotýkali. Po zastrčení súčiastky medzi pliešky bola pridržiavaná trením.

V strede poľa bola väčšia medzera, ktorá prerušovala prepojenia. Ak nebolo možné súčiastky umiestniť tak, aby boli súvisiace súčiastky v tom istom rade, použili sa drôtené prepojovacie vodiče.

Okrem výhod ľahkého rozoberania má skúšobné kontaktné pole aj nevýhody: (Arduino Slovakia, 2016)

- Nie je v ňom možné používať SMD súčiastky,
- Ak do poľa zastrčíte súčiastku s hrubšími vývodmi, obvykle sa už na tom mieste nebudú dať dobre prichytiť bežné súčiastky s tenkými vývodmi. To sa týka najmä lacných čínskych polí,
- Poslednou nevýhodou je určitá kapacita medzi susednými dráhami, čo môže ovplyvňovať obvody s vyššou frekvenciou.



Obrázok 2 Zapojenie súčiastok pomocou skúšobného kontaktného poľa (Circuito.io, 2022)

Základné použité komponenty boli: Arduino, senzor vodnej hladiny, senzor merania teploty a vlhkosti, ventilátor, vodná pumpa, LED osvetlenie, spojovacie káble, skúšobné kontaktné pole, atď.

Arduino Nano IoT disponovalo funkcionalitou časovača. Real Time Clock (ďalej len „RTC“) sa automaticky synchronizoval so serverom na pásmo GMT 0. Nakoľko sme sa nachádzali v časovej zóne GMT+2, bolo potrebné v programovacej časti tieto hodnoty nastaviť samostatne. Na základe RTC sa spúšťala ako cirkulácia vody, ventilovanie vzduchu, tak aj osvetlenie.

Ukážka definovania použitých knižníc a pinov:

```
#include <RTCZero.h>
#include "thingProperties.h"
#define sig_ws A5
#define dTH_pin 2
#define led_data 6
```

5.2 Senzory

Sada senzorov, ktorá bola vytvorená pre jednoduché logické jednotky bola rozsiahla. Tá zahŕňala napríklad elektronické súčiastky na detekciu okolitej teploty, prítomnosti vody, slnečného a infračerveného žiarenia. V rámci špecifickosti nami vytvoreného systému sme použili len dva, ktoré boli najlepšie implementovateľné.

5.2.1 Senzor vody

Na detekciu nedostatku vody sme použili senzor zrážok a výšky hladiny vody. Negatívny a pozitívny pin sme pripojili k príslušným častiam na skúšobnom kontaktnom poli. Nakoľko tento senzor používal analógový dátový výstup, terminál signálu bol pripojený na analógový pin Arduina A5.

Ukážka kódu pre senzor vody:

```
digitalWrite(pow_ws, HIGH);
delay(500);
voda = (-1)* (analogRead(sig_ws));
digitalWrite(pow_ws, LOW);
Serial.println(pow_ws);
```

5.2.2 Senzor teploty a vlhkosti

Teplota bola meraná pomocou senzora teploty a vlhkosti DHT22. Túto súčiastku sme použili primárne z dôvodu schopnosti presného merania ako okolitej teploty, tak aj vlhkosti prostredia. Teplotu bol schopný merať v rozsahu cca -40 ~80°C. Vlhkosť v škále 0-100% RH („relative humidity – relatívna vlhkosť“). Konektor digitálneho signálu sme pripojili na pin s označením D4.

Ukážka kódu:

```
float h = dht.readHumidity();  
float t = dht.readTemperature();  
float t_index = dht.computeHeatIndex(t, h, false);  
teplota = t;
```

5.2.3 Alternatívne senzory

Senzor slnečného žiarenia mohol byť prínosom v alternatívnom systéme, ktorý by operoval vo vonkajšom prostredí. Bežne ponúkané moduly boli schopné zachytiť svetlo vo viditeľnom spektre na úrovni 390-700 nm s intenzitou osvetlenia na úrovni 0.0001 lx – 100 tis. lx (jednotka intenzity osvetlenia). To znamenalo dobrú schopnosť senzora identifikovať meniace sa svetelné podmienky od mesačného až po slnečný svit.

Na detekciu prítomnosti rôznych minerálov v roztoku sa bežne používali tzv. sondy. Tie boli voľne predajné. Pri zohľadnení celkovej ceny hydroponického systému boli náklady na takéto sondy pomerne vysoké. Preto bola ich kúpa a samotná automatizácia daných procesov vhodná až pri rádovo rozsiahlejších použitíach.

Ako alternatívna možnosť, ktorá mohla nahradiť pomerne drahé sondy, bolo testovanie vody pomocou chemických reakcií na prítomnosť látok a minerálov. Táto metóda bola cenovo pomerne nenáročná, no idea ručného pravidelného testovania bola do veľkej miery nepraktická a vo väčších produkčných kapacitách pomerne ťažko použiteľná.

5.3 Mechanické súčiastky a osvetlenie

Pre obmedzené možnosti napájania logickej jednotky Arduina, sme sa rozhodli využiť samostatné napájanie pre periférie. Napájanie sme zaručili pomocou klasickej nabíjačky pre mobily a kábla typu USB micro. Vďaka tomuto konektoru bola ponechaná možnosť pripojenia k počítaču alebo notebooku. Dôvodom použitia relé modulu pre mechanické súčiastky bola konektivita ventilátora a vodnej pumpy, ktoré nemali možnosť komunikácie s logickými obvodymi.

5.3.1 Relé

Relé bola súčiastka, ktorá pozostávala zo spínača a cievky, ktorá pôsobením elektrického prúdu v jednom obvode zapla alebo prerušila elektrický prúd v druhom elektrickom obvode. Použitý relé modul mal 8 samostatných spínačov. Ostatné mechanické súčiastky boli napojené na prvý, tretí a piaty spínač. Následne sme relé prepojili na príslušných digitálnych pinoch pre komunikáciu s Arduinom.

Ukážka kódu:

```
pinMode(pin_relay_vetrak, OUTPUT);  
pinMode(pin_relay_pumpa, OUTPUT);  
pinMode(pin_relay_LED, OUTPUT);
```

5.3.2 Ventilátor

Použitý ventilátor bol 2-pinový vo verzii 3010. Pracovné napätie sa pohybovalo na 5V. Rozmery boli 3cm x 3cm x 1cm. Pre reálne použitie bol nepoužiteľný, no v rámci našej bakalárskej práce postačoval na demonštratívne účely. Logicky bol naprogramovaný na dve varianty. Prvá bola demonštratívna ukážka možnosti prepojenia s IoT zariadením. V našej práci sme v Arduino Cloud-e vytvorili virtuálne tlačidlo, ktoré slúžilo na zapnutie a vypnutie zariadenia. Druhý variant slúžil na reguláciu teploty pri prekročení určitej hranice. Tú sme naprogramovali na hodnotu 30°C, ktorú sme získali predošlým meraním pomocou senzora teploty a vlhkosti. V tomto prípade sa ventilátor spustil na 2 minúty.

Príklad kódu:

```
if (t >= 30){  
digitalWrite(pin_relay_vetrak, HIGH);  
 } else {  
digitalWrite(pin_relay_vetrak, LOW);
```

5.3.3 Vodná pumpa

Ďalšou súčiastkou bola vodná pumpa. Využili sme len malú verziu pre účely demonštrácie. Vodné čerpadlo bolo schopné operovať na napätí 3V o prietoku 100l za hodinu, čo bohato postačovalo na cirkuláciu v našom hydroponickom systéme. Výmenou vody bol

zabezpečený prítok čerstvej, chladnej vody. Tou sa podarilo dosiahnuť úsporu až 90% vody, v porovnaní s bežným spôsobom pestovania v zemi. Po spotrebovaní živín bolo pomerne jednoduché obnoviť vyživovací potenciál roztoku.

Ako pri ventilátore, ani táto pumpa nemala možnosť komunikácie s logickým zariadením. Čerpadlo bolo naprogramované na fungovanie v pravidelných časových intervaloch. Vďaka použitiu RTC sme zabezpečili pravidelné spustenie každých 15 minút, čo bolo vzhľadom na potreby rastlín viac než postačujúce.

Ukážka použitého kódu:

```
if (cas_chat.getMinutes() % 15 == 0){  
  digitalWrite(pin_relay_pumpa, HIGH);  
  status_pumpa = true;  
}else{  
  digitalWrite(pin_relay_pumpa, LOW);  
  status_pumpa=false;}  

```

Funkcia `.getMinutes` bola knižničná funkcia pre RTC. Získavala údaj buď o časovej dĺžke zapnutého zariadenia, alebo po synchronizácii o aktuálnom čase.

5.3.4 LED osvetlenie

Pre zabezpečenie osvetlenia, ktoré malo nahradzovať slnečný svit, sme použili LED pás. Vďaka schopnosti digitálnej komunikácie poskytovali diódy možnosť regulácie intenzity osvetlenia a úpravu emitovaného svetelného žiarenia na základe RGB štandardu. Osvetlenie simulovalo vlnovú dĺžku 550nm, čomu malo teoreticky zodpovedať nastavenie podľa RGB na red (červená) - 163, green (zelená) - 255, blue (modrá) - 0. Taktiež tento LED pás dovoľoval výber konkrétnych diód, ktoré mali byť zapnuté, resp. vypnuté. Pre demonštráciu funkčnosti sme využili len prvé tri po sebe idúce diódy. Pomocou RTC sme nastavili zapnutie osvetlenia na 2 hodiny pred východom slnka a vypnutie 2 hodiny po západe. Tento prístup zaručoval najefektívnejšie fotosyntézy samotnej rastliny. Podľa štúdií boli rastliny schopné fotosyntézy maximálne po dobu 16 hodín denne. Predpoklad modelu bol ten, že rastliny boli počas celého dňa vystavené slnečnému žiareniu v obmedzenej miere. Prírodné svetlo dopĺňalo osvetlenie umelé. Pri znížení, resp. strate slnečného žiarenia, prevzali následne LED žiarovky jeho úlohu.

Príklad kódu:

```
if ((cas_chat.getMinutes() / 1 == 1) || (cas_chat.getMinutes() / 2 == 1)){  
if (cas_chat.getHours()+2 >= 5 && cas_chat.getHours()+2 <= 21){  
digitalWrite(pin_relay_LED, HIGH);  
for (int i = 0; i < pocet_led; i ++){  
ledky[i] = CRGB (163,255,0);  
FastLED.show();}
```

V použitom príklade sme pristupovali k LED diódam ako k samostatným prvkom poľa. To nám ich umožnilo ovládať samostatne.

5.4 Cloudová platforma

Pred predstavením samotného cloudového nástroja spoločnosti arduino, bolo potrebné určiť čo vlastne cloudová platforma znamená.

5.4.1 Charakteristika cloudu

Je to technológia, ktorá využíva internet a centrálné vzdialené servery na údržbu dát a aplikácií. Umožňuje užívateľom a firmám používať aplikácie bez inštalácie a pristupovať k svojim osobným údajom pomocou na internet. Zjednodušene povedané, cloud computing pozostáva zo zdieľaných počítačových zdrojov, ktoré sú virtualizované a prístupné ako služba prostredníctvom rozhrania API. (Bolton, 2019)

Kľúčové vlastnosti: (Bolton, 2019)

- Náklady sú značne znížené, existujú len malé bariéry vstupu,
- Nezávislosť od zariadenia a polohy umožňuje užívateľom pristupovať do systémov pomocou webového prehliadača bez ohľadu na ich polohu resp. používané zariadenie,
- Zvýšenie spoľahlivosti, pri použití viacerých redundantných lokalít,
- Škálovateľnosť prostredníctvom dynamického poskytovania zdrojov v reálnom čase,
- Bezpečnosť sa zlepšuje vďaka centralizácii údajov,
- Údržba cloudových počítačových aplikácií je jednoduchšia a menej nákladná.

5.4.2 Arduino Cloud

Na zabezpečenie komunikácie v rámci internetu vecí sme využili možnosť systému ponúkaného spoločnosťou Arduino.

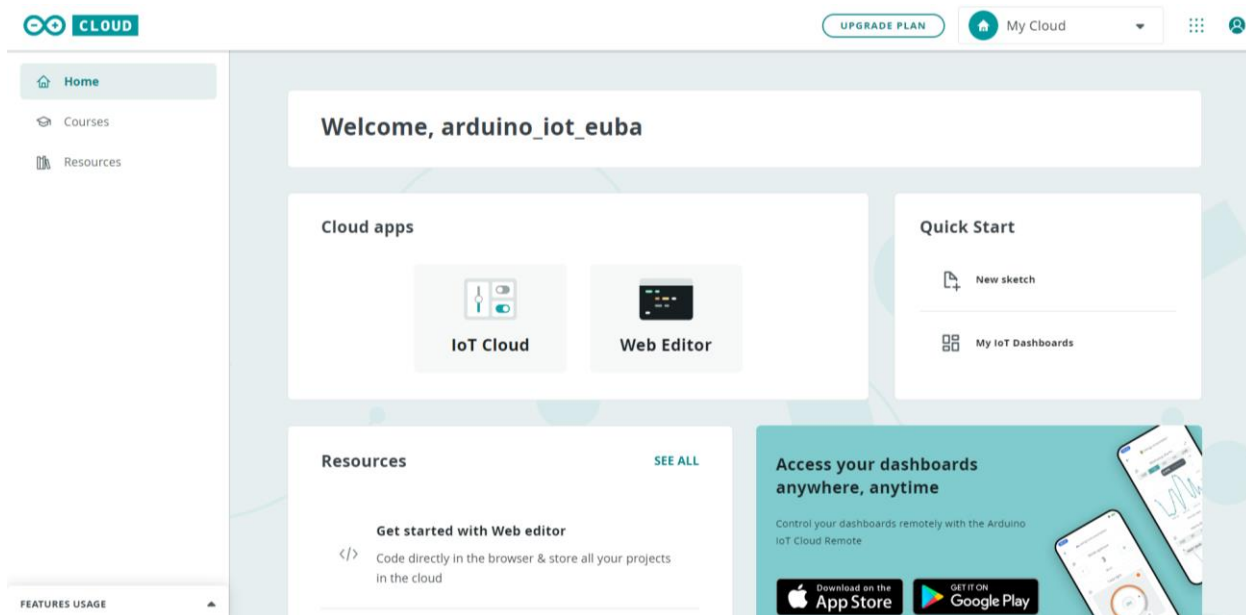
Vlastnosti aplikácie Arduino Cloud:

- Monitorovanie údajov – jednoduché a intuitívne,
- Variabilná synchronizácia - umožňovalo synchronizovať premenné medzi viacerými zariadeniami, čo podporovalo komunikáciu medzi zariadeniami,
- Plánovač – zapnutie/vypnutie úloh na určitý čas,
- Over-The-Air (OTA) nahrávanie – nahrávanie kódu do zariadení bez nutnosti pripojenia k počítaču,
- Podpora Amazon Alexa – funkcia ovládania hlasom pomocou asistenta Alexa.

Na používanie Arduino IoT Cloud bola potrebná logická doska kompatibilná s cloudom. Mohli sme si vybrať medzi použitím oficiálnej dosky Arduino alebo dosky založenej na mikrokontroléri ESP32 / ESP8266. Za kompatibilné sa považovali napríklad MKR WiFi 1010, Portenta H7, Nicla Vision a ďalšie. Arduino IoT Cloud taktiež podporoval pripojenie cez Wi-Fi, LoRaWAN a mobilné siete.

Po registrácii ponúkal Arduino Cloud prehľadné a moderné prostredie pre jednoduchú prácu. Obsahoval 2 cloudové aplikácie. IoT Cloud bol zodpovedný za samotnú prehľadnú vizualizáciu dát, ktoré boli prenášané z a na server. Web editor slúžil na tvorbu kódu a jeho implementáciu do jednotky Arduina.

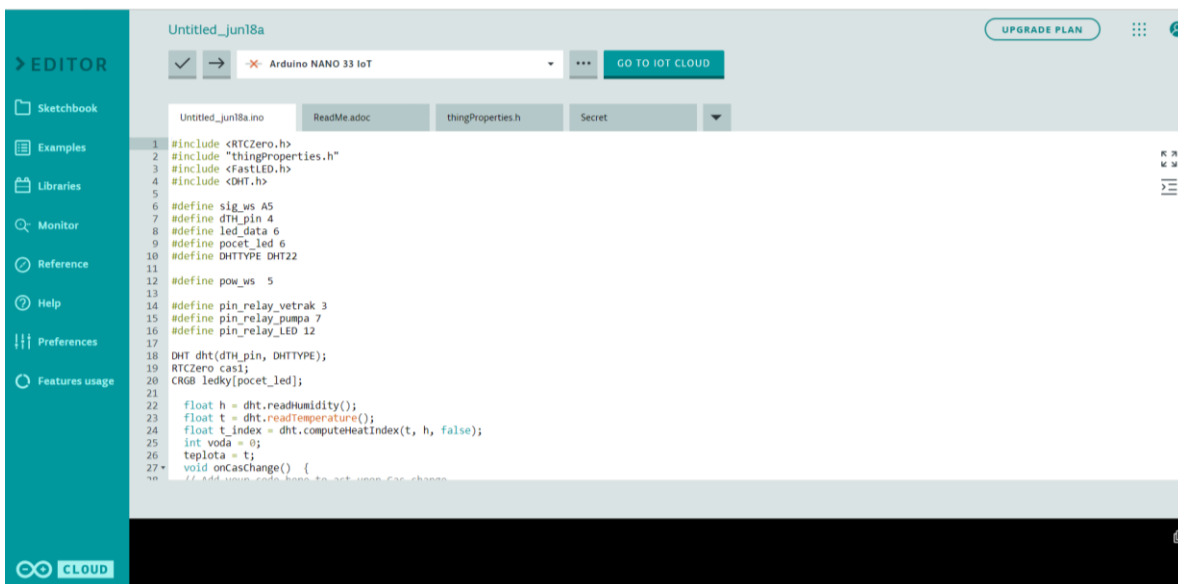
Po prihlásení sa objavilo uvítacie menu. To ponúkalo možnosti prechodu do aplikácie IoT Cloud alebo webového editora. Bolo spracované pre jednoduché a intuitívne použitie.



Obrázok 3 Kontextové menu Arduino Cloud [vlastné spracovanie]

5.4.3 Webový editor

Webový editor poskytoval rozsiahle možnosti pracovania s logickou jednotkou. Okrem samotného písania kódu bola v ponuke možnosť vybrať si napríklad komunikovanie s Arduino pomocou seriálového portu, alebo použitie rozsiahlej knižničnej databázy, ktorá ponúkala prednastavené funkcie a súčasti na komunikáciu prakticky so všetkými ponúkanými komponentami na trhu. Práca s editorom bola extrémne jednoduchá. Medzi hlavné výhody určite patrili intuitívnosť a vysoká prehľadnosť prvkov. Samozrejme existovala aj verzia editora, ktorá fungovala bez nutnosti internetového pripojenia a kopírovala tieto vlastnosti.



Obrázok 4 Webový editor kódu [vlastné spracovanie]

5.4.4 Vizualizačný nástroj

Na vizuálny výstup dát z Arduina bola určená sekcia „Dashboards.“ V podsekcii úpravy panelu sa nachádzali početné okná, pre jednoduchú ale aj zložitejšiu prácu s výstupnými dátami. Hlavnou výhodou bola možnosť prehľadného zobrazenia dát pre stolové ale aj mobilné zariadenia. Následne sme vytvorili pár rôznych zobrazení ako demonštráciu.

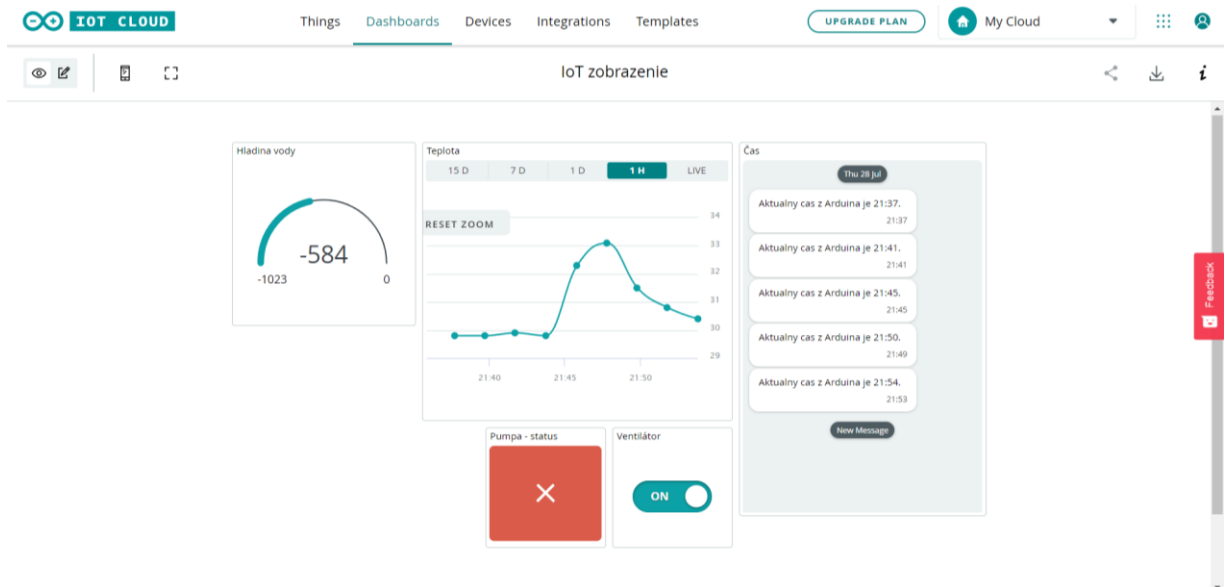
Pre správny prenos dát medzi mikrokontrolérom a serverom bolo potrebné vytvoriť premenné v Arduino Cloud-e. Tie sa následne automaticky synchronizovali a zapísali do kódu funkcie pre pravidelné odosielanie dát. Boli uložené do samostatnej knižnice „thingProperties.h.“

Príklad: `ArduinoCloud.addProperty(teplota, READ, 120 * SECONDS, NULL);`

Panely:

- Hladina vody – táto časť rozhrania bola nastavená ako merač hladiny vody. Hodnota -1023 predstavovala najnižšiu možnú, ktorá indikovala prázdnu nádrž,
- Teplota – zvolené okno symbolizovalo meranie hodnôt v čase. O ukladanie, spracovanie a interpretáciu údajov sa staral samotný cloud. Explicitné programovanie týchto postupov v samotnom arduine tak nie je potrebné,

- Čas - V pravidelných intervaloch bola odosielaná informácia s časom, ktorý meralo Arduino. Tá sa následne ukázala na obrazovke s časovou stopou, pre overenie správnej časovej synchronizácie,
- Pumpa – časť rozhrania mala za úlohu jednoduchú notifikáciu používateľa o zapnutej alebo vypnutej pumpe,
- Ventilátor – toto okno slúžilo ako virtuálne tlačidlo, ktoré bolo schopné na diaľku a v reálnom čase zapínať alebo vypínať samotný ventilátor.



Obrázok 5 Vizualizácia dát pre IoT [vlastné spracovanie]

5.5 Porovnanie alternatív

Na trhu sa za ostatnú dobu objavilo väčšie množstvo jednoduchých zariadení pre hydroponické pestovanie. Tie boli samozrejme určené len na domáce, obmedzené použitie. Takýto koncept domáceho inteligentného pestovania bol pomerne nový, čomu zodpovedala aj vyššia cena kompletných zariadení.

Porovnávali sme ako koncovú cenu toho-ktorého modelu, tak aj samotnú náročnosť zostavenia, možnosti rozširovania, poprípade dostupnosť opráv jednotlivých alternatív. Taktiež, ponúkané funkcie a „inteligencia“ daného zariadenia hrala podstatnú úlohu.

Pre porovnanie boli vybrané nasledovné produkty:

1. Hydroponická veža URBAN
2. Microgreens by Leaf Learn Mini
3. Nutraponics Indoor Gardening

Pri porovnávaní sme sa zamerali hlavne na tieto parametre: veľkosť, počet rastlín na systém, automatický cirkulačný systém, LED osvetlenie, ventilácia, pripojenie k IoT a cena. Ku konkrétnym vlastnostiam sme priradil váhové hodnoty. Tie odzrkadľovali naše teoretické a subjektívne potreby. Váhy boli priradené nasledovne:

	Veľkosť (cm)	Počet rastlín	Cyrkulácia vody	LED osvetlenie	Ventilácia	Prepojenie IoT	Cena
Váha	0.7	1.1	Áno 1.8 Nie 0.3	Áno 1.3 Nie 0.8	Áno 1.2 Nie 0.7	Áno 1.8 Nie 0.3	1.2

Tabuľka 3 Pridelené váhy jednotlivých parametrov [vlastné spracovanie]

$$\text{Rovnica: } \frac{\text{Veľkosť}_v * \text{Počet}_v * (\text{Voda}_v + \text{LED}_v + \text{Vent}_v + \text{IoT}_v)}{\text{Cena}_v * \text{počet}}$$

Veľkosť_v – veľkosť systému v m^3 * váha

Počet_v – počet rastlín * váha

Voda_v – 1 * váha

LED_v – 1 * váha

Vent_v – 1 * váha

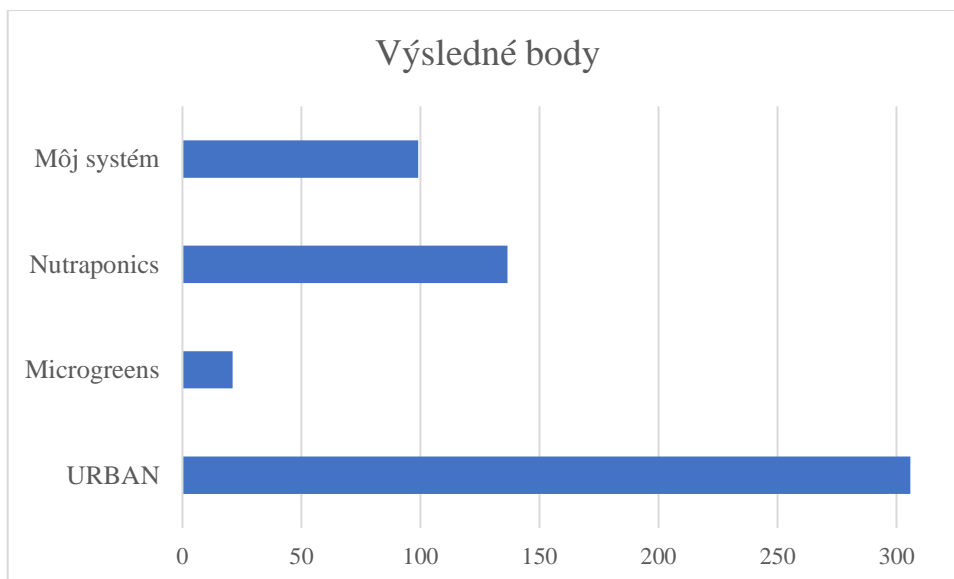
IoT_v – 1 * váha

Cena_v – cena * váha

počet – počet rastlín

	Veľkosť (cm)	Počet rastlín	Cyrkulácia vody	LED osvetlenie	Ventilácia	Prepojenie IoT	Cena
URBAN	80x30x165	240	Áno	Áno	Áno	Áno	cca 1200 €
Microgreens	30x30x30	4	Nie	Áno	Nie	Áno	cca 140 €
Nutraponics	70x70x36	48	Áno	Nie	Nie	Nie	cca 500 €
Môj systém	60x40x50	3	Áno	Áno	Áno	Áno	cca 50 €

Tabuľka 4 Vybrané parametre pre jednotlivé alternatívy [vlastné spracovanie]



Graf 2 Bodové ohodnotenie jednotlivých IoT alternatív [vlastné spracovanie]

Ako nám porovnanie alternatív hydroponických systémov ukázalo, existovali veľké rozdiely medzi ponúkanými produktami. Podľa bodových výsledkov sme z ponúkaných systémov určili ako ideálny ten od spoločnosti URBAN. Vynikal konektivitou, automatizovateľnosťou a ponúkal možnosť najefektívnejšieho pestovania rastlín k svojim rozmerom ($1.65 \text{ m}^3/\text{rastlina}$). Vysoká vstupná cena jednotky však do značnej miery predstavovala prekážku. (LED meGrow.sk, 2022)

Systém Microgreens bol ideálny do malých priestorov. Ponúkal užívateľsky kvalitne spracované IoT rozhranie. Prehľadnú a ľahko ovládateľnú aplikáciu si bolo možné stiahnuť z oficiálnych stránok spoločnosti. Určitých záujemcov mohol presvedčiť hlavne moderný a štýlový dizajn systému. Avšak hlavnou nevýhodou bola nutnosť použitia špeciálnych črepníkov s rastlinami priamo od dodávateľa, čo značne predražovalo ďalšie použitie a obmedzovalo užívateľa. (LEAF LEARN, 2022)

Hlavnou výhodou systému spoločnosti Nutraponics bola bezpochyby škálovateľnosť. Ten bol dizajnovaný na jednoduché osadenie ďalších jednotiek, bez rastúcej zložitosti používateľských procesov. Taktiež veľmi dobre využíval dostupnú plochu na zvýšenie efektívnosti pestovania. Bohužiaľ, tento systém nedisponoval samostatným osvetlením, čo by sa v konečnom dôsledku prejavilo na pomalšom raste plodín a tým nižších celkových výnosoch. (NutraPonics, 2022)

Nakoniec sme porovnávali náš amatérsky hydroponický systém. Podstatná výhoda oproti ostatným alternatívam bola funkcionalita. Poskytoval ako prepojenie s IoT, tak aj možnosť automatizácie procesov. Medzi pozíva bolo nutné zaradiť aj relatívne nízku cenu ďalšieho zväčšovania systému, nakoľko senzory a logická jednotka bola teoreticky schopná obslúžiť násobne väčší počet rastlín.

Záver

Pestovanie plodín pre vyživovanie spoločnosti sa viaže k našej civilizácii už od nepamäti. Od dôb jednoduchej kultivácie fám sa nároky spoločnosti mnohonásobne zvýšili. Preto je potrebné hľadať nové a efektívnejšie možnosti produkcie plodín. Súčasná doba nám stále viac ukazuje potrebu inovácii v tomto smere. Zvyšujúca sa priemerná teplota na našej planéte, nedostatok vodných zdrojov a zhustenie zaľudnenia sú len niektoré z dôvodov.

Hlavným cieľom tejto bakalárskej práce bolo vytvoriť zariadenie na platforme IoT, ktoré bude slúžiť ako demonštrácia konceptu inteligentného hydroponického pestovania. Ako srdce celej práce sme použili logickú jednotku Arduino Nano 33 IoT, ktorá nám umožnila ľahké prepojenie s vizualizačným nástrojom pomocou internetu.

Tomu všetkému predchádzalo splnenie samostatných čiastkových cieľov, medzi ktoré patrili zvolenie platformy na vytvorenie IoT systému, preštudovanie odbornej literatúry, návrh jednotlivých častí, ich spracovanie a porovnanie dostupných alternatív.

V priebehu tvorby IoT systému sa vyskytlo niekoľko problémov ako výber správnej logickej jednotky. Ten vznikol pre obsiahlu spleť rôznych platforiem, ktoré sa do veľkej miery líšili či už konektivitou, dostupnosťou alebo možnosťou komunikácie s internetom vecí. Druhým problémom bolo porovnanie alternatív vzhľadom na vytvorený systém. Na trhu sa nachádzali skôr systémy, ktoré fungovali v uzavretom ekosystéme.

Konečným výsledkom bakalárskej práce je IoT systém, ktorý automatizuje a zjednodušuje určité procesy v pestovateľskom reťazci. Systém je rozdelený na tri základe kooperujúce súčasti. Prvým je hydroponický systém, druhým logická jednotka Arduino a tretím je vizualizácia dát prenášaných sieťou. Bol zostavený tak, aby mohol byť použitý aj v reálnom prostredí. Práca obsahuje aj porovnávanie alternatív, ktorá reflektuje rozdielne nároky a možnosti.

Veríme, že celkový koncept inteligentného hydroponického pestovania je kľúčom k zvýšeniu potravinovej bezpečnosti a nezávislosti. V budúcnosti by mohol vyriešiť nebezpečenstvo nových potravinových kríz a zabezpečiť tak zvýšenie životného štandardu ako v rozvojových krajinách, tak aj v najsilnejších ekonomikách sveta.

Zoznam použitej literatúry

AHMAD, Latief - NABI, Firasath. *Agriculture 5.0: Artificial Intelligence, IoT and Machine Learning*. Oxon: CRC Press, 2021. 242 s. ISBN 978-036-7464-08-0.

ARDUINO SLOVAKIA. Breadboard (skúšobné pole). [Online]. [Cit. 13.3.2022]. Dostupné na internete: [https://www.arduinosllovakia.eu/page/breadboard-\(skusobne-pole\)](https://www.arduinosllovakia.eu/page/breadboard-(skusobne-pole))

BLUM, Richard. *Arduino Programming in 24 Hours*, Sams Publishing, 2014. 432 s. ISBN 978-067-2337-12-3.

BOLTON, James. *What is Cloud Computing?*, James Bolton, 2019. 140 s. ISBN 978-167-6694-82-3.

CIRCUITO. Design your circuit with circuito. [Online]. [Cit. 25.4.2022]. Dostupné na internete: <https://www.circuito.io/app>

EURÓPSKA KOMISIA. *NARIADENIE EURÓPSKEHO PARLAMENTU A RADY (EÚ) 2016/679*. [Online]. [Cit. 20.4.2022]. Dostupné na internete: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SK/TXT/?qid=1559210115221&uri=CELEX:32016R0679#d1e2153-1-1>

GUPTA, Nishu - PAIVA, Sara. *IoT and ICT for Healthcare Applications*, Springer Nature, 2020. 298s. ISBN 978-303-0429-34-8.

HALEGOUA, Germaine. *Smart Cities*, MIT Press, 2020. 248 s. ISBN 978-026-2538-05-3.

HANES, David – SALQUEIRO, Gonzalo - GROSSETETE, Patrick - BARTON, Robert - HENRY, Jerome. *IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things*, Cisco Press, 2017. 576 s. ISBN 978-013-4307-08-4.

IOT WORLD CONGRESS. IoT Transforming the future of agriculture. [Online]. [Cit. 20.4.2022]. Dostupné na internete: <https://www.iotworldcongress.com/>

KHAN, Jamil - YUCE, Mehmet. *Internet of Things (IoT) Systems and Applications*. Singapore: Jenny Stanford Publishing Pte. Ltd, 2019. 349 s. ISBN 978-981-4800-29-7.

LEAF LEARN. Mini Starte Pack. [Online]. [Cit. 13.3.2022]. Dostupné na internete: <https://www.microgreens.ai/mini-starter-pack/>

LED meGROW.sk. Inteligentná hydroponická veža URBAN na pestovanie bylín a mikrozeleniny. [Online]. [Cit. 20.4.2022]. Dostupné na internete:

<https://www.ledmegrow.sk/inteligentna-hydroponicka-veza-urban-na-pestovanie-byliniek-a-mikrozeleniny/>

MONK, Simon. *Programming Arduino Getting Started with Sketches*, McGraw Hill Professional, 2011. 176 s. ISBN 978-007-1784-23-8.

NUSSEY, John. *Arduino for Dummies*, John Wiley & Sons, 2018. 400 s. ISBN 978-111-9489-54-2.

NUTRAPONICS. Hydroponics Growing System for Indoor Herbs, Fruits and Vegetables. [Online]. [Cit. 12.3.2022]. Dostupné na internete: https://www.amazon.com/Hydroponics-Aquaponics-Aeroponics-Growing-Outdoor/dp/B08HCL4R1P?ref=ast_dp&th=1&psc=1

PEARSON, Dexter. *Arduino: 2019 Beginner's Guide to Learn Arduino Programming Step by Step*, Dexter Pearson. 2019. 61 s. ISBN 978-108-6093-77-3.

RESH, Howard. *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*, CRC Press, 2012. 560 s. ISBN 978-143-9878-67-5.

RAJ, Pethuru - POONGODI, T – BALUSAMY, Balamurugan - KHARI, Manju. *The Internet of Things and Big Data Analytics*, CRC Press, 2020. 338 s. ISBN 978-100-0057-39-3.

TEXIER, William. *Hydroponie pro každého: Vše o domácím pěstování*. Mama Editions, 2020. 344 s. ISBN 978-284-5942-69-1.