

Česká zemědělská univerzita v Praze

Provozně ekonomická fakulta

Katedra informačních technologií



Bakalářská práce

Hardwarové platformy pro vývoj zařízení internetu věcí

Václav Řežábek

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Provozně ekonomická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Václav Řežábek

Systémové inženýrství a informatika

Systémové inženýrství

Název práce

Hardwarové platformy pro vývoj zařízení internetu věcí

Název anglicky

Hardware platforms for development internet of things device

Cíle práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na hardwarové platformy pro vývoj zařízení internetu věcí (IoT). Hlavní cíl bakalářské práce je zhodnocení jednotlivých hardwarových platform vhodných pro vývoj prototypů zařízení internetu věcí.

Dílní cíle práce jsou:

- charakterizovat problematiku vývoje prototypů zařízení IoT,
- analyzovat vybrané dostupné hardwarové platformy pro vývoj IoT prototypů,
- navrhnout prototypy založené na vybraných platformách.

Metodika

V teoretická část bakalářské práce bude založena na studiu odborné literatury v oblasti IoT a hardwarových platform vhodných pro konstrukci prototypů IoT zařízení. Dále budou analyzovány vybrané hardwarové platformy a definovány požadavky na prototyp.

V praktické části práce budou, na základě poznatků zjištěných v teoretické části, navrženy prototypy na vybraných hardwarových platformách. Na základě hodnocení prototypů budou formulovány závěry a doporučení.

Doporučený rozsah práce

30-40 stran

Klíčová slova

Internet věcí, prototyp, jednodeskový počítač, hardwarová platforma

Doporučené zdroje informací

CIRANI, Simone, Gianluigi FERRARI, Marco PICONE a Luca VELTRI. Internet of things: architectures, protocols and standards. Hoboken, NJ: Wiley, 2019. ISBN 9781119359678.
MCMANUS, Sean a Mike COOK. Raspberry Pi. 3rd edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, [2017]. –For dummies. ISBN 978-1-119-41200-7.
MOLLOY, Derek. Molloy_exploring BeagleBone 2e. Indianapolis, NY: John Wiley, 2018. ISBN 9781119533160.
RICHARDSON, Matt. Getting started with Intel Galileo. Sebastopol, CA: Maker Media, 2014. ISBN 9781457183089.
VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 ZS – PEF

Vedoucí práce

Ing. Michal Stočes, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra informačních technologií

Elektronicky schváleno dne 29. 7. 2020

Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 10. 2020

Ing. Martin Pelikán, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 30. 08. 2021

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Hardwarové platformy pro vývoj zařízení internetu věcí" 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 30. listopadu 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce Ing. Michalu Stočesovi, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a rady při zpracování této bakalářské práce.

Hardwarové platformy pro vývoj zařízení internetu věcí

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na porovnání hardwarových platform pro vývoj zařízení internetu věcí. Dílčí cíle práce jsou charakterizovat internet věcí, problematiku vývoje zařízení spadající do internetu věcí a následné hodnocení stanovených platform. Hlavním důvodem pro výběr tématu je všeobecný růst počtu zařízení IoT a větší zájem společnosti o dané téma. Hlavní cíl práce je seznámení začátečníků nebo i pokročilých uživatelů s neznámějšími platformami pro sestavení vlastního zařízení.

Práce je rozdělena na dvě části. V teoretické části práce je popsán vývoj IoT, technologie, které využívá, a na závěr vybrané hardwarové platformy. V praktické části jsou stanoveny kritéria hodnocení jednotlivých platform. Následně je navržen prototyp zařízení spadající do IoT. Prototyp zařízení je navržen na vybraných platformách. Ve finální části práce jsou ohodnocena jednotlivá kritéria. Na základě hodnocení jednotlivých prototypů jsou stanoveny závěry a doporučení.

Klíčová slova: internet věcí, prototyp, jednodeskový počítač, hardwarová platforma

Hardware platforms for development internet of things device

Abstract

This bachelor thesis is focused on comparison of hardware platform for development device defined as Internet of Things device. Partial goals of thesis are describing internet of things, problematics about device falling into Internet of Things and then evaluation of selected platforms. The main reason for choosing this topic is the increase of devices IoT and greater interest in society about this topic. The main goal of thesis is acquaintance for beginners or advanced users with the most famous hardware platforms for assembly homemade device.

Thesis is divided into two main parts. In the theoretical part is describe development of IoT, technology which IoT using and in the end of theoretical part thesis describe selected hardware platforms. The second part of thesis is practical. In the practical part are established criteria of evaluation selected platforms. After that the prototype of device is designed. Device is designed on selected platforms. The last part of thesis is rating of established criteria. Based on these facts and ratings of individual prototypes are established conclusions and recommendation.

Keywords: Internet of things, prototype, single board computer, hardware platform

Obsah

1. Úvod.....	11
2. Cíl práce a metodika	12
2.1 Cíle práce	12
2.2 Metodika	12
3. Teoretická východiska	13
3.1 Internet věcí.....	13
3.1.1 Vývoj a vznik internetu věcí.....	14
3.1.2 Budoucnost internetu věcí	16
3.2 Zabezpečení.....	17
3.3 Technologie pro přenos dat.....	19
3.3.1 Bluetooth.....	20
3.3.2 ZigBee.....	20
3.3.3 WiFi	21
3.3.4 OWC	22
3.4 Protokoly	22
3.4.1 CoAP	22
3.4.2 MQTT	23
3.4.3 XMPP	23
3.5 Cloud computing.....	24
3.5.1 Typy Cloud computingu	24
3.5.2 Typy cloudových služeb	24
3.6 Hardwarové Platformy	25
3.6.1 Arduino	25
3.6.2 Raspberry Pi.....	29
3.6.3 Micro:bit	31
3.7 Komponenty pro vývoj prototypu zařízení IoT	32
3.7.1 Membránová maticová klávesnice 4x3	33
3.7.2 ESP-01	34
3.7.3 Infračervený senzor překážek	34
4. Vlastní práce	36
4.1 Stanovení kritérií.....	36
4.1.1 Pořizovací cena.....	36
4.1.2 Dokumentace a celková komunitní odezva	36
4.1.3 Využití v průmyslu	37
4.1.4 Dostupné vývojové prostředí a knihovny	37
4.1.5 Největší využití na trhu.....	37
4.2 Návrh testovacího prototypu zařízení spadající do IoT	37
4.2.1 Zapojení hardwarových prvků.....	38

4.2.2	Návrh softwarových prvků	40
4.3	Hodnocení stanovených kritérií	44
4.3.1	Požizovací cena	44
4.3.2	Dokumentace a celková komunitní odezva	45
4.3.3	Využití v průmyslu	46
4.3.4	Dostupné vývojové prostředí a knihovny	47
4.3.5	Největší využití na trhu	48
4.4	Zhodnocení: Pořizovací cena	48
4.5	Zhodnocení: Dokumentace a celková komunitní odezva	49
4.5.1	Průzkum komunitní odezvy	50
4.6	Zhodnocení: Využití v průmyslu	51
4.7	Zhodnocení: Dostupné vývojové prostředí a knihovny	52
4.8	Zhodnocení: Největší využití platformem	52
4.9	Celkové zhodnocení vybraných platformem	54
5.	Závěr	56
6.	Seznam použitých zdrojů	57

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2011	15
Obrázek 2 - Počet zařízení připojených k internetu	17
Obrázek 3 - Technologie pro přenos dat	19
Obrázek 4 - Cloud computing	25
Obrázek 5 - Popis Arduino Uno	27
Obrázek 6 - Arduino IDE	28
Obrázek 7 - Popis Raspberry Pi 3	30
Obrázek 8 - Python Shell	30
Obrázek 9 - Popis Micro:bit v2	32
Obrázek 10 - Membránová maticová klávesnice 4x3	33
Obrázek 11 - ESP-01	34
Obrázek 12 - Infračervený senzor překážek	35
Obrázek 13 - Zapojení maticové membránové klávesnice 4x3	38
Obrázek 14 - Zapojení infračerveného senzoru překážek	39
Obrázek 15 - Zapojení ESP-01	39
Obrázek 16 - Zapojení bzučáku	40
Obrázek 17 - Schéma zapojení zařízení	40
Obrázek 18 - Vývojový diagram	42
Obrázek 19 - Blynk	43
Obrázek 20 - Blynk: events	43
Obrázek 21 - Blynk: Dashboard	44
Obrázek 22 - Graf cen zařízení	49
Obrázek 23 - Graf komunitní odezvy	51
Obrázek 24 - Největší využití platformem – Celosvětové za posledních 5 let	53
Obrázek 25 - Největší využití platformem – Celosvětové 2004 - doposud	53

Obrázek 26 - Největší využití platformem – Česká republika 2004 - doposud.....	53
--	----

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Příklady Arduino desek	26
Tabulka 2 - Příklady Raspberry Pi desek.....	29
Tabulka 3 - Saatyho matice: Dokumentace	50
Tabulka 4 - Výpočet kritéria dokumentace.....	50
Tabulka 5 - Komunitní odezva	51
Tabulka 6 - Saatyho matice: Vývojové prostředí a knihovny	52
Tabulka 7 - Výpočet kritéria vývojové prostředí a knihovny	52
Tabulka 8 - Párové porovnávání kritérií	54
Tabulka 9 - Metoda ORESTE: Uspořádání	54
Tabulka 10 - Metoda ORESTE: Matice D.....	54
Tabulka 11 - Metoda ORESTE: Matice R.....	55

Seznam použitých zkratk

- IoT – Internet of Things
- ARPA - Advanced Research Projects Agency
- DARPA - Defense Advanced Research Projects Agency
- IDE - Integrated development environment
- USB - Universal Serial Bus
- RAM - Random Access Memory
- ARM - Advanced RISC Machine
- LED - Light-Emitting Diode
- PLC - Programmable Logic Controller
- WiFi - wireless fidelity

1. Úvod

V roce 2003, na zemi bylo 6,3 miliardy lidí s více jak 500 zařízeními připojenými k internetu. Podle zprávy Ericsson Mobility Report roste počet připojených zařízení k internetu o 19 % ročně. Celkově se tedy odhaduje, že v roce 2023 bude 32 miliard zařízení používat internet. Z toho asi 20 miliard budou IoT přístroje, jako čidla, snímače nebo chytré spotřebiče.^[1]

IoT již není fenoménem pouze ve světě informačních a komunikačních technologií, ale také u běžných spotřebitelů, kteří se moc nezajímají o moderní technologie. Každým dnem se zvyšuje počet zařízení připojených k internetu, které můžeme najít v oblastech průmyslu jako logistika, zdravotnictví, energetika, doprava, meteorologie, zemědělství atd. Dále se také objevují v tak zvaných „Chytrých domácnostech“ nebo na veřejných místech, například chytré lavičky.

Důvodů nárůstu a vývoje IoT zařízení je několik, získávání více přesnějších dat pro lepší rozhodování, možnost sledování a monitorování věcí, zjednodušování pracovních procesů pomocí automatizace. Díky těmto vlastnostem se v průmyslu zvyšuje efektivnost výroby a snížení nákladů. V chytrých domácnostech mají spotřebitelé větší kontrolu nad svým majetkem a také zajištěný větší komfort.

Proto jsem se rozhodl, že se budu tomuto fenoménu věnovat. Bakalářská práce se věnuje analýze IoT a konkrétněji se specializuje na hardwarové platformy IoT. Tyto platformy budou analyzovány a dále vyhodnoceny pro své nejlepší využití ve vývoji IoT.

2. Cíl práce a metodika

2.1 Cíle práce

Bakalářská práce je tematicky zaměřena na hardwarové platformy pro vývoj zařízení internetu věcí (IoT). Hlavní cíl bakalářské práce je zhodnocení jednotlivých hardwarových platforem vhodných pro vývoj prototypů zařízení internetu věcí. Dílčí cíle práce jsou:

- charakterizovat problematiku vývoje prototypů zařízení IoT,
- analyzovat vybrané dostupné hardwarové platformy pro vývoj IoT prototypů,
- navrhnout prototypy založené na vybraných platformách.

2.2 Metodika

Teoretická část bakalářské práce bude založena na studiu odborné literatury v oblasti IoT a hardwarových platforem vhodných pro konstrukci prototypů IoT zařízení. Dále budou analyzovány vybrané hardwarové platformy a definovány požadavky na prototyp.

V praktické části práce budou, na základě poznatků zjištěných v teoretické části, navrženy prototypy na vybraných hardwarových platformách. Na základě hodnocení prototypů budou formulovány závěry a doporučení.

3. Teoretická východiska

V teoretické části bakalářské práce je charakterizována problematika internetu věcí (IoT), jeho vývoj a potenciální budoucnost. Dále bude charakterizováno, jak internet věcí funguje a jaké prostředky využívá. Konec teoretické části analyzuje vybrané hardwarové platformy.

3.1 Internet věcí

Internet věcí je nový termín pro označení rostoucího trendu v informačním a komunikačním světě technologií. Obecně jde o princip sběru dat pomocí hardwarů, obsahující senzory, které sbírají data. Data jsou následně analyzována a vyhodnocena. Výsledky jsou dále aplikovány nejčastěji pro zvýšení komfortu a zlepšení kvality lidského života, nebo pro průmyslové využití.

Existuje mnoho definic pro internet věcí, dle pohledu na problematiku. „IoT (Internet of Things – internet věcí) je nově vznikající globální síťová architektura založená na internetu, která usnadňuje výměnu zboží a služeb v rámci globálních dodavatelských sítí a má vliv na bezpečnost a soukromí všech zúčastněných stran.“ [2]

„Internet věcí je systém vzájemně propojující výpočetní zařízení, mechanické a digitální stroje, objekty, zvířata nebo lidi, kterým je poskytnuty jedinečné identifikátory a schopnost přenášet data přes síť bez nutnosti interakce s člověkem nebo počítačem.“ [3]

„Síť fyzických zařízení, vozidel, domácích spotřebičů a dalších zařízeních, která jsou vybavena elektronikou, softwarem, senzory/čidly, a hlavně síťovou konektivitou. Ta umožňuje těmto zařízením se navzájem propojit a vyměňovat si data.“ [4]

3.1.1 Vývoj a vznik internetu věcí

Termín internet věcí je v lidské historii poměrně nový. Nicméně, myšlenka propojení a komunikace jednoho přístroje s druhým, se objevuje již první polovině 19. století. Prvním přístrojem s touto myšlenkou byl telegraf, vyvinut v 30. a 40. letech 19. století. Další přístroj, který byl popisován jako „bezdrátový telegraf“, je rádio. V roce 1894 italský vynálezce Guglielmo Marconi začal pracovat na myšlence přístrojů, které nepotřebují být vzájemně propojeny fyzickými kabely. Důležitý moment nastal 3.června 1900, kdy brazilský kněz Roberto Landell de Moura dokázal přenést lidský hlas pomocí bezdrátových přístrojů, využívající elektromagnetické vlny (Hertzovy vlny). Tento experiment je důležitým milníkem pro internet věcí, protože vyvinul důležitou část, a to bezdrátový přenos dat. ^[5]

Další důležitá část, je vznik prvního počítače ve 20.století. Slovo počítač bylo poprvé použito již v roce 1613 v knize *The Yong Mans Gleanings* od Richarda Braithwaita, kde počítačem byli nazváni lidi, kteří uměli počítat. (*Oxford English Dictionary* (Third ed.). Oxford University Press. March 2008). První koncept automaticky výpočetního počítače byl navržen 1822 Charlesem Baddagem, ale nikdy nebyl dokončen. Mezi lety 1936 až 1938 byl vynalezen první binárně programovatelný počítač, který vynalezl Konrad Zuse. V tomto období též vznikl Turingův přístroj (Turing machine), pojmenovaný dle Alana Turinga, díky kterému vznikl první koncept moderního počítače. ^[5]

Důležitý milník internetu věcí je vznik samotného internetu, který vznikl v Americe 1962, díky výzkumnému grantu poskytnutý agenturou ministerstva obrany pro pokročilé výzkumné projekty (ARPA – později DARPA). Původně měl sloužit pro vědce, aby mohli komunikovat v případě zničení elektrického propojení. Později byl navržen a implementován na univerzitách a telekomunikačních společnostech. ARPA vznikla, jako přímá odpověď na vypuštění prvního satelitu (Sputnik) Sověty. Hlavní cíl byl, aby USA dokázala konkurovat USSR ve studené válce. Agentura též vyvinula ARPANET, který byl spuštěn 1969. V roce 1984 se ARPANET rozdělil na ARPANET, který pokračoval ve vědeckých aktivitách a MILNET sloužící pro vojenské účely. Ten samý rok Tim Berners-Lee navrhnul World Wide Web a 1991 vytvořil a spustil první webovou stránku. ^[6]

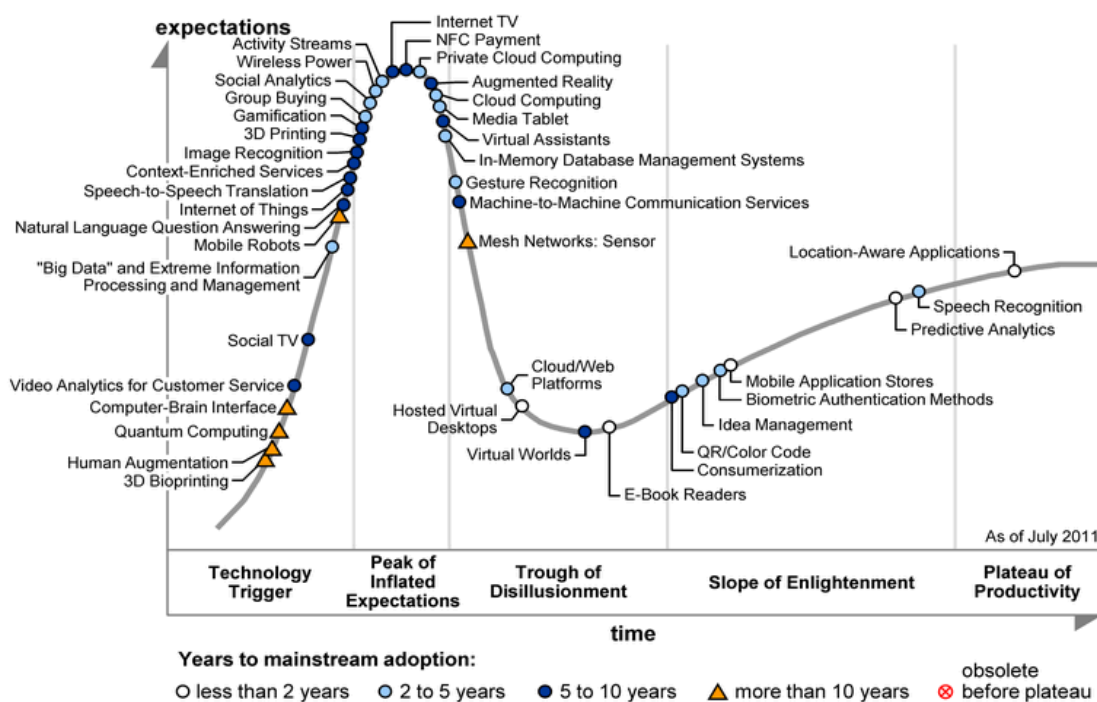
Pojem internet věcí poprvé použil, spoluzakladatel Auto-ID, Kevin Ashton ve svém článku publikovaný 1999.

"Then I thought of an 'Internet of Things,' and I thought, 'That'll do – or maybe even better.' It had a ring to it. It became the title of the presentation."

– Kevin Ashton, on how he named The Internet of Things [7]

Velkou pozornost internet věcí získal v roce 2010, kdy unikly informace o službě Google StreetView. Služba začala zobrazovat 360stupňové obrázky, ale také uschovala data z wifi sítí spotřebitelů. Ten samý rok oznámila čínská vláda, že vývoj internetu věcí je strategická priorita v dalším pětiletém plánu. V dalším roce společnost zabývající se průzkumem trhu Gartner, která vytvořila „hype-cycle for emerging technologies“, zahrнула nový fenomén – internet věcí. (viz obrázek 1) V Následujících letech internet věcí nabíral na popularitě. 2012 na největší technologické konferenci v Evropě bylo hlavní téma internet věcí. Známé informační a technologické magazíny, jako Forbes, Fast Company nebo Wired, začaly používat slovo internet věcí pro označení tohoto fenoménu.

Obrázek 1 - Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies 2011



Zdroj: (22)

3.1.2 Budoucnost internetu věcí

Nové technologické trendy se stále přesouvají k větší rychlosti a nižšímu zpoždění přenosů dat, očekává se zdvojnásobení růstu zařízení připojených k internetu každých 5,3 let. V roce 2018 počet fyzických zařízení připojených k internetu byl 23,1 miliard. Nynější čísla odhadují 26,5 miliard zařízení v roce 2020. Předpokládá se, že tento počet poroste. Podle výzkumu Statista by počet zařízení připojených k internetu měl vzrůst na 75,5 miliard do roku 2025. (viz obrázek [2](#))

V následujících letech se očekává, že podobu internetových technologií a internetu věcí, budou určovat čtyři hlavní trendy.

První trend se nazývá „exaflood“ nebo také „záplava dat“. Termín vymyslel a charakterizoval Bret Swanson, obecně znamená, velký nárůst sbíraných a navzájem vyměňovaných dat. Dat je již v dnešní době mnoho a současné sítě nejsou připraveny na budoucí exponenciální růst průtoků dat, proto bude důležité v následujících letech nalézt nové způsoby, jak data vyhledávat, získávat a přenášet.

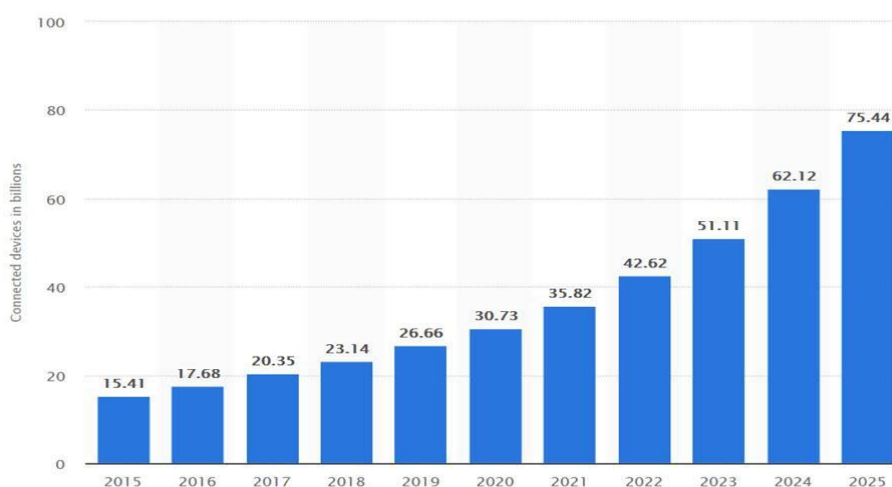
Druhý trend je množství energie, potřebné k provozu zařízení zapojené v síti internetu věcí, u kterých se očekává rapidní snížení spotřeby. Očekává se v budoucnu, že zařízení či systém bude získávat energii od sebe sama.

Třetí trend se projeví ve fyzické stránce zařízení, které se neustále zmenšují. Vědci, zabývající se miniaturizací se již přibližují k podobě jednoelektronového tranzistoru, což má být nejmenší možná fyzická podoba.

Čtvrtý a poslední hlavní trend jsou autonomní zdroje, kvůli neustálému růstu složitosti systému. Předpokládá se, že se časem stanou nezvladatelné a budou bránit ve vzniku nových aplikací a služeb, pokud nezačnou mít určitý druh autonomie.

S tímto očekávaným růstem, ale také vznikají rizika v používání internetu věcí. Stále více firem zaznamenává prolomení bezpečnosti v síti. Podle publikace KPMG 92 % uživatelů internetu věcí znepokojují otázky týkající se bezpečnosti.^[9] Nejčastější útok je ve formě „land and expand“. Ve zkratce se jedná o napadení jednoho nebo více zařízení v síti internetu věcí a následné rozšíření, nejčastěji ransomwaru nebo spywaru, do ostatních zařízení v síti. Podle dříve zmiňovaných prognóz růstu počtu zařízení internetu věcí, lze předpokládat zvýšení bezpečnostních rizik.

Obrázek 2 - Počet zařízení připojených k internetu



Zdroj: (23)

3.2 Zabezpečení

Dle předešlé kapitoly (1.3.2), lze očekávat signifikantní nárůst počtu věcí připojených k internetu, v jakékoliv formě od dětské hračky po chytré spotřebiče. Kyberbezpečnost internetu věcí přidává další vrstvu složitosti, jelikož jde o technologii, kde se sbližuje kybernetický svět s fyzickým. Stále více dochází k navrhování komplexnějších scénářů na propojení zařízení v organizacích či domácnosti. Z tohoto důvodu se i nejobyčejnější zařízení může stát nebezpečné pro celou síť zapojených zařízení. Tyto útoky nejčastěji kradou data, ale mohou i poškodit fyzická zařízení nebo dokonce osoby, která tato zařízení obsluhují nebo na ně spoléhají.

Skupina vědců z Microsoftu (Microsoft Research NExT Operating Systems Technologies Group) zabývající se ve své studii zabezpečením zařízení připojený k internetu. Došli k závěru, aby zařízení mohla být klasifikována, jako zabezpečená musí splňovat sedm vlastností, které odpovídají na sedm otázek. ^[11]

- Hardwarové zabezpečení (Root of Trust)

Obsahuje zařízení unikátní, nepadělatelnou identitu, která je neodlučitelná od hardwaru?

Zařízení by mělo obsahovat nepadělatelné kryptografické klíče generované a zabezpečené hardwarem a zároveň fyzické protiopatření pro odolání útoků.

- Malá důvěryhodná výpočetní základna (Small Trusted Computing Base)

Je většina softwaru zařízení mimo důvěryhodné výpočetní základny?

Výpočetní základna je složena ze softwaru a hardwaru, které vytvářejí a zabezpečují danou síť. Měla by zůstat malou, jak jen to parametry dovolují, aby nemohla být vystavena případným útokům.

- Obrana při prolomení zabezpečení (Defense in Depth)

Je zařízení stále zabezpečeno, když je prolomeno zabezpečení jedné vrstvy softwarového zařízení?

Každá síť by měla mít několik protiopatření, která při prolomení zabezpečení zastaví nebo alespoň zmírní následky útoku. Pokud je aplikováno jedno nebo žádné protiopatření, útok může způsobit katastrofální škody.

- Rozdělení (Compartmentalization)

Ohrozí chyba jednoho z komponentů zařízení celou síť zařízení?

Hardware by měl obsahovat určité bariéry mezi sebou, aby se případný úspěšný útok nemohl rozšiřovat dále.

- Autentizace na základě certifikátu (Certificate-based Authentication)

Používá zařízení certifikáty místo hesel na autentizaci?

Zařízení používají na komunikaci mezi sebou certifikáty, což je určitý výkaz identity a autentizace, která je podepsaná tajným klíčem a ověřen veřejně známým klíčem.

- Obnovitelné zabezpečení (Renewable Security)

Je software zařízení automaticky aktualizován?

Zařízení se musí neustále aktualizovat, protože útočníci neustále vymýšlejí nové způsoby, jak prolomit zabezpečení zařízení. Proto je zapotřebí neustálé aktualizace zařízení, proti potencionálně komplexnějším hrozbám.

- Selhání Zpětné vazby (Failure Reporting)

Nahlašuje zařízení chyby svému výrobci?

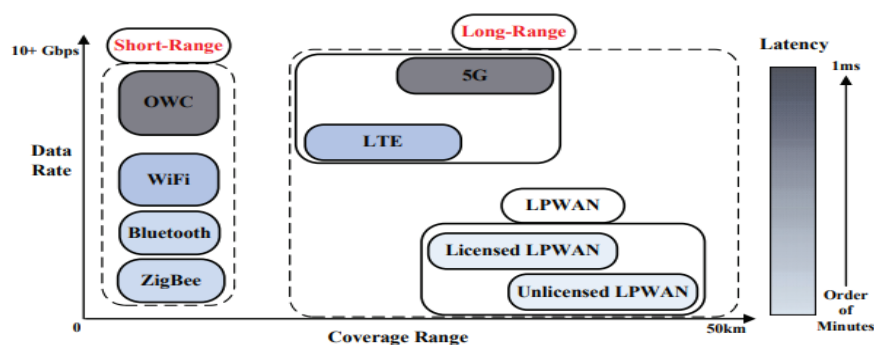
Zařízení by mělo mít naprogramované určité triggery, které by měly nahlašovat potencionální chyby či útoky.

3.3 Technologie pro přenos dat

Základní předpoklad pro zařízení spadající do IoT je propojenost zařízení a přenos dat. Iot má již velmi širokou škálu různých zařízení. Každé toto zařízení, a také jeho síť, jsou vytvořeny pro odlišné účely, proto není možné používat univerzální technologii pro přenos dat, pro všechny sítě. Technologie mají klíčové vlastnosti: Rychlost přenosu dat, dosah, náročnost energetická, obtížnost zpracování dat a bezpečnost. Každá technologie má své výhody a nevýhody.

Podle nové studie se dají technologie rozdělit podle dosahu na krátkou vzdálenost (short-range) a dlouhou vzdálenost(long-range).^[20] Mezi krátko vzdálenostní se zařazují například dominantní Bluetooth, ZigBee, WiFi a nová vzrůstající technologie OWC. Technologie pro dlouho vzdálenostní jsou například LTE, 5G a LPWAN.

Obrázek 3 - Technologie pro přenos dat



Zdroj: (24)

3.3.1 Bluetooth

Technologie Bluetooth byla vytvořena firmou Nokia v devadesátých letech, jako domácí projekt. Je definovaná standardem IEEE 802.15.1. Řadí se mezi technologie pro krátkou vzdálenost (maximální přenos dat je okolo 100 metrů). Bluetooth funguje na principu přenosu malých datových paketů na 79 kanálech o šířce pásma 1Mhz, za použití radiových vln v bezlicenční pásmu 2,402GHz – 2.480GHz. Rychlost přenosu dat je 1Mbps – 3Mbps. Bluetooth je ale pro některé projekty v internetu věcí nepraktické, kvůli vysoké spotřebě energie. Kvůli tomuto problému vznikl Bluetooth Low Energy (BLE) při představení Bluetooth 4.0.

BLE je oproti klasickému Bluetooth optimalizované pro přenos malých dávek dat. BLE definuje 40 použitelných kanálů pro přenos. Tyto kanály jsou rozděleny na 3 primární a 37 datových. Technologie se stala standardem v roce 2010 a to i přes rychlý schvalovací proces. Technologie těžila z velké poptávky, kterou si zasloužila kvůli populárnímu jménu Bluetooth.

Bluetooth 5.0 je nejnovější verze, která se objevila na trhu na konci roku 2018. Při porovnání s předchozí verzí Bluetooth 4.0, dokáže nová verze přenos dat až 4x větší a může dosáhnout rychlosti až 2Mbps.^[20]

3.3.2 ZigBee

ZigBee je další krátko vzdálenostní technologie. Je definována standardem IEEE 802.15.4. Zigbee má v dnešní době široké využití v IoT. Nejčastěji je aplikovaná pro chytrou domácnost, industriální monitoring a zdravotnictví. Podobně jako BLE, Zigbee je též považována za nízko spotřební technologii. Tato technologie funguje v bezlicenčním pásmu hlavně 2.4GHz a volitelně může fungovat i v 868MHz nebo 915MHz. Jeho výchozí nastavení 2.4GHz používá 16 kanálů o šířce pásma 2MHz. ZigBee je schopno být propojeno až s 255 zařízeními s maximální velikostí 128 B. Přenos dat dosahuje až 100 m podle prostředí, kde je zařízení umístěno.

V technologii ZigBee jsou definována tři typy zařízení:

1. ZigBee coordinator

Je nejvíce schopné zařízení v ZigBee. Toto zařízení slouží k určování úkolů pro celou danou síť, dále také může sloužit jako most, tedy může propojit svoji síť s jinou sítí. Toto zařízení shromažďuje všechny informace o síti a slouží i jako zabezpečení dané sítě. Takovéto zařízení může být v síti pouze jedno.

2. ZigBee router

Toto zařízení formuje síť pro přeposílání dat.

3. ZigBee end device

Jsou koncové zařízení, které jsou propojeny se ZigBee coordinator a ZigBee Router, ale nemohou být propojeny mezi sebou, kvůli bezpečnostním důvodům. (3.2)^[20]

3.3.3 WiFi

WiFi je zkratka pro technologie Wireless Fidelity. Je standardem IEEE 802.11 WiFi je označení pro několik standartu používající rádiové vlny v síti WLAN. Rozdíl mezi WiFi a ZigBee je v propojení mezi zařízeními. WiFi technologie poskytují alespoň 1 míli (1,61m) bezdrátového připojení pro zařízení k internetu, s větší pokrytím a rychlejším přenosem dat. WiFi obsahuje několik generací technologií. Například standard IEEE 802.11a a IEEE 802.11b byly vytvořeny v roce 1999, kde 802.11a podporuje rychlost přenosu až 54Mbps v 5GHz a IEEE 802.11b může dosáhnout rychlosti 11Mbps v 2.4GHz. V roce 2003 vznikl standard IEEE 802.11g s rychlostí přenosu až 54Mbps v 2.4GHz. Ovšem tyto technologie nenaplnily očekávání kvůli špatné propustnosti a malé kapacitě. Kvůli tomu vznikly nové generace sítí WLAN. Standardy IEEE 802.11n a IEEE 802.11ac vznikly v letech 2008 a 2014. Tato nová generace signifikantně zvýšila rychlost přenosu na 600Mbps a 7Gbps. Této rychlosti dosáhly pomocí Pulzní hustotní modulaci (Pulse-density modulation) a MIMO (Multiple-input multiple-output) technologie. Nejnovější standard IEEE 802.11ah vznikl v roce pro podporu IoT, který má mnohem větší dosah a nízké nároky na spotřebu energie. Funguje v bezlicenčním pásmu 1GHz a šířce pásma 1MHz nebo 2MHz, v některých zemích je povolena šířka pásma až 16MHz. IEEE 802.11ah plánuje poskytovat připojení k internetu až tisícům zařízení s pokrytím až 1 km, ale maximální rychlost je okolo 300Mbps.^[20]

3.3.4 OWC

OWC je další krátko vzdálenostní technologie pro bezdrátové připojení. Technologie je přizpůsobena pro podporu vnitřních IoT zařízení. Oproti WiFi a jiným WLAN technologiím, které používají rádiové vlny, OWC používá optickou bezdrátovou komunikaci. Při přenosu komunikace mezi zařízeními používá visible light (viditelné světlo), infrared (infračervené světlo) nebo ultraviolet (ultrafialové světlo). Technologie byla testována v akademické i industriální sféře. Testovací týmy zjistily, že technologie dosahuje rychlosti přenosu dat až několika GBps s velmi nízkou spotřebou energie. OWC se v dnešní době používá nejčastěji tam, kde WiFi a podobné technologie mají omezené fungování nebo špatné přenosy dat. OWC se proto používá například v letadlech, podvodními stroji, ve špatně dostupných místech, pro komunikaci s autonomními vozidly a v chemických závodech, či elektrárnách, ve kterých je omezen použití rádiových vln. Momentálně je ve vývoji několik typů technologie OWC. Mezi nejvíce používané se řadí viditelné světlo (VLC) a paprskově řízené infračervené světlo (BS-ILC).^[20]

3.4 Protokoly

Pro IoT je jedna z nejdůležitějších složek, tak zvané protokoly. Protokoly slouží pro přenos dat malého objemu dat (10 b až 100 b), z důvodu nižších energetických a paměťových nároků. Protokoly původně nebyly vytvořeny pro IoT. Protokoly byly odvozeny od protokolů telekomunikačních. Tato kapitola popíše nejznámější protokoly.

3.4.1 CoAP

CoAP (Constrained Application Protocol) je request/response (dotaz/odpověď) protokol standardizovaný IETF (Internet Engineering Task Force). Je primárně navržen pro komunikaci M2M (machine - machine) a je ideální pro nízko energetické zařízení. CoAP používá pro přenos dat protokol UDP. CoAP kvůli absenci zabezpečujícímu mechanismu, využívá DTLS (Datagram Transport Layer Security), který zajišťuje zabezpečení. Výhoda CoAP je i snadná přeložitelnost do HTTP, který dovoluje použít metody, jako GET, PUT, DELETE a POST.

Protokol používá tak zvanou reliability, který rozlišuje čtyři typy zpráv.^[21]

1. Confirmable (CON)

Dotazová zpráva, která vyžaduje potvrzení (ACK) se stejným ID jako měla původní zpráva. Zpráva může být poslána synchronizovaně nebo nesynchronizovaně.

2. Non-Confirmable (NON)

Zpráva nemusí být potvrzena pomocí ACK.

3. Acknowledgment (ACK)

Potvrzuje příjem potvrzené zprávy.

4. Reset (RST)

Potvrzuje příjem zprávy, která nemohla být zpracována.

3.4.2 MQTT

Protokol MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) vznikl v roce 1999 IBM, slouží momentálně pro M2M. Největší výhodou protokolu spočívá v jeho jednoduchosti používání, a i následné implementace. Nejznámější využití protokolu je ve zdravotnictví, a to konkrétně v kardiostimulátorech. Společně s CoAP patří mezi nejpoužívanější protokoly. MQTT používá TCP/IP pro připojení k síti. Protokol funguje na bázi systému zpráv publish/subscribe (zveřejnit/odebírat). Odesílatel (publisher) posílá data, která jsou nejčastěji v blocích. Následně data přijímá broker (mezičlánek), který slouží pro autorizaci a autentizaci odeslaných dat. Daná data následně odešle odběrateli (subscribe).^[21]

3.4.3 XMPP

XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) používá jako základní formát značkovací jazyk XML, pro výměnu informací a účelově navrhnut, aby byl snadno rozšiřitelný. Funguje jako MQTT na publish/subscribe systému a též využívá TCP/IP pro připojení k síti. XMPP je z vybraných protokolů nejstarší, proto ho lze najít ve spoustě aplikacích. Například: Google Talk Communicator, Skype, WhatsApp Messenger, Facebook a Microsoft Messenger.^[21]

3.5 Cloud computing

Cloud computing (také někdy pouze „Cloud“) je označení pro službu, která poskytuje výpočetní výkon uložený na internetových serverech. Služby mohou být například e-mailové schránky, datová úložiště a mnoho dalších. Mezi největší výhody patří nízké ceny za poskytnutí velkého výpočetního výkonu, mnohdy i bezplatné, a snadná dostupnost služeb skrze webové prohlížeče. Další výhodou je zabezpečení dat firem používající Cloud computing, pomocí nejnovějších technologií a odborníků v dané oblasti.

3.5.1 Typy Cloud computingu

Cloud computing je rozdělen na tři typy: Veřejný, privátní a hybridní. Veřejný cloud jsou vlastněné a provozované jinými poskytovateli cloudových služeb, kteří dodávají své výpočetní prostředky, jako jsou servery a úložiště, přes internet. Privátní cloud používá jediná společnost nebo organizace. Výhoda je přizpůsobení zákazníkovi. Hybridní cloud kombinuje veřejný a privátní.

3.5.2 Typy cloudových služeb

Služba cloud computingu spadá do tří hlavních kategorií, podle poskytovaných služeb: infrastruktura jako služba (IaaS), platforma jako služba (PaaS) a software jako služba (SaaS).

Infrastruktura jako služba (IaaS)

Jedná se o nejzákladnější kategorii služeb cloud computingu. Pomocí IaaS se pronajímá IT infrastruktura, jako jsou servery a virtuální počítače, úložiště, síť a operační systémy, od poskytovatele cloudu na bázi průběžných plateb.

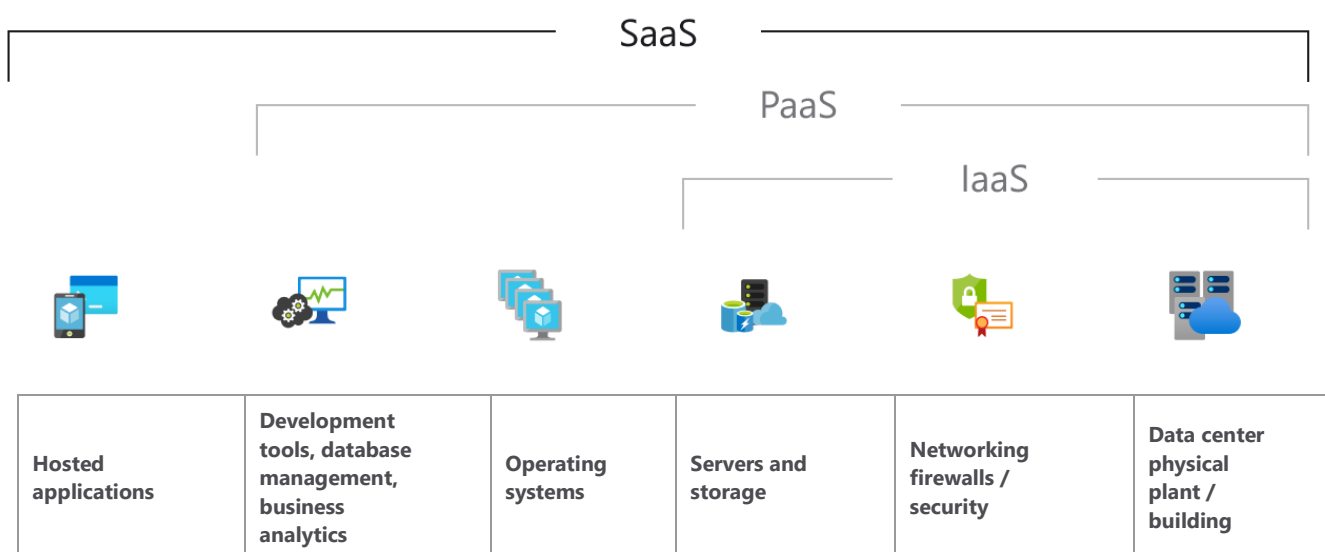
Platforma jako služba (PaaS)

Platforma jako služba odkazuje na služby cloud computingu, které doručují na vyžádání prostředí pro vývoj, testování, doručování a správu softwarových aplikací, Model PaaS je navržený tak, aby usnadňoval vývojářům rychlé vytváření webových nebo mobilních aplikací bez starostí o nastavování a správu podkladové infrastruktury serverů, úložiště, síť a databází potřebných pro vývoj.

Software jako služba (SaaS)

Software jako služba je metoda doručování softwarových aplikací přes internet, na vyžádání a obvykle na základě předplatného. Pomocí SaaS poskytovatelé cloudu hostují a spravují softwarovou aplikaci a její podkladovou infrastrukturu a obsluhují veškerou údržbu, jako jsou softwarové upgrady a opravy zabezpečení. Uživatelé se k aplikaci připojují přes internet, obvykle pomocí webového prohlížeče v telefonu, tabletu nebo počítači.

Obrázek 4 - Cloud computing



Zdroj: (25)

3.6 Hardwarové Platformy

V této kapitole budou charakterizovány jednotlivé hardwarové platformy. Platformy byly vybrány na základě všeobecné známosti a nejčastější používání při návrhu a tvorbě projektů IoT. Vybrané platformy jsou Arduino, Raspberry pi a Micro:Bit.

3.6.1 Arduino

Vývoj platformy

Arduino vzniklo v roce 2005 v severní Itálii, ve městě Ivrea. První prototyp byl navržen a vytvořen Massinem Banzi a jeho kolegy. Hlavním účelem bylo vytvořit snadnou

programovatelnou platformu pro nováčky či studenty elektroniky a zároveň byla cenově dostupnější než konkurenční značky. Díky, této filozofii začal projekt zaznamenávat velký úspěch, což vedlo ke zlepšování a vytváření nových verzí desek Arduina.^[13]

Hardware

Arduino jsou desky plošných spojů (printed circuit board), tyto desky byly navrženy specificky pro použití mikrokontroleru a také obsahují další elektronické komponenty, které jsou potřeba ke správnému fungování mikrokontroleru.

Všechny desky obsahují 8bitové mikrokontrolery typu AVR. Oficiální desky arduina, vyrobené od firmy Smart Projects, používají několik typů čipu, například ATmega8, ATmega168, ATmega328, ATmega1280, ATmega2560. Výjimka je pouze Arduino Due, používající ARM procesor Atmel SAM3X8E. Také obsahují vstupy a výstupy, které jsou standardizované pro použití tzv. shieldů, sloužící výhradně k rozšíření funkcí desky. Trh nabízí několik shieldů, které jsou nazývány dle funkce např. Ethernet shield, WiFi shield, Motor shield a další.

Na trhu se od doby vzniku Arduina objevilo mnoho druhů desek (příklady viz tabulka 1.). Nejčastěji používanou deskou v současné době je Arduino Uno (viz obrázek 4), která je součástí hlavní výrobní linky.^[14]

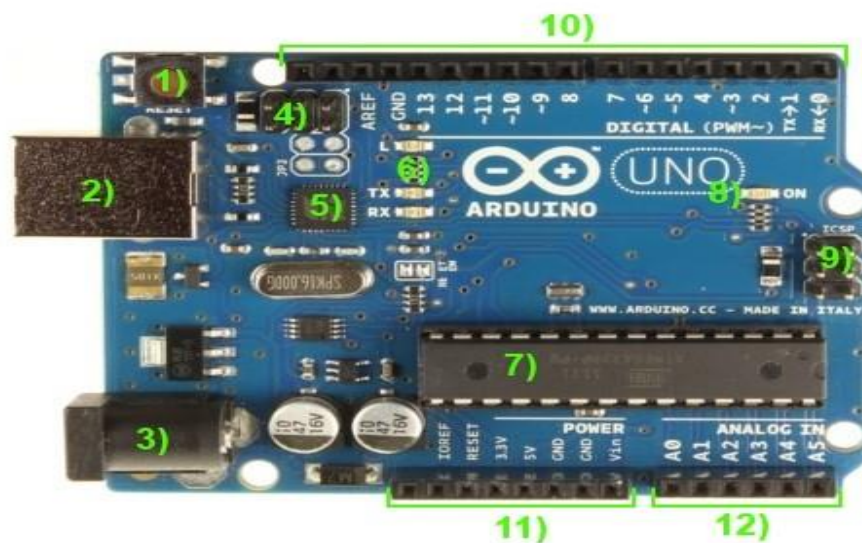
Tabulka 1 - Příklady Arduino desek

Pro začátečníky (Entry level)	Pro komplexnější projekty (Enhanced Features)	Pro Internet věcí (Internet of Things)	Zastarale (retired)
Uno	Nano 33 BLE	Fox 1200	Esplora
Nano	MKR Zero	Wan 1300	Lilypad
Leonardo	Due	MKR1000	Mini
Micro	Mega 2560	Vidor 4000	Fio

Zdroj: <https://www.arduino.cc/en/Main/Products>

- | | |
|----------------------------------|------------------------------------|
| 1 - RESET tlačítko | 2 – USB konektor |
| 3 – Napájecí konektor | 4 – ICSP hlavice pro USB převodník |
| 5 – USB-serial převodník | 6 – Indikační LED dioda L |
| 7 – Hlavní čip | 8 - Indikační LED dioda ON |
| 9 – ICSP hlavice pro hlavní čip | 10 – Digitální pin |
| 11 – Napájecí výstupy (převážně) | 12 – Analogové výstupy |

Obrázek 5 - Popis Arduino Uno



Zdroj: (26)

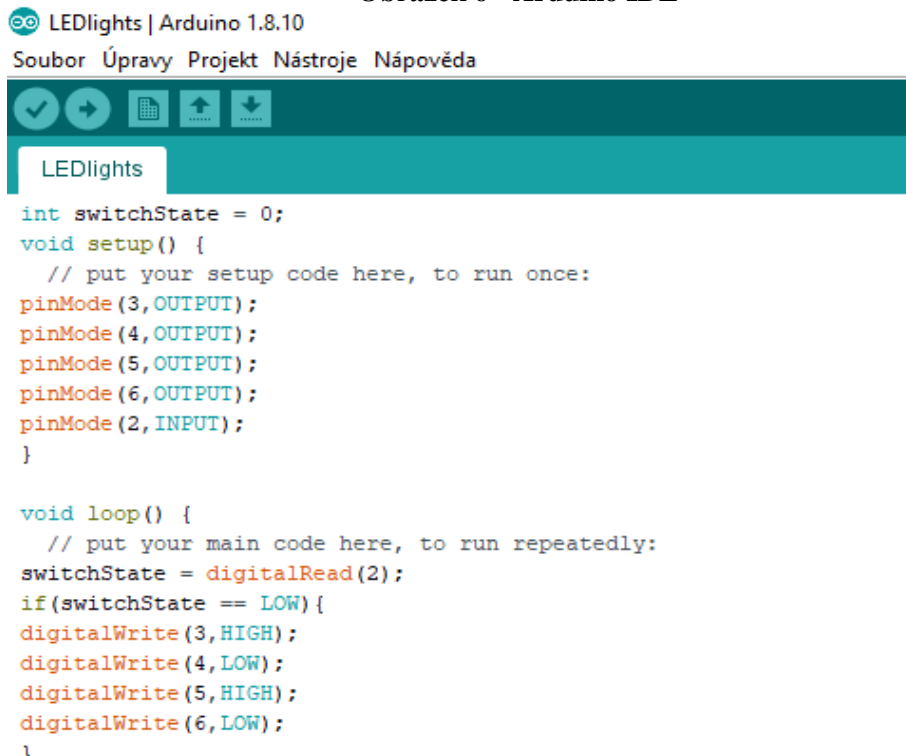
Existují také neoficiální desky, jedná se o tak zvané klony. Dají se poznat podle toho, že mají často v názvu -duino a někdy mají odlišné barvy desky. Tyto desky obsahují specifické funkce pro uzpůsobení konkrétní činnosti. Příklady klonů: ArduPilot, Freduno, Seeduino.

Software

Arduino používá vlastní software Arduino IDE (integrated development environment), který je napsaný v jazyku Java. Software vznikl z výukového prostředí Processing. Následně byl mírně upraven přidáním určitých funkcí, a hlavně C++ knihovnu Wiring. Tato knihovna je v současné době nejrozšířenější jazyk pro programování Arduina. Kvůli její komplexnosti se spekuluje, zdali by Wiring neměl být označen jako

samostatný programovací jazyk. Software je zdarma dostupný na oficiální stránkách Arduina. Součástí Arduina IDE jsou i knihovny, například: Bridge, Ethernet nebo Robot Control. Mnoho dalších knihoven lze stáhnout a následně importovat z internetu.^[14]

Obrázek 6 - Arduino IDE



```
LEDlights | Arduino 1.8.10
Soubor Úpravy Projekt Nástroje Nápověda

int switchState = 0;
void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    pinMode(3, OUTPUT);
    pinMode(4, OUTPUT);
    pinMode(5, OUTPUT);
    pinMode(6, OUTPUT);
    pinMode(2, INPUT);
}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    switchState = digitalRead(2);
    if (switchState == LOW) {
        digitalWrite(3, HIGH);
        digitalWrite(4, LOW);
        digitalWrite(5, HIGH);
        digitalWrite(6, LOW);
    }
}
```

Zdroj: Autor práce

Arduino IDE (viz obrázek 4) obsahuje standartní hlavní panel pro úpravu, import knihoven, připojení desky a další modifikace projektu. Pod panel slouží výhradně k práci s kódem. První tlačítko (začínaje od levé strany) ověřuje správnost kódu. Druhé tlačítko slouží k nahrávání kódu na vybranou desku. Následné tlačítka slouží k vytvoření nového souboru, otevření existujícího souboru a uložení otevřeného souboru. Software automaticky, při vytvoření nového projektu, vytvoří funkci `void setup(){}` , která slouží k vykonání bloků kódu pouze jednou a to při spuštění programu nebo při stisknutí tlačítka RESET (viz obrázek 3). Další vygenerovaná funkce je `void loop(){}` sloužící k opakovanému vykonávání hlavního bloků kódu.

3.6.2 Raspberry Pi

Vývoj platformy

První myšlenka pro zkonstruování Raspberry Pi vznikla v roce 2006 na Cambridge University (Univerzita v Cambridgi). Tým inamatiků – Eben Upton, Rob Mullins, Jack Lang a Alan Mycroft byli znepokojeni velkým počtem tehdejších studentů, kteří nechápali základní fungování počítačů. Tento trend byl nejspíše způsoben školním syllabem, který učil, jak počítače používat, ale neučil, jak fungují. Proto tento tým dalších šest let tvořil dostupnou platformu, která by tento problém vyřešila. V roce 2012 byly dány do prodeje dvě desky, a to levnější a jednodušší Model A, a dražší a výkonnější Model B. ^[15]

Hardware

Všechny modely Raspberry Pi desek obsahují ARM mikroprocesory (CPU), od firmy BroadCom, s grafickým čipem (GPU) VideoCore IV. Rychlost procesorů zaleží na modelu Raspberry Pi, které může být v rozmezí 700 MHz až 1,2 GHz a velikost paměti RAM je v rozmezí 256 MB až 1 GB. Většina desek obsahuje minimálně jeden USB vstup, ale může obsahovat až 4 USB vstupy a HDMI vstup pro přenášení obrazu a zvuku. Novější B-model desky obsahují 8P8C Ethernet port. ^[16]

Raspberry Pi, stejně jako Arduino shields, může využívat tzv. HATs, které jsou využívány k rozšíření funkcí Raspberry Pi desek. Nejzajímavější HATs jsou například ReSpeaker HAT, díky kterému jde ovládat desku pomocí hlasu nebo také pomocí umělé inteligence. Další je například Breakout Board HATs nebo Display HATs.

Na trhu se nabízí několik druhů desek, ale hlavní výrobní linka zůstává s původními deska Model A a Model B, pouze jsou neustále vylepšovány a upravovány. Tyto nové desky jsou ordinálně seřazeny podle nové verze Raspberry Pi X model Y. (X=<1-4>, Y={A,B})

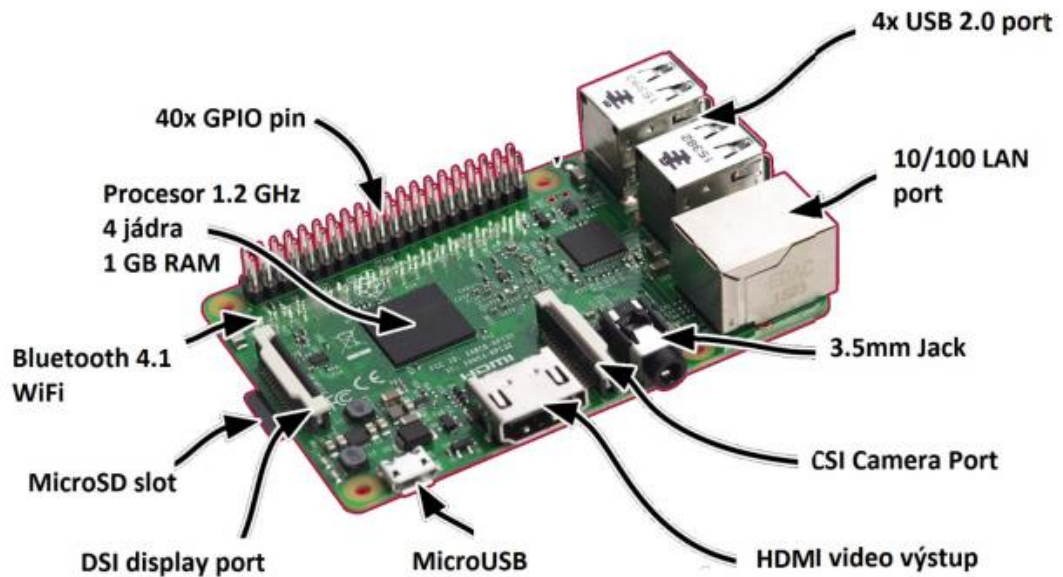
Momentálně se na oficiálních stránkách nabízí tento sortiment:

Tabulka 2 - Příklady Raspberry Pi desek

Model A	Model B	Ostatní nabízený sortiment
Raspberry Pi 1 A+	Raspberry Pi 1 B+	Raspberry Pi Zero W
Raspberry Pi 3 A+	Raspberry Pi 2 B	Raspberry Pi Zero
	Raspberry Pi 3 B+	Raspberry Pi 400 Unit
	Raspberry Pi 4 B	

Zdroj: <https://www.raspberrypi.org/products/>

Obrázek 7 - Popis Raspberry Pi 3



Zdroj: Autor práce

Software

Raspberry Pi na rozdíl od Arduina nemá vlastní vývojové prostředí, ale nabízí přímo několik různých prostředí na programování desek. Na programování tedy lze použít variaci programovacích jazyků například Java nebo Scratch, který slouží jako jazyk pro začátečníky. Nejrozšířenější jazyk na programování desek je Python, který sám je též pokládán za jazyk pro začátečníky.

Obrázek 8 - Python Shell

```
Python Shell
File Edit Shell Debug Options Windows Help
Python 2.7.3 (default, Jan 13 2013, 11:20:46)
[GCC 4.6.3] on linux2
Type "copyright", "credits" or "license()" for more information.
>>> from BrickPi import *
>>> BrickPiSetup()
0
>>> BrickPi.MotorEnable[PORT_A]=1
>>> BrickPiSetupSensors()
0
>>> BrickPi.MotorSpeed[PORT_A] = 200
>>> BrickPiUpdateValues()
0
>>>
```

Zdroj: (27)

3.6.3 Micro:bit

Vývoj platformy

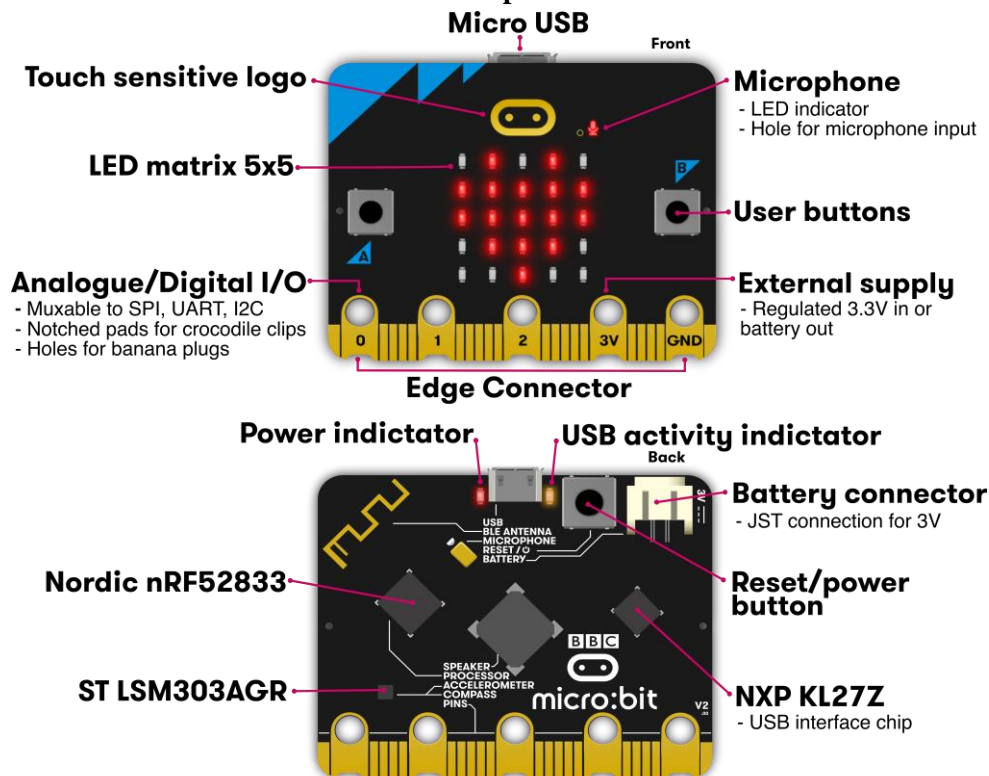
Micro:bit je nezisková organizace a z vybraných platforem je nejmladší. První iniciace projektu začaly v roce 2014. Za zakladatele je považováno BBC v kooperaci s 29 dalšími firmami a organizacemi po celém Spojeném Království. Hlavním účelem vzniku je vzdělávání dětí a vytvoření více inovátorů informatiky v mladých generacích. Projekt vznikl o dva roky později v roce 2016. Od té doby bylo distribuováno přes milion vývojových desek do škol po celém Spojeném Království. ^[17]

Hardware

Vývojové desky Micro:bit používají mikrokontrolery nRF51/nRF52. Byly vyrobeny, zatím, pouze dva typy desek a to v1/v2. Na trhu jsou momentálně ke koupi verze – v1.3x, v1.5, v2. Práce bude charakterizovat pouze v2, jelikož se od svých předešlých desek výrazně neliší, pouze ve výkonu jednotlivých komponentů.

V roce 2020 v2 vešla do prodeje a je sestavena z několika komponentů. Deska obsahuje Nordic nRF52833, který má 64MHz, ARM Cortex-M4 mikrokontroler, 512KB paměti, 128 KB RAM a Nordic s113 SoftDevice, která zajišťuje Bluetooth technologii. Dále obsahuje NXP/Freescale KL27Z, který má 48MHz ARM Cortex-M0+ mikrokontroler a před programované USB 2.0. Na desce je také pozitivní, že obsahuje součástky, které se u předešlých značek desek musely dokupovat zvlášť. A to akcelerometr, magnetometr a MEMS mikrofon. Na napájení desky je zde MicroUSB konektor a konektor na baterie. Deska obsahuje čtyři tlačítka, z toho tři jsou taktilní (dvě pro obsluhu nahrané aplikace a jedno pro restart desky) a jedno tlačítko sensorové, fungující na základě doteku. ^[18]

Obrázek 9 - Popis Micro:bit v2



Zdroj: (28)

Software

Micro:bit stejně jako Raspberry pi nemá vlastní specializované vývojové prostředí. Deska ale podporuje velké množství kódovacích prostředí pro programování desky. Na oficiálních stránkách jsou vypsány všechny podporované prostředí, kterými jsou například MakeCode, MATLAB, PyCharm, ale také i Arduino IDE (3.4.3). Důležité, aby prostředí generovalo speciální typ souboru .hex soubor. Micro:bit, také podporuje tak zvaný „Flash code“, což je programování desky pomocí mobilní aplikace a následné použití Bluetooth technologie.(3.3.1) [19]

3.7 Komponenty pro vývoj prototypu zařízení IoT

V této kapitole budou charakterizovány jednotlivé komponenty pro vývoj prototypu zařízení spadající do IoT.

Toto zařízení musí splňovat podmínky pro zařazení do IoT. Tyto podmínky jsou například – nízká spotřeba energie zařízení, nízké náklady a především musí obsahovat komunikační schopnosti pro přenos dat, nejlépe bezdrátové.

Jako zařízení bylo vybráno zařízení zabezpečující garáž autora. Jedná se o bezdrátové zařízení, které zaznamená otevření hlavních dveří garáže. Po otevření dveří se musí zadat bezpečnostní kód pomocí membránové maticové klávesnice 4x3, pokud bude kód zadán správně, zařízení pošle na Cloud den a čas přístupu. Bezdrátové připojení pro arduino bude zajištěno pomocí modulu ESP-01. Deska Raspberry Pi již obsahuje WiFi připojení. U Micro:bit bude použit specializovaný modul internet věcí, obsahující WiFi připojení. Jako senzor slouží infračervený senzor překážek. Zařízení není nikterak složité, má pouze sloužit jako prostředek porovnání platform. Jako vývojové desky platform budou použity: Arduino Uno, Raspberry pi model 3 a+, Micro:bit v2.

3.7.1 Membránová maticová klávesnice 4x3

Pro vývoj zařízení byla vybrána membránová maticová klávesnice 4x3, kvůli jednoduchosti zapojení a nízké pořizovací ceně. V prototypu zařízení bude sloužit pro zadání bezpečnostního kódu. Obsahuje 12 tlačítek a 8 pinů, tlačítka v jednotlivých řádcích a sloupcích jsou napojeny na společný vodič. Další výhodou je lehkost, omyvatelnost a snadné umístění na zařízení.

Obrázek 10 - Membránová maticová klávesnice 4x3

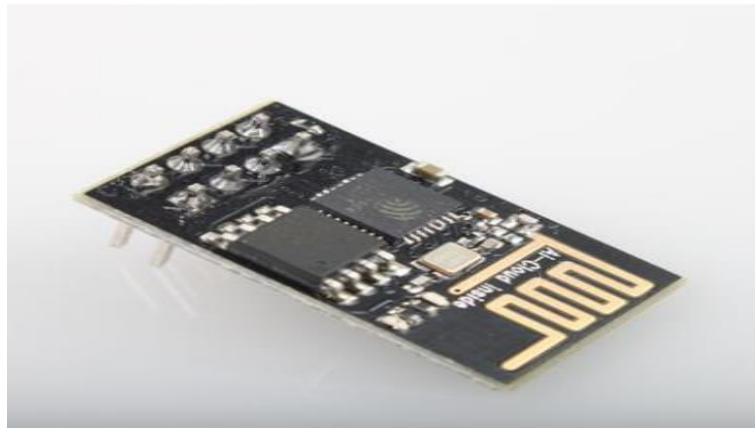


Zdroj: (29)

3.7.2 ESP-01

ESP-01 je nejpoužívanější WiFi modul z řady ESP8266. Modul obsahuje Tensilica L106 32-bit mikro kontrolér, jehož hlavní výhodou je nízká spotřeba energie. Clock speed modulu je 80MHz, ale může dosáhnout až 160MHz. Dále též obsahuje 1 MB externí SPI flash paměti, pro ukládání nahraných programů. Napájecí napětí ESP-01 je 3,3 V. Disponuje 8 piny (VCC, GND, RST, RX, TX, GPIO2, CH_PD). Modul obsahuje PCB anténu pro bezdrátové připojení WiFi, ve kterém je podporován standard 802.11 b/g/n.

Obrázek 11 - ESP-01



Zdroj: (30)

3.7.3 Infračervený senzor překážek

Senzor obsahuje dvě diody. První je infra LED dioda, která vysílá světlo a pokud se do dané vzdálenosti světlo odrazí a přijme jej druhá dioda, je detekován předmět/osoba. Modul obsahuje trimrem, díky kterému jde nastavit citlivost. Senzor může detekovat až na vzdálenost 40 cm. Výstupy mohou být buď na vysoké úrovni (HIGH) nebo nízké úrovni (LOW). Vysoká indikuje, že se v dosahu senzoru nevyskytuje žádný předmět a nízká úroveň indikuje předmět v dosahu senzoru. Senzor dále obsahuje LED diody, které se rozsvítí, pokud je senzor napájen. Další dioda se rozsvítí, pokud je předmět v dosahu.

Obrázek 12 - Infračervený senzor překážek



Zdroj: (31)

4. Vlastní práce

V praktické části práce jsou charakterizována jednotlivá kritéria pro porovnání jednotlivých platforem. Následně jsou popsány kroky pro návrh zařízení spadající do IoT. V poslední části jsou vyhodnoceny výsledky, výhody a nevýhody jednotlivých platforem.

4.1 Stanovení kritérií

Kapitola se zabývá stanovením kritérií pro hodnocení jednotlivých hardwarových platforem, které byly zvoleny pro tuto práci. Kritéria byla vybrána na základě studia odborných zdrojů a následné analýze. Následně byla konzultována s odborníky z praxe.

Stanovená kritéria jsou následující:

- Pořizovací cena
- Dokumentace a celková komunitní odezva
- Nejlepší využití v průmyslu
- Dostupné vývojové prostředí a knihovny
- Největší využití na trhu

4.1.1 Pořizovací cena

Kritérium stanoví celkovou cenu nutnou pro navržení prototypu zařízení. To znamená, že nehledí pouze na cenu jednotlivých hardwarových desek, ale i všechna příslušenství, které je potřeba k dosáhnutí navržení zařízení. Zohledněné budou i oficiální dostupné sady, které často obsahují samotné desky a jiné příslušenství od základních vodičů, senzorů, čipů, ale i dostupné literatury k sadě.

Ceny budou brány z oficiálních stránek dané platformy nebo jejich českého distributora a budou přepočteny z eura v aktuálním kurzu na české koruny. (1€ / 25,5 Kč)

4.1.2 Dokumentace a celková komunitní odezva

Důležité kritérium, které každý programátor využije při programování desek. Kritérium bude zkoumat celkovou kvalitu a kvantitu dostupné dokumentace při návrhu prototypu. Dostupnost tohoto materiálu a případnou lokalizaci.

Dále práce bude zkoumat formy dokumentace například ve formě tutoriálů (návodů) většinou dostupné na webu, video tutoriály (video návody) a dostupné literatury.

Dokumentace bude rozdělena na oficiální a neoficiální. Oficiální dokumentace je vše, co vydal oficiální výrobce. Neoficiální se skládá z komunitních tutoriálů a videí.

4.1.3 Využití v průmyslu

Kritérium bude primárně stanoveno na základě teoreticky zjištěných poznatků z teoretické části práce. Práce stanoví nejvhodnější využití dané platformy pro danou oblast. Mezi oblastí se řadí například průmyslové využití, zdravotnické, zemědělské, logistické, školství atd. nebo využití pro chytré domácnosti.

Kritérium, též může sloužit jako indikátor, pro potenciální uživatele platformy, jakou desku mají zvolit pro své vlastní využití.

4.1.4 Dostupné vývojové prostředí a knihovny

Podstatné kritérium, které charakterizuje a hodnotí podporované vývojové prostředí pro programování desek. Kritérium porovnává, jaká vývojová prostředí jsou podporována pro danou desku, popřípadě zdali má oficiální vývojové prostředí. Dále budou popsány možnosti funkcí a dostupných knihoven.

4.1.5 Největší využití na trhu

Největší využití, a její vývoj dané platformy, se může projevit v jiných důležitých kritériích, jako například dokumentace, finance a celková obtížnost pro práci s deskou. Platforma, která nedosahuje velkého tržního podílu může právě v těchto oblastech strádat. Arduino a Raspberry pi jsou nejznámější značky na trhu, jako zástupci mikrokontrolerů a mikroprocesorů pro vývoj IoT zařízení. Micro:bit je méně využívaná než předešlé dvě platformy.

4.2 Návrh testovacího prototypu zařízení spadající do IoT

V této kapitole bude popsáno zapojení komponentů charakterizované v teoretické části. Dále je popsáno fungování prototypu zařízení. A na závěr je vysvětlena softwarová část zařízení. Zařízení je navrženo na platformě Arduino. Je popsáno v předešlé kapitole (3.10).

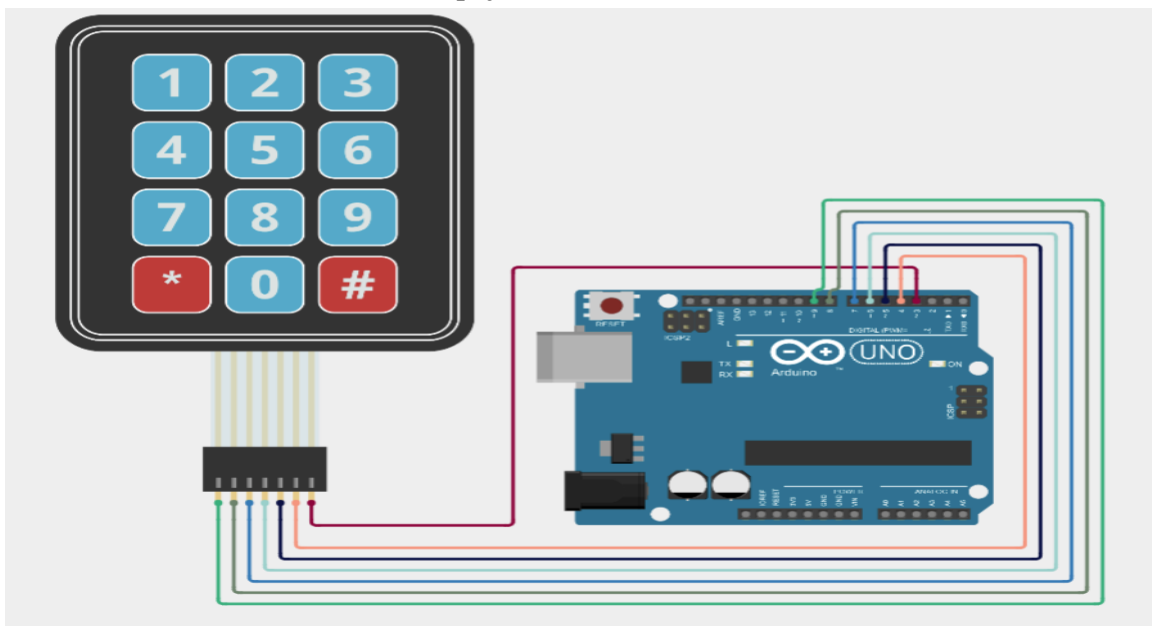
4.2.1 Zapojení hardwarových prvků

V této podkapitole bude vysvětleno zapojení modulů, senzorů a jejich fungování.

Zapojení maticové membránové klávesnice

Jako první bude zapojena maticová membránová klávesnice 4x3. Klávesnice slouží k zadání přístupového kódu zařízení. Pro připojení k desce byly použity propojovací vodiče M/F. Vodiče jsou připojeny na digitální piny 3-9. Klávesnice nemusí mít žádné napájení, jelikož funguje na principu spojení dvou vodičů řádku a sloupce. (obrázek 13)

Obrázek 13 - Zapojení maticové membránové klávesnice 4x3

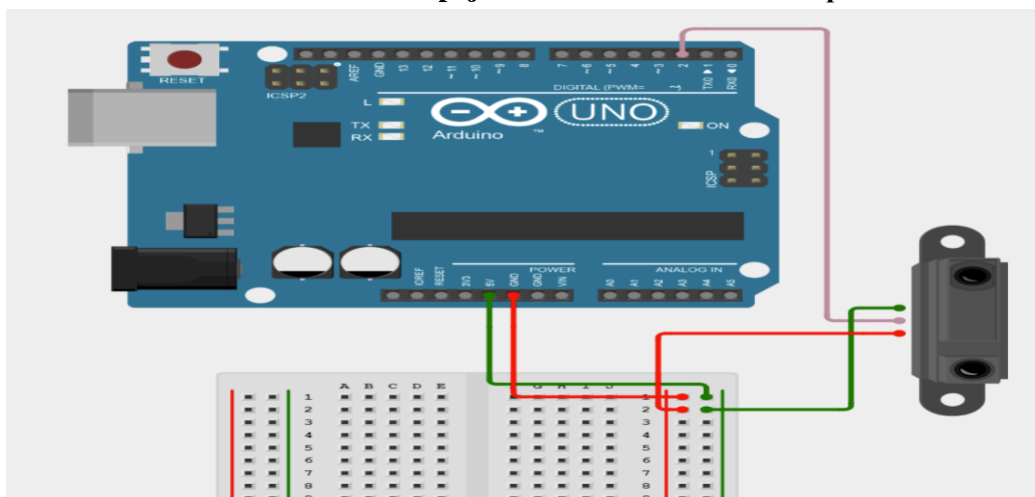


Zdroj: vlastní tvorba v programu Cirkuit studio

Zapojení infračerveného senzoru překážek

Zapojení infračerveného senzoru překážek není nikterak složité. Senzor obsahuje pouze tři piny a to VCC, GND a OUT. K propojení slouží i nepájivé pole, vzhledem nedostatku pinů pro napájení. VCC je zapojeno skrz nepájivé pole na 5 V pin a též GND. Výstup OUT je napojen na digitální pin 2.

Obrázek 14 - Zapojení infračerveného senzoru překážek

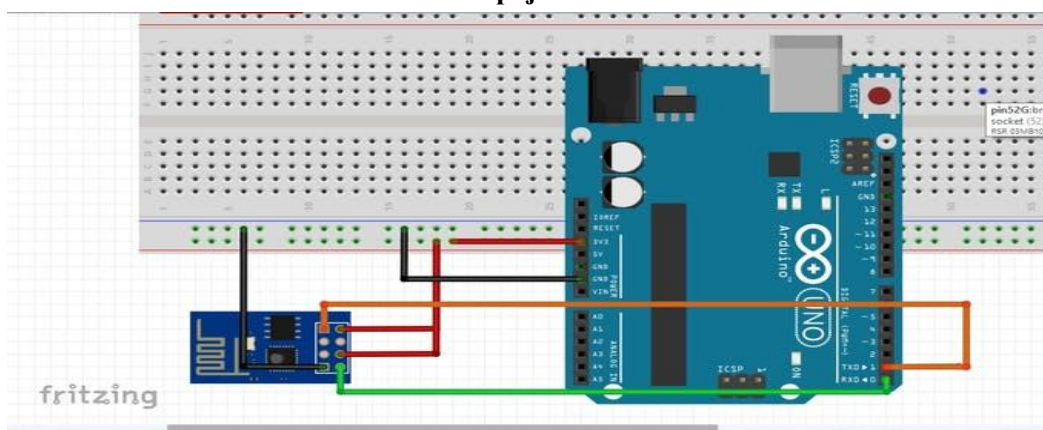


Zdroj: vlastní tvorba v programu Circuit studio

Zapojení ESP-01

Modul ESP-01 je nainstalován pouze pro řešení Arduino, vzhledem k absenci bezdrátového připojení na desce Arduino Uno. Modul obsahuje šest pinů. Z toho je potřeba pro účel práce pouze čtyři GND, VCC, RX, TX, CH_PD. Pin VCC musí být napojen na 3,3V, jinak by mohlo dojít k nenávratnému poškození modulu.

Obrázek 15 - Zapojení ESP-01

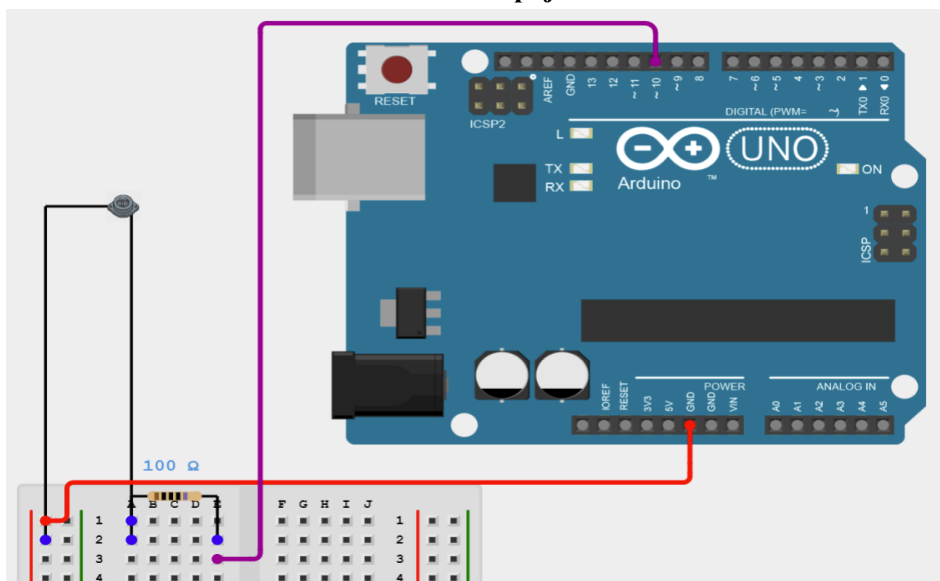


Zdroj: (32)

Zapojení bzučáku

Jako poslední bude zapojen bzučák (Piezo). Modul má dva výstupy. První slouží k uzemnění, tudíž bude připojen k GND. Druhý slouží k připojení na digitální pin 10, který bude propojen přes 100 Ω rezistor.

Obrázek 16 - Zapojení bzučáku



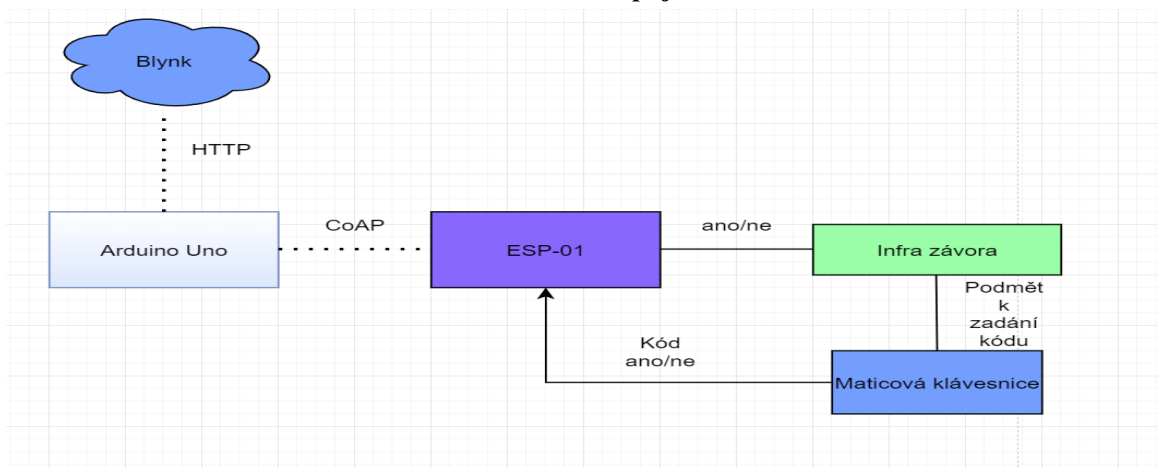
Zdroj: Vlastní tvorba v programu Cirkuit studio

4.2.2 Návrh softwarových prvků

V této kapitole bude charakterizováno celkové schéma zapojení a spolupráce jednotlivých složek zařízení.

V následném schématu je popsáno, jak zařízení funguje na platformě Arduino:

Obrázek 17 - Schéma zapojení zařízení



Zdroj: Vlastní tvorba v draw.io

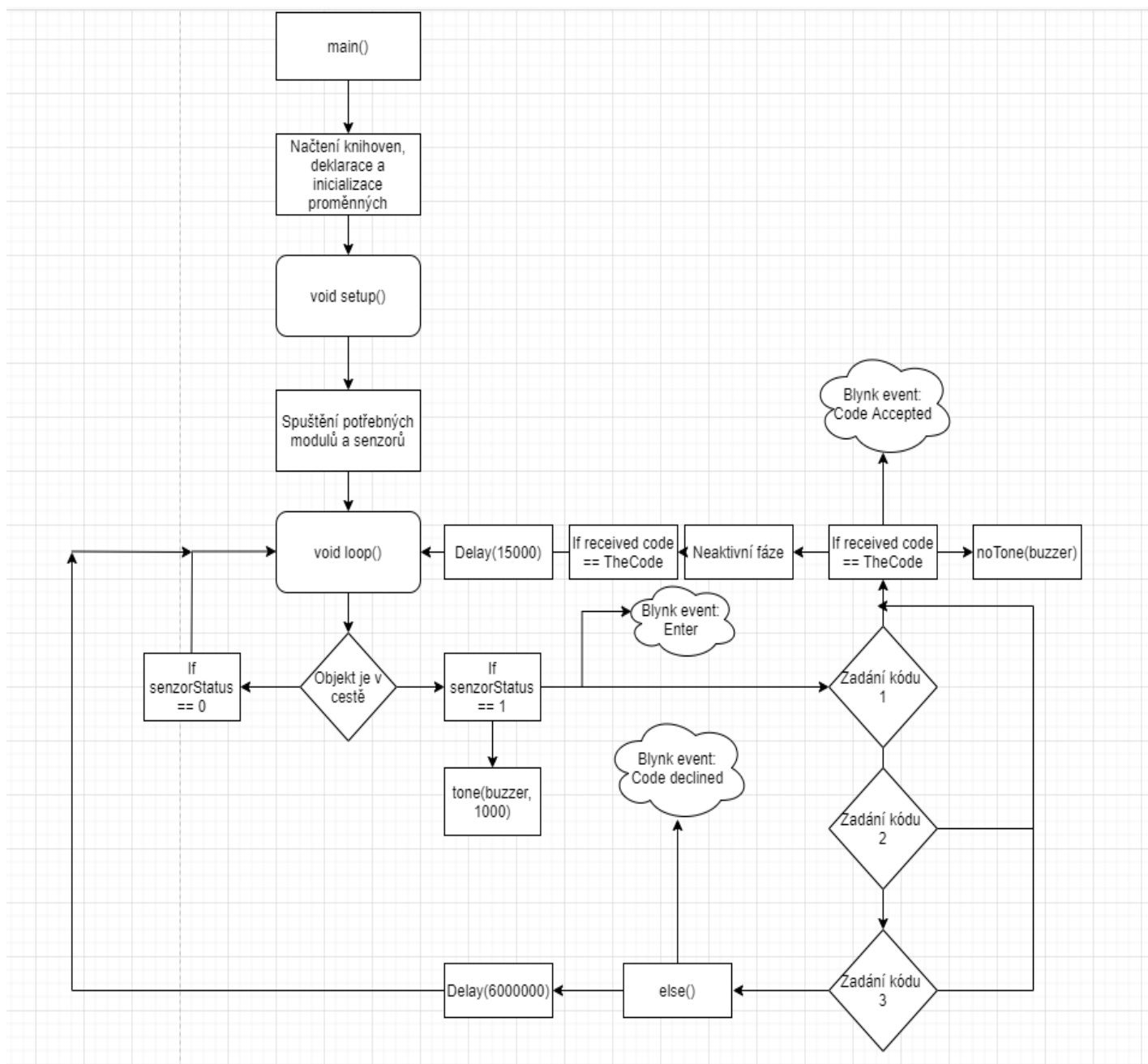
Struktura programu

Začátek programu definuje potřebné knihovny a potřebné piny, na kterých jsou zapojeny moduly a senzory. Dále jsou deklarovány, popřípadě inicializovány, proměnné pro vstupní a výstupní piny například pro maticovou klávesnici:

```
char hexaKeys[ROWS][COLS] = {
    {'1', '2', '3'},
    {'4', '5', '6'},
    {'7', '8', '9'},
    {'*', '0', '#'}
};
```

Následuje funkce `setup()`, ve kterém se spouští a nastavují potřebné moduly a senzory. Tato funkce se spouští pouze jednou, a to při spuštění. Následuje funkce `loop()`, která se provádí až do vypnutí zařízení. V této funkci zařízení čeká v autorově případě na zmizení předmětu z dosahu senzoru. Po zmizení se aktivuje bzučák, který bzučí až do zadání správného kódu. Program dále bude požadovat vstupní kód, který je pro práci pouze jeden fixní v proměnné „TheCode“. Zároveň je zaslán na cloudovou aplikaci aktivace eventu „Enter“. Pro zadání správného kódu jsou tři pokusy. Po zadání správného kódu se bzučák deaktivuje a na cloud se zašle event „Code accepted“. Následuje neaktivní fáze, která trvá až do znovu zadání kódu. Pokud se tak stane je program deaktivován na 15 sekund a vrátí se do původního stavu při spuštění programu. Jestli je kód i po třetí zadán špatně je zasláno na cloud, který na mobilu upozorní na špatně zadaný kód, tedy je spuštěn event „Code declined“. Následně je zařízení deaktivováno na 60 minut. Po hodině se vrátí zpět na začátek funkce `loop()`.

Obrázek 18 - Vývojový diagram



Zdroj: Vlastní tvorba v draw.io

Návrh cloudové a mobilní aplikace

K návrhu cloudové aplikace poslouží aplikace Blynk, která podporuje všechny stanovené platformy pro testování. Dále také podporuje moduly esp-01, který je v prototypu Arduina použit. Bezplatná verze je velice omezená, například v možnosti připojení, ale pro účely práce je dostačující.

Obrázek 19 - Blynk

Security Device

Info Metadata Datastreams Events Web Dashboard Mobile Dashboard

TEMPLATE NAME
Security Device

HARDWARE
ESP32

CONNECTION TYPE
WIFI

Hardware list:
Arduino
BBC Micro:bit
ESP32
ESP8266
Lantronix Fox 3
Microduino
Onion Omega
Particle

MANUFACTURER
My organization 6475ZD

CATEGORIES
Other x

OFFLINE IGNORE PERIOD
00 hrs 00 mins 00 secs

HOTSPOT PREFIX
Hotspot Prefix

TEMPLATE IMAGE (OPTIONAL)
Add image
Upload from computer or drag-n-drop
.png or .jpg, minimum width 500px

FIRMWARE CONFIGURATION

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL8DT0a99C"  
#define BLYNK_DEVICE_NAME "Security Device"
```


Template ID and Device Name should be included at the top of your main firmware

Zdroj: Autor práce (Platforma Blynk)

Aplikace také dále umožňuje návrh událostí (Events). Byly navrženy tři události. Událost „Enter“, pokud někdo otevře hlavní vchod, tak aplikace zasílá upozorňovací zprávu na mobil, že někdo vstoupil. Pokud osoba, která vstoupila a zadá úspěšně správný kód, je spuštěna událost „Code accepted“, jenž zašle informaci na správně zadaný kód. Pokud osoba i po třetí nezadá správný kód je spuštěna událost „Code declined“, která upozorní na třikrát špatně zadaný kód.

Obrázek 20 - Blynk: events

Edit Event

General Notifications

EVENT NAME
Enter

EVENT CODE
enter

TYPE
Info Warning Critical Content

DESCRIPTION
Someone entered your's room

Send event to Notifications tab
Make event visible in the notifications tab in the mobile app

Send event to Timeline
Make event visible in the Timeline

Apply a Tag
Device will be tagged when this Event is recorded. This tag can't be removed manually. When event is resolved, the tag will be removed automatically.

Cancel Save

Edit Event

General Notifications

EVENT NAME
Code accepted

EVENT CODE
code_accepted

TYPE
Info Warning Critical Content

DESCRIPTION
Enter code was successfully accepted

Send event to Notifications tab
Make event visible in the notifications tab in the mobile app

Send event to Timeline
Make event visible in the Timeline

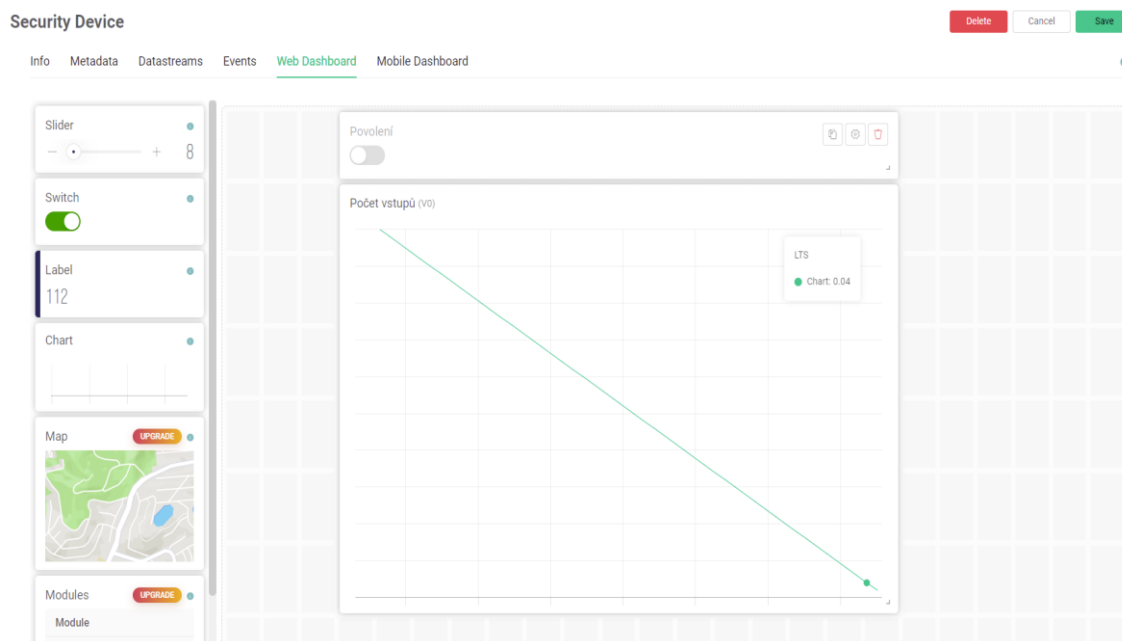
Apply a Tag
Device will be tagged when this Event is recorded. This tag can't be removed manually. When event is resolved, the tag will be removed automatically.

Cancel Save

Zdroj: Autor práce (Platforma Blynk)

Jako poslední část je vytvořen jednoduchý dashboard pro přehled. Dashboard obsahuje dva objekty. První je switch, který signalizuje zda-li byl zadán kód. Druhý objekt je graf, který znázorňuje množství vstupů do prostoru.

Obrázek 21 - Blynk: Dashboard



Zdroj: Autor práce (Platforma Blynk)

4.3 Hodnocení stanovených kritérií

Ve všech platformách byl navržen prototyp zařízení. Na základě těchto prototypů byla získána data a následně informace o těchto platformách. Díky těmto skutečnostem je možno hodnotit platformy ve stanovených kritériích.

4.3.1 Pořizovací cena

Arduino

Arduino v tomto kritérium je nejvíce komplexní, vzhledem k široké nabídce vývojových desek. Autor práce disponuje deskou Arduino Uno, která byla i použita při návrhu prototypu. Arduino Uno stojí 510 Kč (20 €) na oficiální stránce Arduina. U českých distributorů se ceny vyskytují v intervalu (610–700 Kč). Arduino také nabízí specializované desky pro IoT, které disponují určitým typem bezdrátového připojení. Desky jsou dražší a nejsou tolik flexibilní jako Arduino Uno. Většina je přizpůsobena pouze samotnému IoT. Jejich ceny se pohybují v intervalu 900-1500 Kč (30-65 €), většina desek se u českých distributorů nedá ani koupit. Proto pro cenové ohodnocení bude použita deska Arduino Uno.

Raspberry Pi

Raspberry Pi nabízejí několik druhů desek ([tabulka.2](#)). Autor použil desku Raspberry Pi 3 model A+, která se dá koupit za 700 Kč. Oficiální obchod Raspberry Pi rovnou přeměrovává na distributory v dané zemi. Raspberry Pi nevyrobí specializované desky pro IoT. Raspberry Pi 3 a novější verze obsahují bezdrátové připojení.

Micro:bit

Micro:bit stejně jako Raspberry Pi na oficiálních stránkách přeměrovává na distributory.

Platforma nabízí zatím pouze dvě desky, autor použil desku Micro:bit V2, která má pořizovací cenu 500 Kč. Deska jako taková neobsahuje bezdrátové připojení, proto je potřeba koupit komponent, který toto poskytuje. Na trhu je možnost koupě modulu specializovaného pro IoT vývoj. Modul obsahuje připojení WiFi a je ke koupi za 450 Kč.

4.3.2 Dokumentace a celková komunitní odezva

Arduino

Arduino na oficiálních stránkách má velice kvalitně zpracovanou dokumentaci. Na stránkách jsou popsány základní pracovní s vývojovým prostředím Arduina a také použití programovacího jazyka. Dokumentace rozděluje programovací jazyk do tří kategorií: funkce, proměnné a datové struktury. U všech těchto částí jsou vysvětleny funkčnosti daného kódu a využití do celkové syntaxe. Dále jsou vysvětleny nejnámější knihovny a jejich využití. Stránky také obsahují dokumentaci Cloudu Arduina. Samotné desky jsou zde podrobně rozebrané a vysvětlené. Jsou zde také popsány základní projekty a jejich zapojení. Největší nevýhodou je absence české lokalizace. Oficiální stránky používají pouze angličtinu, němčinu a španělštinu. Česká neoficiální dokumentace není tak obsáhlá a spíše se orientuje na začátečníky.

Komunita Arduina je též na vysoké úrovni. Komplexnější projekty lze zveřejnit na oficiálních stránkách Arduino Project Hub (APH). APH momentálně obsahuje okolo 6200 projektů různého typu, které jsou všechny vytvořeny komunitou uživatelů. Při vytváření prototypu, autor vznesl několik otázek na fóru, dostal rychlou a pomocnou odpověď.

Raspberry Pi

Oficiální dokumentaci lze dohledat na stránkách Raspberry pi. Kvalitně zpracovaná dokumentace je komplexnější a celkově těžší než další dané platformy, za což může skutečnost, že Raspberry pi je mikroprocesor. Dokumentace obsahuje přehledný návod na zprovoznění Raspberry pi i následné nainstalování vybraného Linuxu, či jiného operačního systému, dle volby. Dále také obsahuje popis desek. Oficiální stránky nabízí bezplatné kurzy, které jsou rozděleny dle věku uživatele. Pro uživatele 9-13 let nabízí Code Club. Code Club obsahuje interaktivní lekce Scratch nebo Python. Stránka též obsahuje oficiální projekty. Velkou výhodou je česká lokalizace těchto kurzů. Dokumentace není lokalizována.

Raspberry Pi nemá oficiální Hub na zveřejnění komunitních projektů. Existuje mnoho neoficiálních stránek obsahující komplexnější projekty. Autor po vznesení otázek dostal odpověď po několika dnech nebo vůbec.

Micro:bit

Dokumentace není dostupná na oficiálních stránkách, ale dá se vyhledat na externích stránkách. Dokumentace je kvalitně zpracovaná, ale není moc vizuálně kvalitní. Micro:bit slouží, jako platforma pro začátečníky, děti a mladistvé, proto autor očekával vizuálně atraktivnější dokumentaci, alespoň pro základy. Oficiální stránky nabízejí bezplatné kurzy, které se zabývají různými tématy. Dále oficiální návody na sestavení projektů, které jsou kvalitně vysvětleny hlavně pomocí videí. Česká dokumentace neexistuje.

Micro:bit nemá oficiální Hub. Na neoficiálních stránkách je možné najít komunitní projekty. Při vznesení otázek autor odpověď vůbec nedostal, kromě jedné.

4.3.3 Využití v průmyslu

Arduino

Arduino nebylo vytvořeno do nepříznivých podmínek. Arduino je ale dobré pro sbírání dat ze senzorů, například sledování teploty. Proto jeho největší využití může být v zemědělství, chytrých městech nebo domácnostech. Může také sloužit jako kontrolní prvek, pokud by nastaly problémy s průmyslovými stroji. Arduino zůstává primárně určeno pro testování zařízení a domácí bastlení.

Raspberry Pi

Raspberry Pi bylo též vytvořeno pro edukační a bastlíčí účely, proto není vhodné pro nepříznivé podmínky. Raspberry Pi se snaží prorazit více do průmyslu. OnLogic na Pi den (3.14.21/14.3.2021) odhalil první detaily nové desky One Tough Pi, která má sloužit právě k průmyslovým účelům a eliminovat problém nasazení v těžších podmínkách. Momentálně se používá nejvíce v chytrých domácnostech, ve kterých se často používá v kombinaci s Arduinem.

Micro:bit

Micro:bit vznikl čistě jako edukační platforma, pro výuku programování a základů algoritmicizace. V průmyslovém světě moc využití nenajde, ale je ideální například pro zařízení vhodné k nošení na lidském těle, vzhledem k jeho velikosti a váze.

4.3.4 Dostupné vývojové prostředí a knihovny

Arduino

Arduino má vlastní vývojové prostředí Arduino IDE, které je blíže popsáno v předešlé kapitole ([3.6.1.3](#)). Lze ho stáhnout do offline režimu na všech nejznámějších operačních systémech, nebo také je zde možnost použití v online režimu. Software je plně lokalizován do českého jazyka.

Arduino IDE také umožňuje stažení knihoven přímo v softwaru. Tyto knihovny jsou vytvořeny Arduinem nebo komunitou a je jich již několik tisíc různého využití.

Raspberry Pi

Raspberry Pi nemá oficiální vývojové prostředí. Deska obsahuje operační systém, proto je možné stáhnout neoficiální vývojové prostředí přímo na desku. Možnosti programování a vývojových prostředí charakterizuje předešlá kapitola. ([3.7.1.3](#))

Platforma nemá k dispozici moc knihoven. Většina dostupných knihoven byla vytvořena pro Python. Mezi nejznámější patří například: Wiring Pi, Pigiopio a Gpiozero.

Micro:bit

Stejně jako Raspberry Pi Micro:bit nemá oficiální vývojové prostředí. S Micro:bit je možno pracovat v mnoho různých prostředích. Mezi nejvíce využívané se řadí Microsoft MakeCode, které stejně jako Scratch programuje pomocí sestavování bloků. Na rozdíl od Scratch, lze v MakeCode přepnout na textový kód v JavaScriptu. Dále jde programovat například v Pythonu, který lze dohledat i online. Micro:bit nabízí vysoké množství vývojových prostředí a výběr záleží pouze na uživateli.

Micro:bit nemá moc dostupných knihoven. Stejně jako Raspberry Pi, nejvíce dostupných knihoven je pro Python.

4.3.5 Největší využití na trhu

Kritérium bude jednotně zhodnoceno v následující kapitole. (4.8)

4.4 Zhodnocení: Pořizovací cena

V této kapitole bude shrnuta cena pro sestavení prototypu zařízení, navržen v předešlé kapitole (4.2). Konečná cena je součet všech potřebných komponentů a desek, k sestavení zařízení. Cena neobsahuje žádnou formu počítače pro zprovoznění daných desek a také se počítá s vlastněním počítačové myši, klávesnice a monitoru.

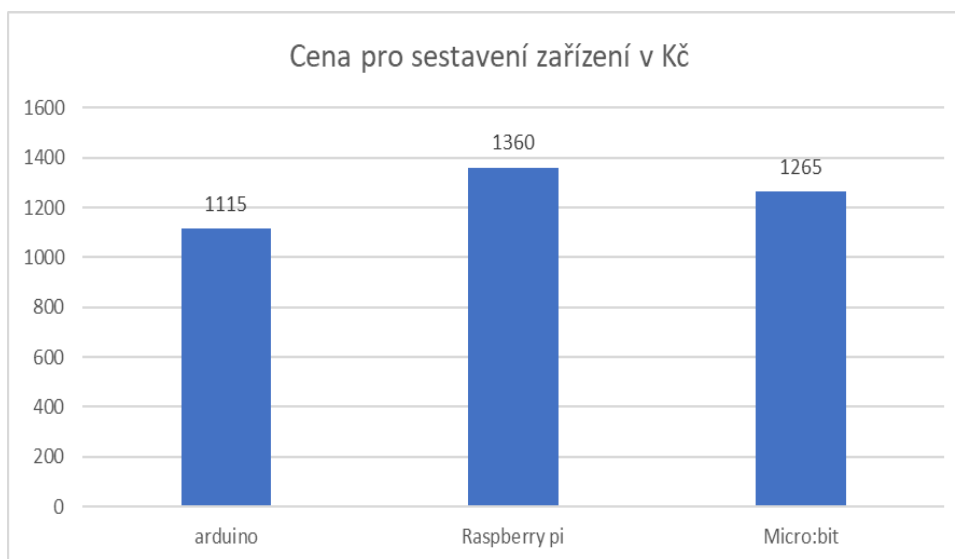
Návrh pro platformu Arduino je popsána v práci. Pro sestavení prototypu byla použita deska Arduino Uno, která stojí 620 Kč. Dále esp-01 za cenu 100 Kč, membránovou klávesnici za 20 Kč. Infračervený senzor překážek za 25 Kč a poslední piezo za 5 Kč. Následně jsou potřeba zakoupit i jiné podpůrné objekty. Například nepájivé pole za 65 Kč, propojovací kabel USB nebo převodník za 40 Kč. Jako poslední je napájecí kabel za 100 Kč.

Raspberry pi použitá deska se prodává 700 Kč, dále jsou použity podobné nebo stejné komponenty. Dále je potřeba SD karta na instalaci operačního systému za 200 Kč. Napájecí kabel za 150 Kč a HDMI kabel za 45 Kč.

Poslední z platforem Micro:bit, jehož pořizovací cena je 500 Kč. Autor koupil rozšiřující modul pro IoT 350 Kč, který zaručuje připojení WiFi a jiné funkce. Následně již jmenované senzory a moduly a poslední napájecí kabel za 150 Kč.

Konečné ceny v českých korunách pro sestavení prototypu zařízení jsou vshrnuty v následujícím grafu:

Obrázek 22 - Graf cen zařízení



Zdroj: Autor práce

Nejlevnější variantou pro sestavení prototypu zařízení je Arduino v ceně 1115 Kč, následně je micro:bit s cenou 1265 Kč a poslední je Raspberry Pi s cenou 1360 Kč.

4.5 Zhodnocení: Dokumentace a celková komunitní odezva

Kritérium je hodnoceno na základě několika aspektů: dokumentace, naučné materiály, komunitní projekty, lokalizace a komunitní odezva. Jako nejdůležitější aspekt je určena dokumentace, dále to jsou naučné materiály a komunitní projekty. Předposlední z hlediska důležitosti je zvolena lokalizace a nejméně důležitá je komunitní odezva.

Váhy kritérií byly stanoveny pomocí Saatyho matice kvantitativního párového porovnání. Hodnoty byly získány pomocí analýzy platform.

Hodnoty preferencí jsou rozděleny následovně.

- 1 - Prvky jsou si rovnocenné
- 3 – Slabě preferovaný
- 5 – Silně preferovaný
- 7 – Velmi silně preferovaný
- 9 – Absolutně preferovaný

Následná tabulka obsahuje výpočet vah kritérií pomocí Saatyho metody. Výsledek matice značí vysokou preferenci kritéria dokumentace.

Tabulka 3 - Saatyho matice: Dokumentace

	Dokumentace	Naučné materiály	Komunitní projekty	lokalizace	Odezva	b_j	v_j
Dokumentace	1	3	5	7	9	3,936	0,510
Naučné materiály	1/3	1	3	5	7	2,036	0,264
Komunitní projekty	1/5	1/3	1	3	5	1,000	0,130
Lokalizace	1/7	1/5	1/3	1	3	0,491	0,064
Odezva	1/9	1/7	1/5	1/3	1	0,254	0,033

Zdroj: Autor práce

Na základě stanovení vah byl sestaven triviální model pro vícekritériální rozhodování, pomocí bodovací metody. Každá platforma je ohodnocena v bodovém rozmezí 1-3, kde 1 je nejlepší výsledek a 3 nejhorší.

Tabulka 4 - Výpočet kritéria dokumentace

	Dokumentace	Naučné materiály	Komunitní projekty	Lokalizace	Odezva	Výsledek
Arduino	1	3	1	3	1	1,79
Raspberry pi	1	1	2	1	2	1,10
Micro:bit	3	1	2	3	3	2,68
v_j	0,510	0,130	0,064	0,264	0,033	1
	min	min	min	min	min	

Zdroj: Autor práce

Po aplikaci modelu, bylo zjištěno konečné pořadí variant. Nejlepší varianta v kritériu je Raspberry Pi, druhé Arduino a poslední Micro:bit.

4.5.1 Průzkum komunitní odezvy

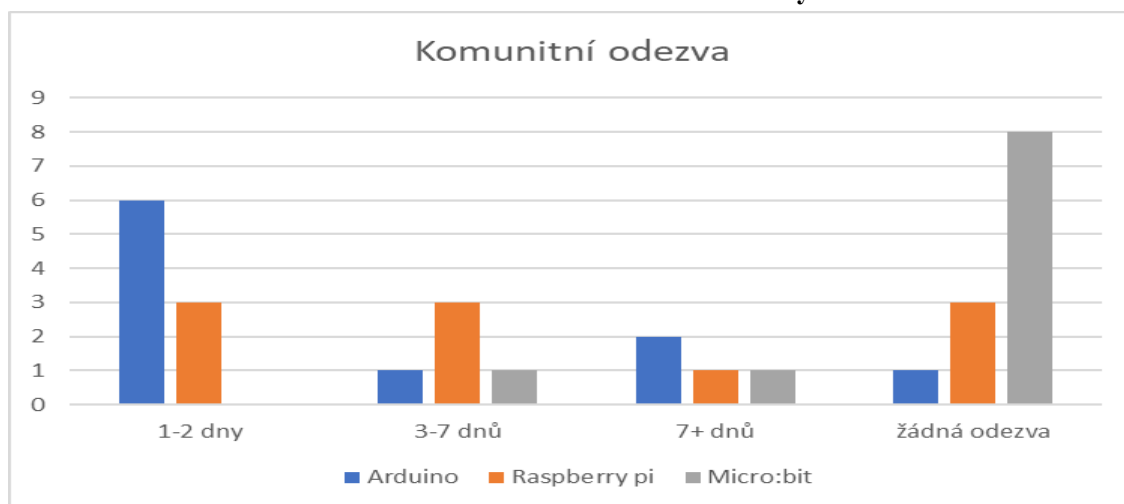
Pro stanovení bodového ohodnocení odezvy, byl proveden menší průzkum, spočívající v kladení několika otázek na fórech dané platformy. Otázky byly kladeny na oficiálních, či neoficiálních fórech a zkoumala se jejich odezva od komunity platformy. Autor práce položil 10 triviálních otázek a sledoval odezvu a přínosnost odpovědí. Průzkum popisuje následující tabulka a graf:

Tabulka 5 - Komunitní odezva

	1-2 dny	3-7 dnů	7+ dnů	žádná odezva
Arduino	6	1	2	1
Raspberry pi	3	3	1	3
Micro:bit	0	1	1	8

Zdroj: Autor práce

Obrázek 23 - Graf komunitní odezvy



Zdroj: Autor práce

Platforma Arduino má nejlepší výsledky průzkumu, což se dá přisuzovat jednotnému oficiálnímu fóru Arduina. Nejhorší výsledek má Micro:bit, vzhledem k jeho menší komunitě a absenci oficiálního fóra na projekty. Je to autorem očekávaný výsledek.

4.6 Zhodnocení: Využití v průmyslu

Nejvíce využívaná z daných platforem v průmyslu je Arduino, které se dá najít v průmyslových projektech. Následuje Raspberry Pi, které se nejvíce využívá v chytrých domácnostech nebo jako webový server. Nejméně využívaná platforma v průmyslu je micro:bit, který slouží čistě jako edukační pomůcka při výuce programování a algoritmizace.

Ze získaných poznatků bylo stanoveno následující pořadí:

1. Arduino
2. Raspberry Pi
3. Micro:bit

4.7 Zhodnocení: Dostupné vývojové prostředí a knihovny

Hodnocení kritéria je provedeno na základě tří aspektů: vývojové prostředí, knihovny a lokalizace. Nejdůležitějším aspektem bylo zvoleno vývojové prostředí, dále knihovny a jako nejméně důležitá byla zvolena lokalizace. Jako rozhodovací modely byly zvoleny stejně jako v předešlé kapitole (4.5) Saatyho matice kvantitativního párového porovnání a následně triviální bodovací metoda, kde jsou kritéria hodnoceny 1-3.

Následná tabulka obsahuje výpočet vah kritérií pomocí Saatyho metody:

Tabulka 6 - Saatyho matice: Vývojové prostředí a knihovny

	Vývojové prostředí	Knihovny	lokalizace	b_j	v_j
Vývojové prostředí	1	3	5	2,466	0,618
Knihovny	1/3	1	5	1,186	0,297
Lokalizace	1/5	1/5	1	0,342	0,086

Zdroj: Autor práce

Tabulka 7 - Výpočet kritéria: Vývojové prostředí a knihovny

	Vývojové prostředí	Knihovny	lokalizace	Výsledek
Arduino	1	1	1	1
Raspberry Pi	2	3	2	2,296865
Micro:bit	2	2	1	1,914369
v_j	0,618	0,297	0,086	1

min min min

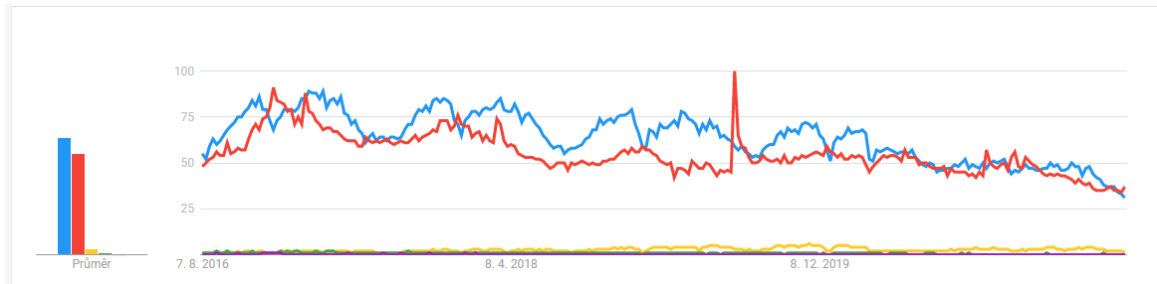
Zdroj: Autor práce

Po výpočtu byla zjištěna konečné umístění variant. Arduino je nejlepší variantou, druhé Micro:bit a poslední Raspberry Pi.

4.8 Zhodnocení: Největší využití platforem

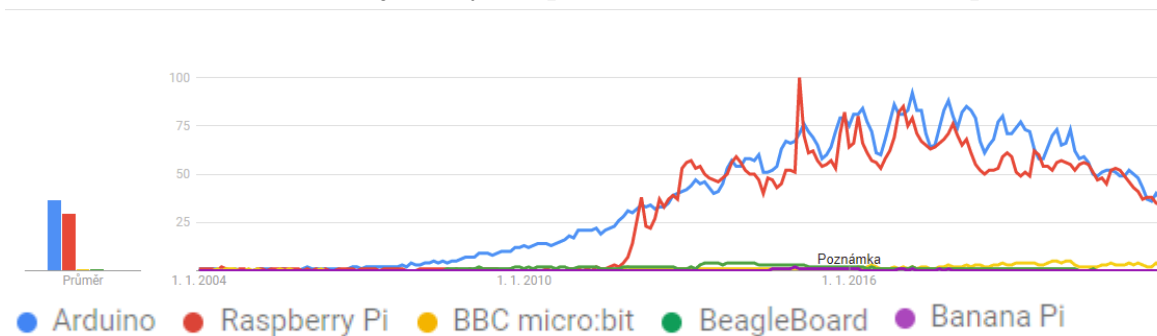
Kritérium, které stojí za samotným výběrem stanovených hardwarových platforem pro vývoj zařízení IoT. Platformy Arduino, Raspberry pi a Micro:bit byly vybrány autorem na základě preferencí a celkovém světovém využití na trhu dané platformy. Toto kritérium je důležité, protože se může odrážet i v ostatních kritériích a zdali bude mít i budoucí podporu od výrobce platformy.

Obrázek 24 - Největší využití platform – Celosvětové za posledních 5 let



Zdroj: (33)

Obrázek 25 - Největší využití platform – Celosvětové 2004 - doposud

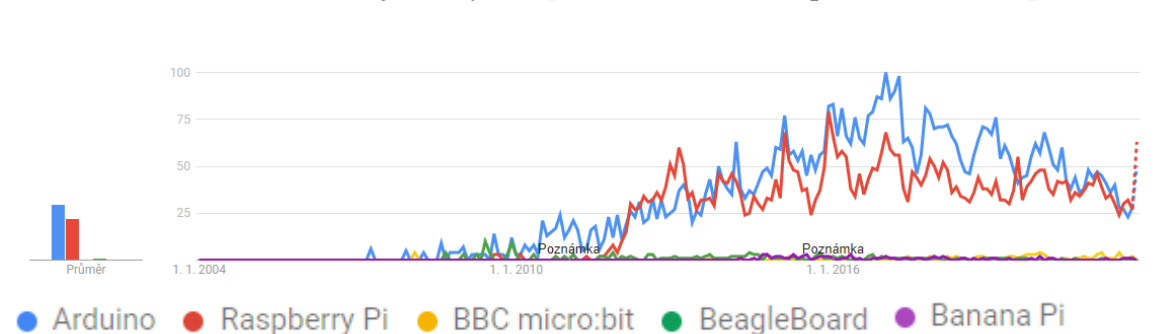


Zdroj: (33)

Celosvětové využití jednoznačně potvrzuje dominanci mikrokontroléru Arduino a mikroprocesorů Raspberry Pi. Desky jsou po celou dobu své existence vyrovnanou konkurencí na trhu. Ve výsledném průměru má větší využití na trhu Arduino, a to i na českém trhu. Micro:bit v tomto kritériu zaostává vzhledem k pozdějšímu uvedení na trh a menšímu využití.

Nejllepší výsledek ve stanoveném kritériu má Arduino, následuje Raspberry Pi a poslední je Micro:bit.

Obrázek 26 - Největší využití platform – Česká republika 2004 - doposud



Zdroj: (33)

4.9 Celkové zhodnocení vybraných platforem

V poslední části dojde k celkovému zhodnocení na základě všech předešlých výsledků. Výsledky jsou interpretovány jako ordinální informace. Pro zhodnocení se tedy nabízí metoda ORESTE. Pro stanovení vah bude použito párové porovnávání, která je vypočtena v následující tabulce:

Tabulka 8 - Párové porovnávání kritérií

	Cena	Dokumentace	Průmysl	Prostředí	Trh	suma	výsledek	pořadí
Cena	1	0	1	1	1	4	0,267	2
Dokumentace	1	1	1	1	1	5	0,333	1
Průmysl	0	0	1	0	1	2	0,133	4
Prostředí	0	0	1	1	1	3	0,200	3
Trh	0	0	0	0	1	1	0,067	5

15 1

Zdroj: Autor práce

Následná tabulka znázorňuje pořadí z předešlého hodnocení, pomocí matice P:

Tabulka 9 - Metoda ORESTE: Matice P

Matice P	Cena	Dokumentace	Průmysl	Prostředí	Trh
Arduino	1	2	1	1	1
Raspberry Pi	3	1	2	3	2
Micro:bit	2	3	3	2	3
Pořadí kritérií	2	1	4	3	5

Zdroj: Autor práce

Další krok metody ORESTE je výpočet matice D, která znázorňuje vzdálenost od fiktivního počátku $p_{0j} = (0, 0, \dots, 0)$.

Dále se musí určit Dujmovičova metrika, která se obvykle $r = 3$:

$$d_{ij} = (0,5(p_{ij})^r + 0,5(q_j)^r)^{1/r}$$

Tabulka 10 - Metoda ORESTE: Matice D

Matice D	Cena	Dokumentace	Průmysl	Prostředí	Trh
Arduino	1,65096	1,650963624	3,191252	2,4101423	3,9791
Raspberry Pi	2,59625	1	3,301927	3	4,0514
Micro:bit	2	2,410142264	3,570018	2,5962471	4,2358

Zdroj: Autor práce

Poslední krok uspořádání variant je výpočet matice pořadových čísel $R = (r_{ij})$ – pořadí vzdáleností d_{ij}

Tabulka 11 - Metoda ORESTE: Matice R

Matice R	Cena	Dokumentace	Průmysl	Prostředí	Trh	suma
Arduino	2	2	10	5	13	32
Raspberry Pi	7	1	11	9	14	42
Micro:bit	4	5	12	7	15	43

Zdroj: Autor práce

Metodou ORESTE uspořádání variant vychází, jako nejlepší varianta Arduino, která má nejmenší vzdálenost od počátku 32. Další dvě varianty skončily těsně za sebou. Druhá optimální varianta je Raspberry Pi se vzdáleností 42 a poslední micro:bit se 43. Tyto dvě varianty se dají považovat za alternativy.

5. Závěr

Bakalářská práce se zabývá tematikou internetu věcí, konkrétně jeho hardwarovou stránkou. Hlavním cílem bylo porovnat hardwarové platformy pro sestavení vlastního zařízení, spadajícího do internetu věcí. Teoretická část se zabývá obecně internetem věcí a následně konkrétněji hardwarovou složkou. Dále jsou stanoveny požadavky na návrh zařízení spadající do internetu věcí. Jako hardwarové platformy byly zvoleny nejvíce využívané typy desek na trhu. Pro porovnání těchto platform bylo navrženo zabezpečující zařízení.

Praktická část práce stanovuje kritéria hodnocení pro porovnání stanovených hardwarových platform. Následně je navrženo zabezpečující zařízení jako testovací prototyp pro porovnávání. Práce popisuje platformu Arduino, pro příklad, jak zařízení má být sestaveno, a jak má fungovat. Toto zařízení bylo navrženo na všech daných platformách. V další části praktické práce jsou analyzovány jednotlivé platformy v určených kritériích. Po analýze platform následuje posouzení v jednotlivých kritériích. Pro zhodnocení byla použita Saatyho matice kvantitativního párového porovnání a bodovací metoda. Následně byly zjištěny ordinální informace pro stanovené platformy. Platformy tedy byly souhrnně ohodnoceny pomocí metody ORESTE a párového porovnávání.

Po zhodnocení byly stanoveny závěry. Jako optimální platforma pro sestavení stanoveného zařízení je Arduino, které ve čtyřech z pěti kritériích bylo označeno jako nejlepší. Druhé se umístilo Raspberry Pi a jako poslední Micro:bit.

6. Seznam použitých zdrojů

[1] v roce 2023 bude fungovat 20 miliard IoT zařízení – světchytře.cz. *Světchytře.cz - Píšeme o technologiích, které lidem usnadňují život.* [online]. [cit. 10.08.2020]

<https://www.svetchytře.cz/a/irPzg/v-roce-2023-bude-fungovat-20-miliard-iot-zarizeni>

[2] R. H. Weber, (2010). "Internet of Things - New Security and Privacy Challenges". *Computer Law & Security Review* 26: 23-30.

[3] What is IoT (Internet of Things) and How Does it Work?. *Internet of Things (IoT) news, blogs and analysis - IoTAgenda.com* [online]. Dostupné z:

<https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-Things-IoT>

[4] Co je to IoT? Jak funguje, kde se využívá a jak se vyvíjel? | IoTPort. *Propojujeme firmy a lidi se zájmem v internetu věcí | IoTPort* [online]. Copyright © 2020 České Radiokomunikace a. s. [cit. 11.08.2020]. Dostupné z: <https://www.iotport.cz/iot-novinky/ostatni-clanky-o-iot/co-to-je-iot>

[5] Garfinkel, S. L. (2018). *The Computer Book: From the Abacus to Artificial Intelligence, 250 Milestones in the History of Computer Science.* Sterling .

[6] COHEN-ALMAGOR, Raphael. Internet History. *International Journal of Technoethics* [online]. 2011, 2(2), 45-64 [cit. 2020-08-15]. DOI: 10.4018/jte.2011040104.

ISSN 1947-3451. Dostupné z: [http://services.igi-](http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/jte.2011040104)

[global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/jte.2011040104](http://services.igi-global.com/resolvedoi/resolve.aspx?doi=10.4018/jte.2011040104)

[7] Kevin Ashton Named The internet of Things | Avast. *Avast Blog* [online]. Copyright © Avast Software s.r.o. [cit. 16.08.2020]. Dostupné z: <https://blog.avast.com/kevin-ashton-named-the-internet-of-things>

[8] Why is it Called Internet of Things: Definition, history, disambiguation. *IoT Analytics - Market insights for the Internet of Things* [online]. Dostupné z: <https://iot-analytics.com/internet-of-things-definition/>

[9] Bezpečnost ve světě internetu věcí (IoT) – KPMG Česká republika. [online]. Copyright © COPYRIGHT [cit. 18.08.2020]. Dostupné z: <https://home.kpmg/cz/cs/home/clanky-a-analyzy/2015/12/bezpecnost-ve-svete-internetu-veci.html>

[10] Internet of Things Statistics – IoTech Ltd. *The Internet of Things - IoTech Ltd* [online]. Copyright © All Rights Reserved [cit. 18.08.2020]. Dostupné z: <https://www.the-iot.co.uk/news/internet-of-things-statistics/>

[11] [online]. Copyright © [cit. 01.11.2020]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/en-us/research/wp-content/uploads/2017/03/SevenPropertiesofHighlySecureDevices.pdf>

[12] Přehled zabezpečení IoT | Microsoft Azure. *Object moved* [online]. Copyright © 2020 Microsoft [cit. 1.11.2020]. Dostupné z: <https://azure.microsoft.com/cs-cz/overview/internet-of-things-iot/iot-security-cybersecurity/>

- [13] Invention Story and History of Development of Arduino. *2000+ Electronic Circuits, Projects, Tutorials & More – CircuitsToday* [online]. Copyright © 2020 CircuitToday [cit. 02.11.2020]. Dostupné z: <https://www.circuitstoday.com/story-and-history-of-development-of-arduino>
- [14] VODA, Zbyšek. Průvodce světem Arduina. Bučovice: Martin Stříž, 2015. ISBN 978-80-87106-90-7.
- [15] Packt Subscription | Learn more for less. *Packt Subscription | Learn more for less* [online]. Dostupné z: https://subscription.packtpub.com/book/hardware_and_creative/9781784397975/1/ch011v11sec08/history-and-background-of-the-raspberry-pi
- [16] Raspberry Pi | Basics, Hardware & Software Specifications. *Electronics For You | Free DIY and Electronics Projects | Tech News* [online]. Copyright © Copyright 2020 [cit. 29.12.2020]. Dostupné z: <https://www.electronicsforu.com/buyers-guides/raspberry-pi-5>
- [17] About | micro:bit. *Micro:bit Educational Foundation | micro:bit* [online] Copyright © Micro [cit. 15.07.2021]. Dostupné z: <https://microbit.org/about/#top>
- [18] Hardware. *micro:bit developer community and technical resources* [online]. Copyright © Copyright 2021 Micro [cit. 15.07.2021]. Dostupné z: <https://tech.microbit.org/hardware/>
- [19] micro:bit software. *micro:bit developer community and technical resources* [online]. Copyright © Copyright 2021 Micro [cit. 15.07.2021]. Dostupné z: <https://tech.microbit.org/software/>
- [20] Ding, J., Nemati, M., Ranaweera, C., & Choi, J. (2020). IoT Connectivity Technologies and Applications: A Survey. *IEEE Access*, 8, 67646–67673. <https://doi.org/10.1109/access.2020.2985932>
- [21] (PDF) IoT Protocols Survey. *ResearchGate | Find and share research* [online]. Copyright © 2008 [cit. 30.07.2021]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/336058881_IoT_Protocols_Survey
- [22] Business Insider. 2021. *Gartner's Hype Cycle 2011: Social Analytics And Activity Streams Reach "The Peak"*. [online] Available at: <<https://www.businessinsider.com/gartners-hype-cycle-2011-social-analytics-and-activity-streams-reach-the-peak-2011-8>> [Accessed 23 October 2021].
- [23] Statistics, 1., 2021. *Internet of Things Statistics - IoTech, The Internet of Things*. [online] IoTech, The Internet of Things. Available at: <<https://www.the-iot.co.uk/news/internet-of-things-statistics/>> [Accessed 23 October 2021].
- [24] Doi.org. 2021. *IoT Connectivity Technologies and Applications: A Survey*. [online] Available at: <<https://doi.org/10.1109/access.2020.2985932>> [Accessed 23 October 2021].
- [25] Azure.microsoft.com. 2021. *Co je cloud computing? Průvodce pro začátečníky | Microsoft Azure*. [online] Available at: <<https://azure.microsoft.com/cs-cz/overview/what-is-cloud-computing/#benefits>> [Accessed 23 October 2021].

- [26] Voda, Z., 2021. *Programujeme Arduino*. [online] Bastlírna HWKITCHEN. Available at: <<https://bastlirna.hwkitchen.cz/programujeme-arduino/>> [Accessed 23 October 2021].
- [27] Dexter Industries. 2021. *BrickPi Python in IDLE - Dexter Industries*. [online] Available at: <<https://www.dexterindustries.com/BrickPi/brickpi-tutorials-documentation/program-it/python/brickpi-python-idle/>> [Accessed 23 October 2021].
- [28] Dexter Industries. 2021. *BrickPi Python in IDLE - Dexter Industries*. [online] Available at: <<https://www.dexterindustries.com/BrickPi/brickpi-tutorials-documentation/program-it/python/brickpi-python-idle/>> [Accessed 23 October 2021].
- [29] laskarduino.cz. 2021. *4x3 Maticová membránová klávesnice | laskarduino.cz*. [online] Available at: <https://www.laskarduino.cz/arduino-4x3-maticova-membranova-klavesnice/?gclid=CjwKCAjwsNiIBhBdEiwAJK4khv15yOiQ7pwg-mk9ENXY_-Ry53PPHAooitxOTRkfPUNp29fV8zHDmRoCILQQAuD_BwE> [Accessed 23 October 2021].
- [30] Microchip.ua. 2021. [online] Available at: <<https://www.microchip.ua/wireless/esp01.pdf>> [Accessed 23 October 2021].
- [31] laskarduino.cz. 2021. *4x3 Maticová membránová klávesnice | laskarduino.cz*. [online] Available at: <https://www.laskarduino.cz/arduino-4x3-maticova-membranova-klavesnice/?gclid=CjwKCAjwsNiIBhBdEiwAJK4khv15yOiQ7pwg-mk9ENXY_-Ry53PPHAooitxOTRkfPUNp29fV8zHDmRoCILQQAuD_BwE> [Accessed 23 October 2021].
- [32] Arduino Project Hub. 2021. *How to Program ESP8266 (ESP-01) Module with Arduino UNO*. [online] Available at: <<https://create.arduino.cc/projecthub/pratikdesai/how-to-program-esp8266-esp-01-module-with-arduino-uno-598166>> [Accessed 23 October 2021].
- [33] Google Trends. 2021. *Google Trends*. [online] Available at: <<https://trends.google.com/>> [Accessed 23 October 2021].