



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta mechatroniky, informatiky
a mezioborových studií ■

Srovnání systémů pro chytré bydlení

Magisterský projekt

Studijní program: N2612 – Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: 1802To07 – Informační technologie
Autor práce: **Bc. Miroslav Váňa**
Vedoucí práce: Ing. Lenka Kosková Třísková Ph.D.





TECHNICAL UNIVERSITY OF LIBEREC
Faculty of Mechatronics, Informatics
and Interdisciplinary Studies ■

Comparison of smart house systems

Project report

Study programme: N2612 – Electrical engineering and informatics
Study branch: 1802T007 – Information technology
Author: **Bc. Miroslav Váňa**
Supervisor: Ing. Lenka Kosková Třísková Ph.D.



ZADÁNÍ SEMESTRÁLNÍHO PROJEKTU

Jméno a příjmení: **Bc. Miroslav Váňa**
Název práce: **Srovnání systémů pro chytré bydlení**
Zadávající katedra: **Ústav nových technologií a aplikované informatiky**
Vedoucí práce: **Ing. Lenka Kosková-Třísková Ph.D.**
Rozsah práce: **15–20 stran**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se současnými přístupy a principy, které řeší problematiku chytrého bydlení a stručně shrňte zjištěné poznatky.
2. Sepište typické požadavky zákazníků a uveďte možnosti využití chytré domácnosti.
3. Porovnejte protokoly využívané pro komunikaci v chytrých domácnostech.
4. Vyberte vhodné platformy pro realizaci chytré domácnosti a proveďte jejich srovnání dle vámi definovaných kritérií.

Seznam odborné literatury:

- [1] HARPER, Richard. Inside the smart home. New York: Springer, c2003. ISBN 18-523-3688-9.
- [2] TASNER, Patrick. The 10 Most Important Moments in the History of Home Automation [online]. 2015 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://smarthomeforyou.com/history-of-home-automation/>

V Liberci dne

.....
Ing. Lenka Kosková-Třísková Ph.D.

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na můj magisterský projekt se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mého magisterského projektu pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li magisterský projekt nebo poskytnu-li licenci k jeho využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Magisterský projekt jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mého magisterského projektu a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Abstrakt

Cílem práce je provedení analýzy a srovnání systémů pro chytré bydlení. Tohoto cíle je dosaženo využitím širokého spektra zdrojů literatury na základě kterých jsou vytvořeny srovnávací tabulky a shrnuty základní důsledky. Výsledná práce přináší unikátní pohled na chytré domácnosti z různých směrů. Navíc obsahuje vysvětlení základních principů a pojmů o této problematice.

Klíčová slova: porovnání systémů chytré domácnosti, automatizace domu, integrovaný domácí systém, pokročilý řídicí systém domu, komunikační protokoly

Abstract

The aim of the thesis is to analyze and compare smart house systems. This goal is achieved through the use of a wide range of sources of literature on the basis of which comparison tables are developed and the underlying consequences are summarized. The resulting work brings a unique view of smart homes from different perspectives. In addition, it contains an explanation of the basic principles and concepts of this problematics.

Keywords: comparison of smart home systems, home automation, integrated home systems, advanced home control systems, communication protocols

Poděkování

Chci upřímně poděkovat všem, kteří mi věnovali čas a poskytli pomoc při psaní této práce. Především děkuji své vedoucí Ing. Lence Koskové Třískové Ph.D. za odborné vedení a cenné rady, které mi pomohly práci dokončit.

Seznam obrázků

| | | |
|-----|--------------------------------------|----|
| 1.1 | Separátní systémy | 3 |
| 1.2 | Centrální systém | 3 |
| 1.3 | Možnosti chytré domácnosti | 5 |
| 2.1 | Síťové topologie | 10 |
| 2.2 | Thread protokol | 13 |
| 3.1 | Amazon Alexa | 20 |

Seznam tabulek

| | | |
|-----|--|----|
| 2.1 | Bezdrátové protokoly | 14 |
| 2.2 | Drátové protokoly | 17 |
| 2.3 | Zhodnocení komunikačních protokolů | 18 |
| 3.1 | Platformy chytrých asistentů | 21 |
| 3.2 | Kutilské platformy | 24 |
| 3.3 | Závěrečné porovnání platforem | 27 |

Obsah

| | |
|--|----------|
| Úvod | 1 |
| Cíl práce | 1 |
| 1 Úvod do problematiky | 2 |
| 1.1 Chytré bydlení | 2 |
| 1.1.1 Jednoúčelové systémy | 2 |
| 1.1.2 Centrální systém | 2 |
| 1.2 Historie a současný vývoj | 3 |
| 1.2.1 1980-2000 | 3 |
| 1.2.2 Začátek 21. století | 3 |
| 1.2.3 Současnost | 4 |
| 1.3 Možnosti chytré domácnosti | 5 |
| 1.3.1 Bezpečí | 5 |
| 1.3.2 Úspory – řízení energie a zdrojů | 6 |
| 1.3.3 Komfort | 6 |
| 1.3.4 Zábava a ovládání multimédií | 7 |
| 1.3.5 Zdraví | 7 |
| 1.4 Potřeby zákazníků | 8 |
| 1.4.1 Typické požadavky | 8 |
| 2 Komunikační protokoly | 9 |
| 2.1 Topologie | 9 |
| 2.2 Bezdrátové připojení | 11 |
| 2.2.1 Nízkovrstvé | 11 |
| 2.2.2 Full stack | 12 |
| 2.2.3 Zhodnocení a srovnání | 13 |
| 2.3 Drátové připojení | 15 |
| 2.3.1 X10 | 15 |
| 2.3.2 KNX | 15 |
| 2.3.3 Insteon | 16 |
| 2.3.4 Universal Powerline Bus (UPB) | 16 |
| 2.3.5 Power over Ethernet (PoE) | 16 |
| 2.3.6 Srovnání | 16 |
| 2.4 Zhodnocení | 18 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3 | Platformy a systémy | 19 |
| 3.1 | Platformy chytrých asistentů | 19 |
| 3.1.1 | Apple HomeKit | 19 |
| 3.1.2 | Amazon Alexa | 20 |
| 3.1.3 | Google Assistant | 20 |
| 3.1.4 | Shrnutí a porovnání | 21 |
| 3.2 | Kutílské platformy | 22 |
| 3.2.1 | Arduino | 22 |
| 3.2.2 | Raspberry Pi | 22 |
| 3.2.3 | BeagleBoard | 22 |
| 3.2.4 | BigClown | 23 |
| 3.2.5 | Porovnání a zhodnocení | 23 |
| 3.3 | Průmyslové platformy | 25 |
| 3.4 | Závěrečné porovnání platforem | 26 |
| | Závěr | 28 |
| | Literatura | 33 |
| | Seznam použitých zkratek | 34 |

Úvod

Chytré domácnosti a dokonce i chytrá města si získávají stále větší popularitu. Lidé se zajímají a postupně také investují do chytrých domů, které přináší mnoho výhod. Úspory, komfort, bezpečnost nebo péče o zdraví je to, co může chytrý dům zajistit. V dnešním světě plném informací však není jednoduché správně porozumět pojmu „chytrá domácnost“. Díky IoT (Internet of Things) jsou chytrá zařízení naprosto všude. Ve skutečnosti však domácnost plná chytrých zařízení nemusí znamenat, že je chytrý i náš dům. Co je to chytrá domácnost? Co mi chytrý systém může přinést a co mi usnadní? Jaké technologie se pro tvorbu chytrých domácností využívají? A jak si mohu chytrou domácnost obstarat a kolik mě to bude přibližně stát? Na zmíněné otázky jsem v rámci práce hledal odpověď. Tyto jednoduché otázky jsou zároveň motivací pro tvorbu celé práce. Neexistuje na ně tak snadná odpověď, jak se na první pohled může zdát. Unikátnost této práce je právě ve velmi širokém rozsahu, ze kterého jsem téma zpracoval.

Cíl práce

Cílem této práce je přinést komplexní srovnání systémů a platforem pro chytré bydlení. První krok spočívá v seznámení se s aktuálními přístupy a principy v problematice chytrých domácností. Zjištěné poznatky budou pro čtenáře stručně shrnuty v úvodní části textu. Druhým krokem je analýza funkcí a služeb, které může chytrá domácnost poskytovat.

Dalším krokem je analyzovat komunikační protokoly vhodné pro nasazení v chytré domácnosti. Závěrečný krok spočívá ve vybrání vhodných platforem pro realizaci chytré domácnosti. Tyto platformy budou vzájemně detailně porovnány, včetně vyhodnocení kladů a záporů.

1 Úvod do problematiky

Tato kapitola přináší stručný úvod do tématu chytrého bydlení 1.1, za kterým následuje shrnutí historického vývoje v této oblasti 1.2. V druhé části této kapitoly jsou uvedeny příklady požadavků, které mohou chytré domácnosti splnit 1.3. Kapitulu uzavírá přehled typických zákaznických požadavků 1.4.

1.1 Chytré bydlení

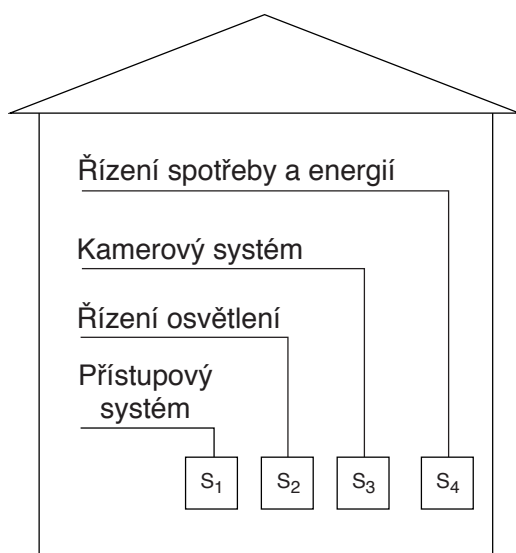
Chytré bydlení může být chápáno jako dům vybavený výpočetní a informační technologií, který reaguje na potřeby obyvatel a zvyšuje jejich komfort, pohodlí a bezpečnost [1]. Chytré bydlení zároveň poskytuje technologie pro správu a řízení domácnosti pomocí vzdáleného nebo interního připojení.

1.1.1 Jednoúčelové systémy

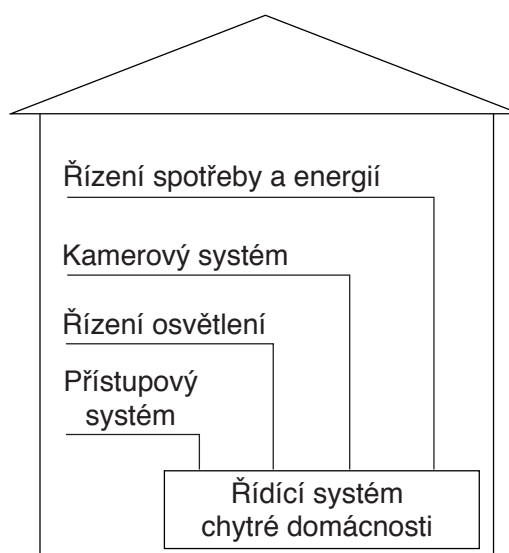
Zásadním požadavkem na chytré bydlení je integrace veškerých systémů v domě do jednoho společného – chytré domácnosti. V dnešní době existuje mnoho jednoúčelových systémů, které spolu navzájem neumí komunikovat. Využití více takovýchto oddělených systémů v jedné domácnosti přináší mnohé nevýhody. Každý systém zpravidla potřebuje svoji separátní centrální jednotku. Tím se zvyšuje cena, náročnost na údržbu a také množství propojovacích částí a složitost montáže. Příklad použití mnoha separátních systémů demonstruje obrázek 1.1.

1.1.2 Centrální systém

Centrální systém je stěžejním předpokladem pro tvorbu chytré domácnosti. Veškeré komponenty tvoří jeden celek, který může být efektivně spravován z jednoho místa. Takto integrované komponenty si mohou efektivně předávat informace a docílit efektivnější správy domácnosti. Typicky poskytovanou funkcí centrálních systémů je možnost vzdálené správy (např. pomocí chytrého telefonu). Příklad integrovaných systému je na následujícím obrázku 1.2.



Obrázek 1.1: Separátní systémy



Obrázek 1.2: Centrální systém

1.2 Historie a současný vývoj

Termín chytrá domácnost byl oficiálně zaveden roku 1984 americkou asociací pro výstavbu domů [2]. Počátky chytrého bydlení se však datují ještě dříve. Již v roce 1975 byly položeny základy protokolu X10, který umožňuje jednoduchou komunikaci mezi elektronickými zařízeními. X10 je základem mnohých jednoúčelových systémů, které byly později rozšířeny do konceptu chytrých domácností.

1.2.1 1980-2000

K rozšíření konceptu chytrých domácností došlo v letech 1980-1990, kdy docházelo i k velkému rozmachu technologií a volnočasových zařízení jako jsou televize [1]. Rozmach **volnočasových zařízení** byl z velké části možný díky dostupnosti zařízení, které čas naopak šetří. Do této opačné skupiny **zařízení usnadňujících práci** se v té době řadily především vysavače, pračky, kuchyňské roboty, varné konvice a žehličky. Chytrá domácnost je také produktem, který by měl šetřit čas a snižovat výdaje.

1.2.2 Začátek 21. století

I přes zvyšující se povědomí o chytrých domácnostech existuje stále malé množství domů, které se do této kategorie řadí. Dle knihy Inside the smart home [1] bránilo většímu a rychlejšímu rozšíření několik bariér:

- **Vysoká počáteční investice.** Cílovou skupinu zákazníků tvoří lidé s nadprůměrnými příjmy, kteří zároveň musí být s výhodami chytré domácnosti obeznámeni.
- **Složité instalace.** Instalace systému pro chytrou domácnost do stávajících budov je náročnější než v případech, kdy je systém instalován při stavbě nemovitosti.
- **Nedostatek protokolů.** Nedostatečné možnosti stávajících protokolů pro přenos dat a propojení všech částí systému.
- **Různorodost zákaznických požadavků.** Systémy ještě nejsou na tak vysoké úrovni, aby uspokojili veškeré požadavky zákazníků na chytrou domácnost.

1.2.3 Současnost

Dochází k velkému rozvoji trhu chytrých domácností. U nás i v zahraničí vznikají nové společnosti, které nabízejí řešení pro chytré bydlení na míru. Zároveň také vznikají univerzální modulární systémy založené na různých komunikačních protokolech jako jsou Z-Wave nebo ZigBee¹.

Dle statistik společnosti Statista [3] byl v roce 2018 celosvětový výnos v oblasti chytrých domácností² přibližně 53 miliard US\$. Tento výsledek představuje meziroční nárůst o více než 42%. Odhadovaný meziroční nárůst na tomto trhu se má v letech 2018-2023 pohybovat kolem 22% a představovat tak v roce 2023 celosvětovou výnosnost kolem 145 miliard US\$. Naprostou převahu mají Spojené státy americké, které představují téměř polovinu celkového výnosu na tomto trhu pro rok 2018. Stejně tak dominují v počtu chytrých domácností v poměru k počtu obyvatel. V USA má chytrá domácnost zastoupení v 27,6% domácností, oproti tomu u nás v ČR je to dle výše citovaného zdroje 3,9%.

V porovnání celosvětové výnosnosti se chytré domácnosti přibližují trhu s videohrami. Ten je s výnosností kolem 74 miliard US\$ napřed, ale meziroční růst je mnohem nižší (4,6%).

¹Komunikační protokoly jsou podrobněji zpracovány v kapitole 2.

²Do statistik jsou započítány i domácnosti založené na jednoúčelových systémech.

1.3 Možnosti chytré domácnosti

Co všechno vlastně chytré domácnosti dovedou a jaké služby mohou poskytovat? To je popsáno v následujícím přehledu, který je rozdělen do pěti základních kategorií. Detailnějšímu přiblížení jednotlivých kategorií předchází jednoduchý přehled 1.3 pro snadnou orientaci. Funkčnosti rozdělené do vybraných kategorií jsou čerpány primárně od českých společností vytvářejících chytré domácnosti [4][5][6].

| | | | |
|----------------|--|-------------------------|-----------------------|
| Bezpečí | Kamerový systém | Přístupový systém | Simulátor přítomnosti |
| Úspory | Řídicí systém tepelných zdrojů | Řízení spotřeby | |
| Komfort | Automatické ovládání žaluzií, osvětlení nebo zavlažování | | |
| Zábava | Propojení multimediálních zařízení | Světelné profily | |
| Zdraví | Měření kvality ovzduší a vody | Osobní záchranný systém | |

Obrázek 1.3: Zjednodušený přehled možností chytré domácnosti

1.3.1 Bezpečí

Jedním ze základních požadavků na chytré domácnosti je právě zabezpečovací systém. Chytrá domácnost by měla v ideálním případě umět všechno, co zvládají specializované bezpečnostní systémy a zároveň integrovat prvky z ostatních kategorií. Do komponent bezpečnosti patří:

- Kamerový systém
- Přístupový systém
- Požární čidla
- Infračervené závory a detektory pohybu
- Detektor výpadku proudu
- Automatické zavření oken
- Záplavový detektor
- Videozvonek
- Simulátor přítomnosti³

³Například simulace přítomnosti osob, když je majitel domu na dovolené.

1.3.2 Úspory – řízení energie a zdrojů

Počáteční investice spojená s pořízením chytré domácnosti by se měla vrátit právě díky šetrnému řízení energie a zdrojů. Poskytovatelé chytrých domácností nabízí mnoho možností integrace:

- Řízení spotřeby a elektrických rozvodů⁴
- Sledování spotřeby u zásuvek nebo místností
- Koordinovaná regulace tepelných zdrojů – chytrý termostat
 - Tepelné čerpadlo
 - Elektrický/plynový kotel
 - Klimatizace
 - Rekuperace
 - Ventilace
- Řízení topení a regulace teplot
- Integrace solárních panelů a tepelných čerpadel
- Bazén a vířivka (optimální ohřev z různých zdrojů)
- Automatické vypnutí světla v místnosti, kde nikdo není
- Automatické vypnutí topení, když je otevřené okno
- Chytré měření teploty, vlhkosti, osvětlení nebo rosení

1.3.3 Komfort

Jak bylo uvedeno v části 1.2.1, komfort a šetření času je jednou z klíčových funkcí chytrých domů. Následující výčet přibližuje některé z možností pro zvýšení komfortu nebo usnadnění údržby:

- Automatické řízení žaluzií a rolet
- Vzdálený přístup k chytré domácnosti
- Ovládání hlasem
- Chytré osvětlení⁵
- Chytré zásuvky
- Ovládání a hlídání garážových vrat a brán

⁴Například zapnutí boileru ve výhodnějším tarifu odběru elektřiny.

⁵Automatické přizpůsobení světla – například tlumené světlo v noci.

- Automatizované funkce⁶
- Automatické zavlažování
- Integrace domácích spotřebičů
- Upozornění na poštu ve schránce

1.3.4 Zábava a ovládání multimédií

Záměrem chytré domácnosti je také propojení a integrace chytrých multimediálních systémů. To umožňuje jednoduchý přístup ke všem zařízením a datovým zdrojům z jednoho místa. Příklady systémů a možností, které může chytrá domácnost v této kategorii zastřešovat, jsou:

- Multimediální zařízení
 - Chytré televize a reproduktory
 - Domácí kino
 - Centrální úložiště
- Personalizace chytré domácnosti
 - Předdefinované ozvučení místností
 - Světelné scény a profily

1.3.5 Zdraví

Souhrn uzavírá kategorie Zdraví. Ta sice není v počtu možností tak pestrá jako některé z předešlých kategorií, ale přesto může mít zásadní dopad. Do chytré domácnosti lze zabudovat i monitorovací a záchranné systémy, které mohou pomáhat lidem se zdravotními problémy. Možnosti chytré domácnosti v této sekci jsou například:

- Osobní záchranný systém nouzové reakce
- Měření kvality ovzduší a vody
- Sledování pohybu starších osob
- Upomínky a kontroly na pobírání léčiv
- Detektor kouře a plynu

⁶Sada úkonů na jedno kliknutí – například při odchodu z domu.

1.4 Potřeby zákazníků

Jak je patrné z předchozí podkapitoly 1.3, nabízí se velmi mnoho možností jak chytrou domácnost vybavit. Cílem této práce však není nalézt platformu, která pokrývá všechny myslitelné možnosti chytrých domácností a uspokojí každého uživatele. Cílem je důkladně porovnat různé platformy. Z tohoto důvodu budou nejprve vybrány typické požadavky zákazníků na které je dle dostupných informací kladen důraz.

1.4.1 Typické požadavky

Podrobnější studie zpracovaná na téma „Co lidé očekávají od chytrých domácností“ byla shrnuta v článku [7]. Organizace ORi⁷ prováděla průzkum, který dával potencionálním uživatelům možnost vybrat pouze jednu nejpreferovanější funkcionalitu v chytré domácnosti. Nejvíce dotazovaných (26 %) si přálo **chytrý termostat**, na druhém místě bylo **řízení osvětlení se zastoupením 21 %**. Dále si lidé přáli⁸ přístupový systém, řízení teploty vody a vzdálené ovládání pračky. Tyto informace jsou základem pro následující seznam typických požadavků. U požadavků stanovených z jiných zdrojů je uveden odkaz na zdroj literatury ihned za požadavkem.

Dle uváděných zdrojů patří mezi typické požadavky následující:

- Chytrý termostat a obecně úspory energií [7][8][9]
- Řízení osvětlení [7]
- Přístupový systém [7]
- Ovládání hlasem a hlasoví asistenti [7][10]
- Videozvonek [9]
- Vzdálený přístup k domácnosti [7]

Je však potřeba upozornit, že požadavky zákazníků mohou být do jisté míry ovlivněny i neznalostí všech možností, které chytré domácnosti mohou poskytovat. Na tento problém poukazuje také článek [9]. I přes rozšiřování chytrých domácností v poslední letech, není informovanost potencionálních zákazníků dobrá. To především díky obrovské paletě možností, které lze při tvorbě chytré domácnosti poskytnout. Mnoho lidí také pochybuje o bezpečnosti chytrých systémů.

⁷Open Roboethics Institute

⁸V sestupném pořadí dle oblíbenosti.

2 Komunikační protokoly

Významnou roli v oblasti chytrých domácností představují právě komunikační protokoly. Veškerá zařízení a systémy v domácnosti spolu musejí navzájem komunikovat a předávat si informace. Výběr komunikačního protokolu ovlivňuje celý návrh chytré domácnosti. Například WiFi připojení nedosáhne dobrých výsledků v případě, že chceme dané zařízení provozovat pouze na baterii. Stejně tak výběr drátového komunikačního protokolu může zapříčinit stavební úpravy. Komunikační protokol je základním kamenem veškerých systémů pro chytré domácnosti. Právě proto je věnována této problematice samostatná kapitola, která stručně představí některé běžně používané komunikační protokoly.

2.1 Topologie

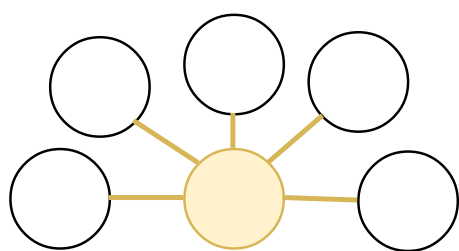
V následující části textu budou často zmiňované topologie sítě, které komunikační protokoly podporují. První sekce této kapitoly je proto věnována stručnému přiblížení topologií, které bylo zpracováno podle [11][12]. **Z fyzického pohledu** se topologie dělí pouze do dvou kategorií. **Point-to-point** spojení, kde komunikace probíhá po médiu pouze mezi 2 zařízeními (telefonní hovor). Druhou variantou fyzického spojení je **multipoint** propojení. V tomto případě využívá médium více zařízení. S tím souvisí nutnost identifikace zařízení v síti (počítačová síť). Topologie se dále rozdělují **logicky** a v našem případě jsou důležité následující uspořádání:

Sběrnice je topologie s páteří sítí, která připojuje všechny komunikační zařízení. Páteří sítě je typicky kabel, který slouží jako sdílené komunikační médium. Pokud chce jakékoli zařízení v síti komunikovat, musí vyslat hromadnou (broadcast) zprávu, kterou přijmou všechna zařízení. Pouze zařízení, pro které je zpráva určena obsah zpracuje. Při desítkách zařízení připojených k jedné sběrnici se začíná velmi snižovat výkon (rychlost). Pokud sběrnice selže na kterémkoli místě, přestanou komunikovat všechna zařízení. Příkladem takové topologie je připojení několika periférií k USB hubu (rozbočovači).

Hvězdice je často využívaná topologie pro připojení počítačů k internetu. Taková síť má centrální prvek, ke kterému jsou všechna zařízení v síti přímo připojena. Výhodou oproti sběrnice je vyšší odolnost vůči selhání.

Při selhání jednoho kabelu se odpojí pouze jedno zařízení. V případě drátového připojení je hlavní nevýhodou nutnost vedení velkého množství kabelů. U bezdrátové komunikace může být nevýhodou omezený dosah k centrální jednotce nebo zahlcení komunikačního média.

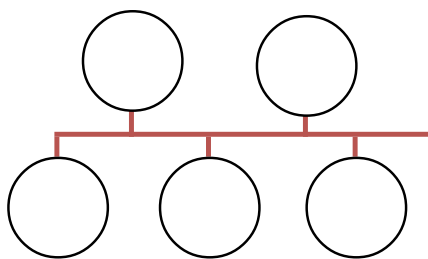
Mesh je topologie, kde každé zařízení může komunikovat point-to-point se všemi zařízeními v mesh síti, které má na dosah. Zpráva se může přeposílat mezi více zařízeními zprostředkovaně. Tato topologie se typicky využívá u bezdrátových technologií a umožňuje dosáhnout vysoké spolehlivosti a velkému dosahu sítě i bez speciálních prvků.



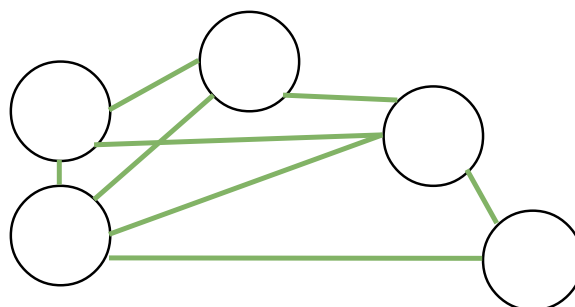
Hvězdice



Point-to-point



Sběrnice



Mesh

Obrázek 2.1: Síťové topologie

2.2 Bezdrátové připojení

Mnoho moderních řešení pro chytré domácnosti využívá bezdrátovou komunikaci. Příkladem jsou například platformy chytrých asistentů popsané v kapitole 3.1. V rámci této práce jsou protokoly rozděleny do tří kategorií v návaznosti na model ISO/OSI.

2.2.1 Nízkovrstvé

Nízkovrstvé protokoly jsou definované nad fyzickou a linkovou vrstvou modelu ISO/OSI. Definují fyzické přenosové médium a přístup k němu. Často jsou využity jako komponenta full stack protokolů popsaných v sekci 2.2.2.

IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4 je technický standard definující nenáročný bezdrátový protokol specifikující fyzickou vrstvu a přístup k médium. Je základem dalších IoT protokolů jako ZigBee, 6LoWPAN, Thread a MiWi. Cílem standardu je přinést protokol s nízkými HW požadavky a nízkou spotřebou. Klíčovými vlastnostmi jsou také vysoká spolehlivost přenosu, nízký dosah sítě a nízká přenosová rychlost. Jsou definovány dvě topologie – hvězdicová a Peer-to-Peer (mesh). Standard definuje také potvrzování korektního doručení zpráv (ACK) pro spolehlivou komunikaci. Přístup k médium je stanoven pomocí CSMA/CA, které spočívá ve sledování aktivního přenosu na nosné frekvenci. Zdroje informací jsou [13][14].

WiFi

WiFi s technickým označením IEEE 802.11 je klíčovým protokolem používaným v každodenním životě. Tato technologie je zaměřena především na co nejvyšší propustnost dat s ohledem na přiměřenou spotřebu. V chytré domácnosti však často není zdaleka tak vysoká propustnost dat potřeba. Daleko důležitější je mnohdy energetická nenáročnost protokolu (nízká spotřeba zařízení) a dosah sítě. Klíčové vlastnosti jsou shrnuty v tabulce 2.1. Informace byly čerpány ze zdrojů [15][14].

Bluetooth

Jedná se o rozsáhlý standard¹, který je od verze 4.0 popsán i ve variantě LE (Low Energy). Klasické Bluetooth funguje na principu P2P (point-to-point) topologie a v mnoha případech slouží k přenášení (streamingu) audia, pro které je dobře optimalizované. Informace jsou čerpány z oficiální dokumentace [16] a shrnuty v tabulce 2.1.

¹Verze 4.0 má přes 2 000 stránek [16].

Bluetooth Low Energy

Bluetooth Low Energy (BLE), někdy také označováno jako Bluetooth Smart je úsporná verze Bluetooth. Počátky BLE sahají do roku 2006, kdy byla firmou Nokia představena technologie Wibree. Ta sloužila jako úsporná alternativa k Bluetooth. V roce 2010 už se Wibree zahrnula do Bluetooth standardu verze 4.0 pod názvem Bluetooth Low Energy [17]. Stejně jako u Bluetooth bylo čerpáno z oficiální dokumentace [16] a technické informace jsou v tabulce 2.1.

2.2.2 Full stack

Protokoly mají typicky omezenou působnost a zaměřují se pouze na implementaci určité vrstvy z modelu ISO/OSI. Full stack je označení pro protokoly, které operují v rámci všech vrstev ISO/OSI. Kromě slovního popisu full stack prokolů je možné nahlédnout do tabulky 2.1, která porovnává full stack a nízkovrstvé protokoly.

Z-Wave

Z-Wave je bezdrátový komunikační protokol určený primárně pro chytré domácnosti. Pro připojení spotřebičů využívá mesh topologii² na kmitočtu 800-900 MHz s možností propojit až 232 spotřebičů. Jednotlivé spotřebiče díky této topologii nemusí mít v přímém dosahu centrální jednotku (Z-Wave Gateway), která umožňuje vzdálený přístup. Zařízení mohou s centrálou komunikovat zprostředkovaně přes ostatní spotřebiče v Z-Wave síti. Ve volném prostoru je dosah komunikace přibližně 30 m [18]. Začátkem roku 2019 měla Z-Wave aliance přes 700 členských společností, přes 2 600 certifikovaných produktů a přes 100 milionů zařízení na trhu [19]. Zdrojem informací pro tuto část jsou oficiální stránky Z-Wave [20] a Z-Wave aliance [21], pokud není uvedeno jinak u konkrétního tvrzení.

ZigBee

ZigBee je název pro otevřený bezdrátový protokol s nízkou spotřebou a zaměřením na IoT produkty. Stejně jako Z-Wave využívá mesh topologii, ale komunikační pásmo je typicky³ vyšší – 2,4 GHz. Pro ZigBee existuje přes 2 500 certifikovaných produktů, kterých se už nasadilo přes 300 milionů kusů [22]. Tato zařízení mezi sebou zvládnou komunikovat na vzdálenost 10-100⁴ metrů v závislosti na prostředí [18]. Pro šifrovanou komunikaci ZigBee využívá standardní bezpečnostní schéma AES-128. Rychlost datového přenosu dosahuje 250 kb/s. Protokol umožňuje připojit až 65 tisíc zařízení v jedné síti. Platformy ZigBee a Z-Wave jsou si dost podobné a dle [18] je ZigBee méně uživatelsky přívětivá, ale naopak poskytuje vyšší bezpečnost.

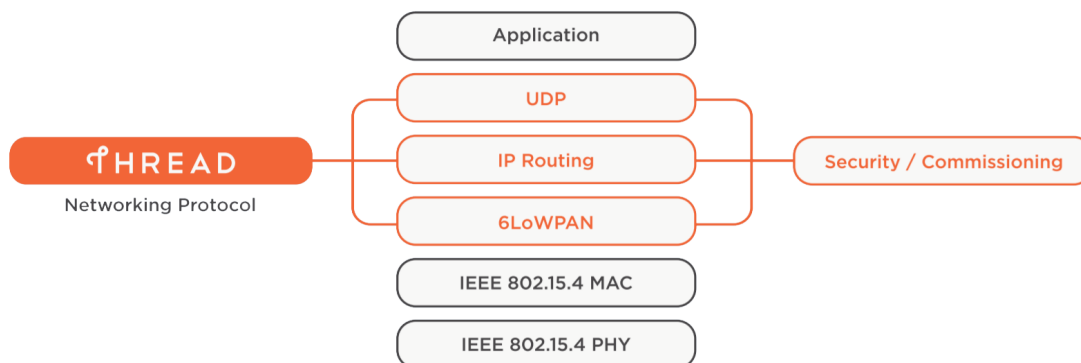
²Topologie která využívá redundanci propojení a je odolnější vůči výpadkům v síti.

³Některé země a produkty využívají i nižší pásma 784, 868 a 915 MHz.

⁴U komunikace na nižších frekvencích je možné dosáhnout až 1 km vzdálenosti [22].

Thread

Thread je síťový protokol vyvinutý na použití v oblasti IoT. Je založený na standardu 802.15.4. Vyšší vrstvy jsou tvořené 6LoWPAN (IPv6), UDP nebo vlastní bezpečnostní vrstvou na síťové úrovni. Rozložení jednotlivých vrstev protokolu je znázorněno na obrázku 2.2. Mezi hlavní výhody Thread patří nízká náročnost, schopnost vytvářet síť mesh a adaptovat se na vzniklé změny v síti. Díky IPv6 je možné přímo adresovat (identifikovat) každé zařízení v síti IP adresou. Rozšiřující informace ze kterých bylo čerpáno jsou [14][23].



Obrázek 2.2: Bezdrátový protokol Thread – vrstvy [23]

2.2.3 Zhodnocení a srovnání

Detailní srovnání full stack a nízkovrstvých protokolů se nachází v již zmiňované tabulce 2.1. V případě nízkovrstvých protokolů je vidět dramatický rozdíl mezi WiFi a standardem IEEE 802.15.4, který je základem protokolů Thread a ZigBee. I přes nedostatky WiFi je tento protokol u IoT zařízení běžně využíván. Protokol Bluetooth 4.0 je v tabulce uveden především pro možnost porovnání s BLE. Rozdíly nejsou až tak velké, ale důležitým bodem u BLE je podpora mesh topologie. Klasické Bluetooth totiž umí pouze point-to-point.

U full stack protokolů převládají platformy Z-Wave a ZigBee. Protokol Thread je oproti nim velmi nový protokol, který si nicméně našel uplatnění u mnoha velkých firem [23]. Narozdíl od nízkourovňových jsou všechny full stack protokoly zaměřeny na chytrou domácnost a IoT a rozdíl v parametrech už není tak velký jako u nízkourovňových. První příčku v oblíbenosti (dle počtu prodaných kusů) zaujímá ZigBee. Každá z platforem má své silné stránky a pouze časem se ukáže, která z nich si získá dominantní postavení. Aktuálně se mnoho chytrých zařízení pro platformy chytrých asistentů (viz podkapitola 3.1) certifikuje pro ZigBee a Z-Wave zároveň. Produktů s podporou Thread zatím příliš mnoho není.

| Full stack protokoly | | | Nízkoúrovňové protokoly | | | | |
|-------------------------------------|-------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| | Z-Wave [24] | ZigBee | Thread | IEEE 802.15.4 | Bluetooth (4.0) | BLE ⁵ [16] | WiFi ⁶ |
| PHY+MAC ⁷ vrstva | vlastní | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.4 | IEEE 802.15.1 | IEEE 802.15.1 | IEEE 802.11 |
| Frekv. pásmo [MHz] | 860, 908 | | | 800-930, 2 400 ⁸ | 2 400 | 2 400 | 2 400, 5 000 |
| Dosah | 30 m | | | 30 m | 100 m | 50 m | 70 m |
| Přenosová rychlost | 40 kb/s | | | 20-40, 250 kb/s | 2,1 Mb/s | 1 Mb/s | 600 Mb/s |
| Topologie sítě | mesh | | | mesh, hvězdicová | P2P, master-slave | P2P, BR ⁹ , mesh | hvězdicová |
| Odběr proudu (max.) | 40 mA | 30 mA | 30 mA | 20 mA [25] | 30 mA | 15 mA | 200 mA |
| Latence | N/A | 20-30 ms [26] | 100 ms | 2-50 ms [26] | 1 ms | 3 ms | 1 ms |
| Rok vydání | 2003 | 2005 | 2015 | 2003 | 2010 | 2010 | 2009 |
| Počet zařízení ¹⁰ (max.) | 232 | 65 000 | 16 000 | 65 534 | 7 slave | 32 767 (mesh) | dle AP |
| Počet hopů (max.) | 4 | 32 | 15 | | | | |
| Šifrování | AES-128 | AES-128 ¹¹ | AES-128 ¹² | | | | |
| Certifik. produktů ¹³ | 2 600 | 2 500 | N/A | | | | |

Tabulka 2.1: Bezdrátové komunikační protokoly – srovnání

⁵Bluetooth Low Energy
⁶Ve srovnání je vybrán standard IEEE 802.11n.
⁷Fyzická a linková vrstva - dvě nejnižší vrstvy OSI/ISO modelu.
⁸Pásmo se používá v závislosti na legislativě konkrétní země.
⁹Broadcast
¹⁰Počet zařízení, které lze maximálně připojit v rámci jedné lokální sítě.
¹¹Implementován na síťové vrstvě [27].
¹²Implementován na linkové vrstvě [27].
¹³Počet různých certifikovaných zařízení s podporou tohoto protokolu.

2.3 Drátové připojení

Existuje mnoho drátových protokolů splňující různorodé požadavky. V práci je uvedeno pouze několik protokolů určených primárně pro automatizaci domácnosti a komunikaci chytrých zařízení. K tomuto účelu se typicky používají protokoly na principu PLC, který je popsán o odstavec níže. Podrobnější informace o drátových protokolech (s ohledem na použití v automatizovaných budovách) lze nalézt v literatuře [28]. Tato literatura je zároveň použita jako výchozí zdroj informací pro následující podkapitoly o konkrétních drátových protokolech.

PLC – Powerline Communication je v tomto případě označení principu drátové komunikace. PLC využívá ke komunikaci stejnou linku, přes kterou je dané zařízení napájeno. Díky tomuto řešení může být využito stávající elektrické vedení pro ovládání zařízení a není proto potřeba provádět dodatečné úpravy spojené s instalací. Nevýhodou je nízká přenosová rychlost, která postačuje na ovládání a předávání jednoduchých zpráv. Pro přenos dat z video kamery už tyto protokoly ve většině případů nebudou dostačující a bude nutné vést separátní médium pouze pro přenos dat.

2.3.1 X10

X10 je jednoduchý synchronní sériový komunikační protokol navržený firmou Pico Electronics pro domácí automatizaci [29]. Využívá elektrické vedení (princip PLC) a poskytuje omezenou sadu 16 příkazů. Z důvodu využití elektrického vedení je náchylný na rušení od ostatních zařízení v síti. Existuje varianta, kdy zařízení pouze poslouchají příkazy, stejně i varianta, kdy zařízení odpovídají. Původně byl určen k ovládání světel. Jedna zpráva má velikost 47 b, což při rychlosti 60 b/s znamená téměř sekundovou prodlevu pro doručení požadavku.

2.3.2 KNX

KNX je komunikační protokol vytvořený primárně pro automatizaci domácností a budov obecně. KNX je založený na OSI síťovém modelu a je plně standardizován (EN 50090, ISO/IEC 14543). Standard je definován na mnoha fyzických vrstvách. Typicky se využívá kroucená dvoulinka, elektrické vedení, radiové vlny nebo Ethernet (KNX IP). Standard je definován i v bezdrátové variantě. Každá fyzická vrstva má své specifické vlastnosti a nabízí různé uplatnění. Přehledným zdrojem informací je oficiální dokumentace o základech KNX [30]. Protokol je díky podpoře několika fyzických vrstev flexibilní a má velmi dobrou dokumentaci.

2.3.3 Insteon

Insteon je protokol, který umožňuje jednoduše vytvořit síť pomocí elektrického vedení nebo radiové frekvence. Všechna zařízení v Insteon síti jsou „peers“. Neboli všechna zařízení mohou přijímat, vysílat nebo přeposílat ostatním zprávy. To jednoduše bez požadavku na centrální jednotku a bez komplexního směrovacího softwaru. Čím víc zařízení je v síti, tím více je robustní. Insteon založený na elektrickém vedení je kompatibilní s X10 zařízeními. Protokol vznikl v roce 2005 a snaží se předcházet problémům, které měly protokoly v té době [31]. Snaží se především o jednoduchost, robustnost a nenáročnost, aby mohlo být toto řešení ekonomicky uplatnitelné. Bezdrátová verze protokolu se oproti Z-Wave a ZigBee snaží zjednodušit směrovací strategie a nepřinášet do sítě složité členění prvků s nutností řídicích jednotek.

2.3.4 Universal Powerline Bus (UPB)

UPB je drátový protokol z roku 1999, který využívá elektrické vedení k ovládnutí zařízení. Protokol využívá centrální jednotky nebo peer-to-peer komunikace. Protokol dokáže přenést pět příkazů za sekundu. Hlavní výhodou protokolu je vysoká spolehlivost, která má být sto až tisíckrát vyšší než u protokolu X10. Nevýhodou je nutnost přidávat veškerá zařízení v síti ručně. Oproti ostatním standardům není tento protokol implementován i pro bezdrátové médium a využívá se pouze nad elektrickým vedením. Zdrojem informací je [32].

2.3.5 Power over Ethernet (PoE)

PoE je technologie založená na standardech IEEE 802.3af a 802.3at, která umožňuje napájet zařízení přes existující datové připojení pomocí jediného Ethernet kabelu typu Cat5e/Cat6. Jedná se o technologii na principu powerline communication. Velká výhoda tohoto řešení spočívá v zachování standardních rychlostí přenosu. Existuje větší množství konkrétních implementací PoE standardu. Jednu z implementací poskytuje i Versa technology [33]. Právě tato implementace byla zvolena do porovnání v tabulce 2.2. Napájení u Versa implementace je možné k zařízení přivádět kabelem o délce až sto metrů. Existuje více verzí PoE standardu, kde první z nich poskytuje výkon až 15,4 W pro připojené zařízení. Nejnovější varianta poskytuje až 95 W.

2.3.6 Srovnání

Do porovnání byly zahrnuty především full-stack protokoly. Nízkoúrovňové protokoly většinou přináší nutnost instalace jak elektrického vedení, tak datové sběrnice. Tyto komunikační protokoly jsou zároveň široce používané a obecně nejsou přímo spjaty s chytrou domácností. Srovnání základních parametrů výše uvedených protokolů se nachází v tabulce 2.2.

| | Full stack protokoly | | | | Nízkourovňový protokol |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|---|-------------------|--|
| | X10 | UPB | KNX | Insteon | |
| Přenosové médium | elektrické vedení | elektrické vedení | kroucená dvoulinka elektrické vedení IP-enabled média | elektrické vedení | PoE type 4 ¹⁴ 1000Base-T |
| Přenosová rychlost | 20-60 b/s | 480 b/s | 1-10 kb/s | 2,4 kb/s | 1-10 Gb/s |
| Typ komunikace | synchronní sběrníková | synchronní sběrníková | dle média | synchronní | asynchronní |
| Zařízení (max.) | 256 | 250 | 50 000 | 17 milionů | 1 ¹⁵ |
| Rok vydání | 1975 | 1999 | 2003 | 2005 | 2017 |
| Bezdrátová verze | ANO | NE | ANO ¹⁶ | ANO | . ¹⁷ |
| Princip PLC | ANO | ANO | ANO ¹⁸ | ANO | ANO (PoE ¹⁹) |

Tabulka 2.2: Drátové komunikační protokoly – srovnání

¹⁴PoE type 4 je standard IEEE 802.3bt, který je založen nad standardy IEEE 802.3an a IEEE 802.3bz, které odpovídají Ethernet připojením v rychlosti 2,5-10Gb/s s kabely Cat 5e nebo Cat 6.

¹⁵Ethernet dosahuje vysokých rychlostí především z důvodu, že zařízení spolu navzájem nikdy nesoutěží o komunikační médium – každé zařízení má své.

¹⁶Bezdrátová komunikace – rádiová nebo infračervená.

¹⁷Jedná se o protokol implementující pouze nejvyšší vrstvu předávání zpráv a není zde možné uvažovat bezdrátovou verzi ve stejném smyslu jako u dalších protokolů, které řeší naopak vyšší vrstvu komunikace.

¹⁸Princip PLC je u KNX možný pouze v případě využití elektrického vedení jako přenosového média.

¹⁹PoE má v nejvyšší verzi IEEE 802.3bt limit pro napájení 90 W.

2.4 Zhodnocení

Tato podkapitola je věnována obecnému zhodnocení drátových a bezdrátových protokolů. Pro vyšší přehlednost je zhodnocení zpracováno do tabulky 2.3. Tabulka byla vypracována na základě veškerých již dříve použitých zdrojů, navíc byl použit zdroj [34].

| | Komunikace | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | Bezdrátová | Drátová | |
| | | Samostatné datové médium | Powerline Communication |
| Náročnost instalace | velmi jednoduchá | náročná ²⁰ | jednoduchá |
| Bezpečnost | nutnost opatření ²¹ | malé bezpečnostní riziko | |
| Přenositelnost zařízení | snadná | náročná | |
| Datová propustnost | nízká-střední | střední-vysoká | nízká |
| Spolehlivost a robustnost | střední | vysoká | nízká-střední |
| Rozšiřitelnost a škálovatelnost | snadná | náročná | střední-náročná |

Tabulka 2.3: Zhodnocení komunikačních protokolů

²⁰Při výstavbě nového domu není problém přidat do zdi kabely navíc. V hotové budově to znamená práce navíc.

²¹Bezpečnostní opatření mohou být u zařízení pracujících na baterii energeticky náročná a zpomalovat rychlost komunikace.

3 Platformy a systémy

Díky IoT je nyní možné vytvořit chytrou domácnost spojením chytrých zařízení v rámci domácí sítě. Nebo alespoň v této podobě jsou produkty propagovány. O této problematice je pojednáváno na úvod v části 3.1. Na druhé straně stojí robustní řešení založená typicky na PLC¹, která splňují průmyslové standardy a už delší dobu jsou využívány v praxi (podkapitola 3.3). Uprostřed stojí kutilské platformy (viz 3.2), které poskytují levné, ale mnohdy komplexní nástroje pro tvorbu vlastní chytré domácnosti.

3.1 Platformy chytrých asistentů

Platformy chytrých asistentů představují kategorii, kde si uživatel nemůže příliš přizpůsobit požadavky „na míru“. Na výběr je však k dispozici vysoký počet kompatibilních produktů s bezdrátovým připojením. Platformy jsou uživatelsky přívětivé a nevyžadují složitou instalaci. Uživatel si může díky pohodlné instalaci dokupovat produkty postupně a jejich pořizovací cena není vysoká (typicky jednotky tisíc Kč). Jednotlivé produkty kompatibilní s jednou, či více platformami vlastně představují zařízení spadající do IoT (Internet of Things). Kompatibilita s danou platformou jim navíc oproti jiným IoT zařízením zajišťuje jednotnou správu, ovládání a vzdálený přístup z jednoho místa.

3.1.1 Apple HomeKit

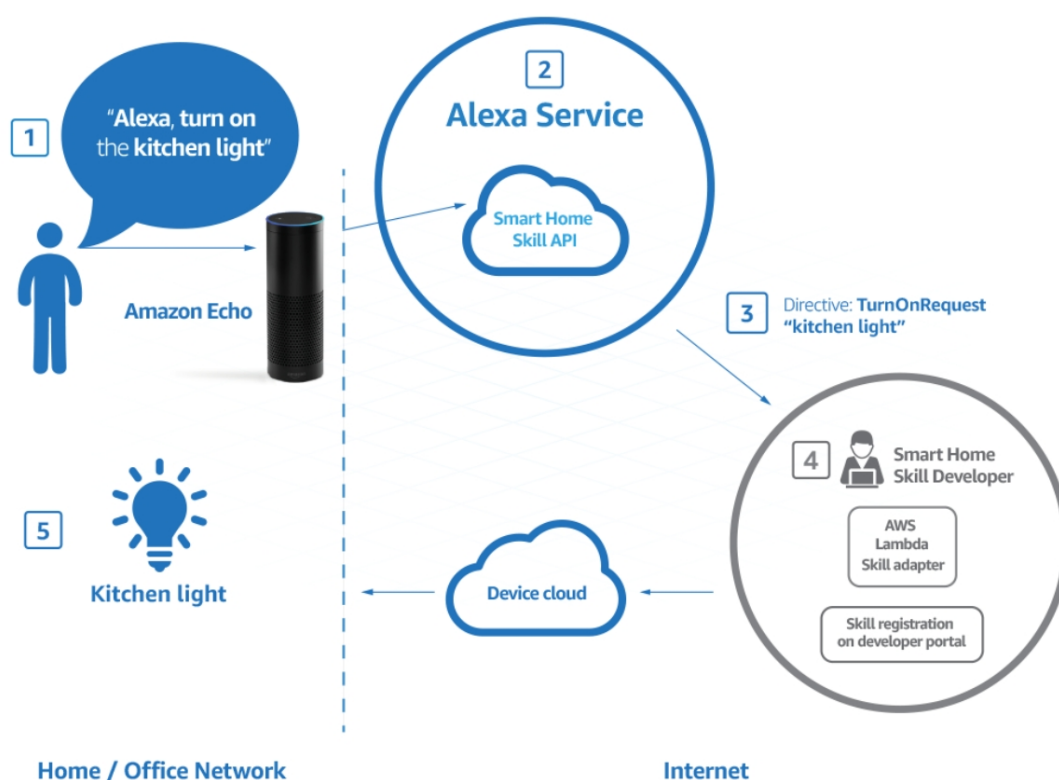
Apple HomeKit je platforma založená na iOS umožňující vytvořit chytrou domácnost. Platforma využívá stávající Apple zařízení s jejichž pomocí je možné ovládat kompatibilní příslušenství označené „Works with Apple HomeKit“. Na oficiálních stránkách je uvedeno přes 350 takto označených produktů [35]. Produkty s tímto štítkem musí splnit MFi² certifikační program, který v případě komerčního využití definuje přísné požadavky, především na bezpečnost [36]. Pro vzdálené ovládání HomeKit produktů je nutné domácí centrum, které představují vybrané Apple produkty (HomePod, Apple TV nebo iPad). Výhodou platformy je možnost hlasového ovládání za pomoci Siri, kterou podporují všechny novější Apple zařízení [37]. Nevýhodou platformy je její uzavřenost na Apple produkty a typicky i vyšší cena.

¹Programovatelných logických automatech

²Made for iPhone/iPad/iPod/Apple Watch.

3.1.2 Amazon Alexa

Amazon Alexa je virtuální hlasová asistentka, která umožňuje ovládat IoT zařízení s Amazon certifikací (označením „Works with Amazon Alexa“)[38]. Kompatibilní zařízení lze připojit přímo do cloudu pomocí Smart Home Skill API [39], jehož princip je znázorněn na následujícím obrázku 3.1. Zařízení je dále možné připojit lokálně k hubům, které zároveň fungují jako centrální jednotky (rodina produktů Amazon Echo). Další možností je propojení ZigBee sítě s novou řadou produktů Amazon hubů (Amazon Echo Plus) [40]. Amazon uvádí, že existuje přes 28 000 různých kompatibilních zařízení pro chytré domácnosti od více než 4 500 společností [41].



Obrázek 3.1: Amazon Alexa - Smart Home Skill API [42]

3.1.3 Google Assistant

Google assistant je hlasový asistent integrovaný ve většině zařízení Android. Umožňuje jednoduše ovládat chytrá zařízení s podporou „Google Assistant“. Stejně jako u předchozích řešení je nabízena centrální jednotka. V tomto případě pojmenovaná Google Home, která umožní centrální a vzdálenou správu. Google Assistant podporuje přes 10 000 zařízení [43].

3.1.4 Shrnutí a porovnání

Zařízení na všech platformách se připojují bezdrátově k centrálním jednotkám (hubům). Tyto huby společně s aplikací zastřešují veškerá zařízení v domácnosti a umožňují k nim přístup z jednoho místa.

Apple HomeKit poskytuje vysokou kvalitu, ale jeho nevýhodou je vysoká pořizovací cena a málo kompatibilních produktů. Narozdíl od ostatních platforem neposkytuje levnou variantu hubu a pokrytí více místností se prodraží. Amazon a Google jsou na tom cenově podobně. Ve prospěch Amazonu hraje náskok v podobě širší podpory zařízení a funkčnosti (skills). Google má naopak propracovanější některé funkce chytrého asistenta (například vyhledávání v Google mapách). Vzájemné porovnání platforem je uvedeno v tabulce 3.1. Zdrojem informací pro tuto tabulku jsou oficiální stránky platforem [44][45][46], případně jsou uvedeny reference přímo v tabulce.

| | Apple HomeKit | Amazon Alexa | Google Home |
|--------------------------------|---------------|---|--------------------------------|
| Počet zařízení | 350 | 28 000 | 10 000 |
| Různých výrobců | 100 | 4 500 | 1 000 |
| Nejnovější hub | HomePod | Echo Dot 3.g / Echo Plus 2.g | G-Home Mini / Google Home |
| Cena hubu ³ | 9 700 | 1 500 / 4 500 | 1 300 / 3 400 |
| Chytrý asistent | Siri | Alexa | Google Assistant |
| Aplikace | Domácnost | Amazon Alexa | Google Home |
| Kompatibilita (OS) | iOS 10.0+ | Android 5.1+ iOS 10.0+ Fire OS 5.3.3+ prohlížeč [47] | Android 5.0+ iOS 10.3+ [48] |
| Vyhledávač | Google | Bing | Google |
| Počet skills ⁴ [49] | neuvedeno | 56 750 | 4 253 |
| Česká lokalizace ⁵ | NE | NE | NE, brzy ano ⁶ |

Tabulka 3.1: Platformy chytrých asistentů

³Zaokrouhlená průměrná cena v ,- Kč dle heureka.cz k březnu 2019.

⁴Skills jsou specifické aplikace, které umí hlasový asistent provést. Typicky ve spolupráci s dalšími aplikacemi a zařízeními. Například WhatsApp skill na diktování a odeslání zpráv.

⁵Česká lokalizace v podobě hlasové ovládní.

⁶Na Google I/O 2018 byla ČR na seznamu zemí, které obdrží do konce roku lokalizaci. To se nestalo a k březnu 2019 nebylo podáno oficiální prohlášení o časovém plánu uskutečnění lokalizace.

3.2 Kutilské platformy

V podkapitole kutilských platforem budou vybrány systémy, které by si mohl uživatel vybrat pro tvorbu chytré a cenově dostupné domácnosti. K porovnání jsou záměrně vybrány dvě velmi známé platformy – Arduino a Raspberry. BigClown představuje vývojové desky (stavebnici), kterou je možné využít i na vážnější projekty (vyhovují náročnějším požadavkům). Kutilské platformy uzavírá BeagleBoard, který produkuje jednočipové kity podobných parametrů jako Raspberry.

Cílem této kapitoly není ukázat produkty, které jsou na vybraných platformách zcela nejvhodnější pro tvorbu chytré domácnosti. Cílem je znázornit co platformy poskytují a zda se vůbec vyplatí vymýšlet a stavět si vlastní řešení z pohledu kvality provedení a ceny. Jednotlivé platformy jsou nejprve stručně představeny, poté následuje porovnání v tabulce 3.2.

3.2.1 Arduino

Arduino je velmi známou a populární platformou, která si získala oblibu především díky své jednoduchosti a příznivé ceně. Zároveň je dostatečně univerzální, aby umožnila tvorbu rozličných projektů. Svou popularitu si získala také díky open-source přístupu, který umožňuje komukoli využít oficiální dokumentaci Arduina pro vytvoření vlastních zařízení. Díky tomu se na internetu objevují kopie populárních vývojových kitů za minimální cenu.

3.2.2 Raspberry Pi

Je platforma produkující sérii malých jednočipových počítačů s vysokým výkonem při udržení ceny do 35 US\$. Jednočip umožňuje chod odlehčených Linuxových distribucí včetně grafického prostředí. Od roku 2016, kdy se začala prodávat 64 bitová rodina Raspberry Pi 3, se prodalo více než 19 milionů těchto zařízení [50]. Pro srovnání v tabulce 3.2 byl vybrán nejnovější produkt Raspberry Pi 3B+.

3.2.3 BeagleBoard

Je označení pro rodinu open-source jednočipových počítačů vyvinutých firmou Texas Instruments ve spolupráci s dalšími firmami. Záměrem desky je poskytnout dostatečný výpočetní výkon při nízké spotřebě energie. Snahou je také dostatečná jednoduchost, aby deska mohla sloužit jako učební nástroj. Stejně jako u Raspberry je zde zajištěna podpora operačního systému Linux v různých distribucích (včetně grafického prostředí).

3.2.4 BigClown

BigClown je platforma spadající pod firmu Jablotron působící převážně na českém trhu. Oproti konkurenci přináší modulární řešení, které od začátku myslí na bezpečnost a kvalitu produktů. Kromě spolehlivosti a bezpečnosti se platforma zaměřuje na otevřenost (open-source), uživatelskou přívětivost a možnost bateriově napájeného nasazení. BigClown je v podstatě kvalitní stavebnice, která eliminuje některé ze slabých stránek zavedených platformem a zároveň je stále cenově dostupná.

3.2.5 Porovnání a zhodnocení

Pro kutily nastává několik problémů. Pokud si někdo bude chtít vyrobit například vlastní chytré osvětlení komunikující bezdrátově, musí překonat řadu problémů. Stejně tak, pokud své řešení bude chtít rozšířit o ovládání z telefonu. Při použití vývojové desky sice zvládne chytré osvětlení vyrobit poměrně rychle, ale díky vysoké vybavenosti, těchto uživatelsky přívětivých vývojových kitů si uživatel často zaplatí i mnoho funkcí, které nevyužije. Tím vzrůstá typicky cena, spotřeba a rozměry takového zařízení. Zároveň si bude uživatel muset připravit vlastní aplikaci do telefonu, nebo prozkoumat možnosti využití již hotových řešení a implementovat je. Kdyby chtěl kutil přijít s vlastním řešením chytré domácnosti postaveném na bezdrátové komunikaci (jako u platformem chytrých asistentů), ekonomicky se mu to s využitím univerzálních kitů zřejmě nevyplatí.

Kutilská platforma však může mít dobrý smysl při kombinaci drátových i bezdrátových protokolů, případně při kombinaci produktů z různých platformem. Raspberry Pi poskytuje dostatečný výkon, aby mohlo sloužit jako centrální jednotka. Pro sběr dat a ovládání některých periférií může být plně dostačující levné Arduino Uno, které lze pořídit i za 100,- Kč. Inspiraci lze najít na mnoha webech jako je například [instructables.com](https://www.instructables.com).

Obrovskou výhodou kutilských platformem je volnost, která se uživatelům nabízí. Typicky zde však může být problém s úsporným provozem na baterii nebo zabezpečením. Detailnější srovnání jednotlivých zařízení na různých platformách lze najít na následující straně v tabulce 3.2. Arduino Uno je do srovnání zakomponováno především pro svou nízkou cenu.

| Produkt | Arduino | | Raspberry Pi | BeagleBone | BigClown |
|--------------------------|--------------------------------|----------------|---|--|---------------------------------|
| | MKR WIFI [51] | Uno rev 3 [52] | | | |
| Konektivita | WiFi (b/g/n) | NE | Pi 3B+ [53] Ethernet WiFi (b,g,n,ac) Bluetooth 4.2 BLE | Green Wireless [54] WiFi (b,g,n) Bluetooth 4.1 BLE | Core Module [55] 868/915 MHz |
| Bateriové napájení | ANO ⁷ | ANO | NE | NE | ANO |
| Klídkový odběr | 20 mA / 3,3V 120mA při WiFi | 42 mA / 5V | 300 mA / 5V | 290 mA / 5V | 5 μ A ⁸ / 3,3V |
| HW šifrování | ANO (ECC508) | NE | NE | NE | ANO (ATSHA204A) |
| Dig. pinů | 8 | 14 | 28 | 69 | 18 |
| Analog. vstupů | 7 | 6 | 0 | 7 | 6 |
| Paměť flash | 256 kB | 32 KB | MicroSD | 4 GB | 192 kB |
| SRAM | 32 KB | 2 KB | 1 GB | 512 MB | 20 kB |
| Rozměry [mm] | 62 x 25 | 69 x 53 | 86 x 57 | 87 x 53 | 55 x 33 |
| Cena [Kč] ⁹ | 720,- | 510,- | 1 500,- | 1 000,- | 744,- |
| Cena kopií ¹⁰ | - | 85,- | 1 250,- | - | - |
| Datum vydání | 06/2018 | 2012 | 03/2018 | 05/2016 | 09/2018 |

Tabulka 3.2: Kutilské platformy – srovnání hobby produktů

⁷Při provozu na 1 400 mAh baterii vydrží Arduino 8 hodin v zátěži [56].

⁸BigClown podporuje Deep sleep mode ve kterém má deska odběr pouze 5 μ A. Běžný klidový odběr nebyl na stránkách výrobce uveden.

⁹Cena je včetně kabelů a příslušenství nutného pro provoz vývojové desky.

¹⁰Ceny byly vyhledávány na portálu [eBay.com](https://www.ebay.com) v březnu 2019. Pokud není cena uvedena, produkt zde nebyl dostupný, nebo byl ještě dražší.

3.3 Průmyslové platformy

Průmyslové platformy jsou kategorií, která pro automatizaci typicky využívá PLC (programovatelný logický automat – viz níže). Z toho vyplývá řada důsledků, mezi které patří také vyšší pořizovací cena¹¹. Z důvodu omezeného rozsahu práce se v této kapitole nebude nacházet srovnání jednotlivých PLC platform. Tvorba chytré domácnosti založené na PLC bude téměř ve všech případech svěřena specializované firmě, která problematice rozumí. Pro běžného uživatele je postavení chytré domácnosti pomocí PLC nedosažitelná díky ceně, nutným znalostem a časové náročnosti.

Pokud se řešení chytré domácnosti navrhuje rovnou při výstavbě nemovitosti, budou průmyslové platformy velmi efektivní. To zejména v porovnání s platformou chytrých asistentů. Mnoho produktů sice splní svoji funkci, ale můžou tvořit špatný designový dojem. Příkladem je chytrá zásuvka do stávající zásuvky ve zdi. Umožní sice funkčnosti navíc, ale bude vypadat špatně.

Výhodou průmyslových platform je vysoká robustnost a vyšší životnost systému. Zároveň je nutné dobře promyslet, co všechno je v domácnosti potřeba a případně zavést kabeláž navíc, která bude připravena pro případ, že se zákazník rozhodne k rozšíření systému.

PLC je v tomto případě označení pro programovatelný logický automat. PLC je technologie využívající digitální počítače navržené speciálně pro efektivní provádění různých činností průmyslových automatizačních metod. Často jsou využívány pro montážní linky továren a řízení strojů. Na rozdíl od běžných počítačů jsou PLC využívány pro zpracování mnoha vstupů a ovládání mnoha výstupů. Jsou silně spjaté s programovacím jazykem. PLC mohou vytvořit flexibilní, odolný, nákladově efektivní a víceúlohový systém. PLC jsou také uzpůsobena pro poměrně snadné odhalení chyb. Navíc často splňují přísná zátěžová kritéria pro použití v náročném prostředí. Poskytují proto často zvýšenou odolnost proti vodě, prachu i vysokým a velmi nízkým teplotám. Zdrojem informací pro tento odstavec je [57]. Pro nasazení v chytrých domácnostech je vhodná například rodina produktů Tecomat Foxtrot, kterou využívají některé tuzemské firmy.

¹¹Cena centrálních jednotek Tecomat Foxtrot začíná kolem 10 000,- Kč.

3.4 Závěrečné porovnání platformem

V závěrečném porovnání budou porovnány platformy pro tvorbu chytré domácnosti a ukázány jejich nejzásadnější rozdíly. Za průmyslovou platformu budou do jisté míry považována hotová řešení, která se prodávají koncovým zákazníkům. Výhody a nevýhody se tak budou vázat k uživatelskému hledisku, nikoli pohledu vývojáře (jako u Kutilských platformem).

Z tabulky 3.3 uvedené na další straně vyplývá mnoho důsledků. Platforma chytrých asistentů, která je na vzestupu přinesla poměrně uspokojivé řešení za velmi přijatelnou cenu. Poskytuje vysokou modularitu a poměrně kvalitní řešení. Tato fakta společně s komplexností problematiky chytrých domácností vytváří velmi nevýhodné podmínky pro tvorbu vlastní chytré domácnosti založené na kutilských platformách. Minimálně v případě, že řešení chceme dotáhnout na určitý stupeň kvality. Na druhou stranu se i v kutilských podmínkách nabízí velmi kvalitní produkty, se kterými bude možné vytvořit téměř plnohodnotný systém. Dobře uchopený projekt může přinést zajímavé výsledky za rozumnou cenu.

Na druhé straně jsou průmyslové platformy, které představují již osvědčený koncept. Koncept, který funguje a řešení na dané bázi se instalují i do hotelů a jiných velkých zakázkových objektů. Tento profesionálnější přístup je vykoupěn vyšší cenou, nižší modularitou a dlouhou realizační dobou. Každá z platformem má však své místo a vhodné využití. Je jen na nás, kam se technologie budou dále ubírat a posouvat.

| | Platforma | | |
|---|---------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| | Chytrých asistentů | Kutliská | Průmyslová |
| Náročnost instalace | nenáročná-mírně náročná ¹² | středně-velmi náročná | náročná-velmi náročná ¹³ |
| Délka realizace | dny | měsíce | týdny-měsíce |
| Uživatelská přívětivost | střední ¹⁴ | nízká, nebo časově náročná. | velmi přívětivá a intuitivní |
| Ověřenost technologií | nízká-střední ¹⁵ | střední | vysoká |
| Vypělost řešení ¹⁶ | střední ¹⁷ | dle řešení | vysoká |
| Robustnost | střední | nízká | vysoká |
| Životnost řešení | 2-x let ¹⁸ | negarantovaná ¹⁹ | 10-30 let |
| Možnost vzdálené správy | ANO – nutná centrální jednotka | ANO – nutno s tím počítat při návrhu | ANO |
| Modularita | plně podporována | dle řešení | střední podpora ²⁰ |
| Bezpečnost | nízká-vysoká (dle platformy) | dle řešení | střední-vysoká ²¹ |
| Propracovanost řešení | střední ²² | nízká | vysoká ²³ |
| Design | středně přívětivý, moderní | dle řešení | přívětivý, vysoká personalizace |
| Počáteční investice | minimální (tisíce korun) | středně vysoká (tisíce-desetitisíce) | vysoká-velmi vysoká (statisíce) |
| Poplatky za provoz a údržbu ²⁴ | nízké | střední ²⁵ | nízké-střední |

Tabulka 3.3: Závěrečné porovnání platforem

¹²Zvládne běžný uživatel postupem dle návodu.

¹³Typicky je nutné řešit společně s projektací. Vyžaduje profesionální přístup.

¹⁴Přirozené ovládání hlasem, chybí některé ovládací prvky. Prozatím nepodporuje češtinu.

¹⁵Rozsáhlý vývoj v tomto segmentu – častá obměna zařízení, nekompatibilita produktů.

¹⁶Vypělost ve smyslu jak efektivně se daná technologie využívá.

¹⁷Využívají mnoho moderních technologií, ale například v oblasti komunikačních protokolů často využívají WiFi, která není v mnoha případech ideální.

¹⁸Tyto technologie prochází rychlým rozvojem a to co je dnes moderní, zítra bude zastaralé a pozítří nebude podporované a bude představovat bezpečnostní riziko. Standardní záruční doba je 2 roky – minimální životnost řešení.

¹⁹Raspberry má nevýhodu v životnosti paměti flash (microSD úložiště) a Arduino nemá garantovanou životnost. Naopak řešení s BigClown má garantovanou životnost delší.

²⁰Některé systémy podporují bezdrátová řešení nebo už při projektaci zavádí kabeláž navíc.

²¹Interní síť je typicky drátová. Při vzdálené správě záleží na výrobci, jaké použil řešení.

²²Chytré osvětlení je sice skvělé, ale stačí fyzicky vypnout přívod elektřiny a aplikace v telefonu nebo prohlížeči nám je rázem k ničemu.

²³Vše integrováno do domácnosti s možností řídit téměř vše. Typicky chybí ovládání hlasem.

²⁴Nejsou zde započítány poplatky spojené s provozováním řešení třetích stran (v cloudu), bez kterých nemusí vše fungovat. Tyto poplatky jsou typicky v řádu stokorun měsíčně. Platformy chytrých asistentů většinou takové poplatky nemají.

²⁵Lze předpokládat kratší životnost jednotlivých komponent a nutnou častější obměnu.

Závěr

V práci jsem se zaměřil na teoretické zpracování a analýzu problematiky chytrých domácností. V prvotních fázích se práce zdála být poměrně přímočará a až časem se ukázala velká obsáhlost tohoto tématu. Po prvotním ujasnění základních pojmů a historického vývoje jsem se zaměřil na prozkoumání typického využití – co chytrá domácnost dokáže. Už zde jsem začal narážet na značné rozdíly v implementacích a poskytovaných službách. To, co je v jednom systému samozřejmostí, nemusí být v jiném dosažitelné.

Čím déle jsem se v této oblasti pohyboval, tím více nových témat a pojmů k prozkoumání se otevíralo. Jako naprosto zásadní téma v této oblasti jsem shledal problematiku komunikačních protokolů, které do velké míry celou chytrou domácnost definují a vše se od nich odvíjí. Jedním z větších problémů byla právě selekce toho co je a není důležité. Na téma, které jsem zde popisoval na několika stranách jsou napsány celé bakalářské a diplomové práce (některé z nich cituji). V práci jsem zahrnul především řešení, která jsou specifická pro chytré domácnosti a jejich návrh byl koncipován právě pro tuto problematiku.

S podobným problémem jsem bojoval i při samotné analýze platform. Téma, které jsem původně zamýšlel zpracovat jako jeden celek, se v průběhu práce rozpadlo do několika kategorií a mnoha menších tabulek. Ani zde nebylo jednoduché rozhodnout, které oblasti do práce zahrnout a jak moc detailně je zpracovat.

Poslední problém představovala selekce kvalitních zdrojů literatury. Čerpal především z oficiálních stránek produktů a protokolů, akademických prací a knih. Některé informace však nebylo možné dohledat přímo z oficiální dokumentace a selekce hodnotných a naopak nedůvěryhodných zdrojů stála mnoho úsilí.

I přes uvedené problémy věřím ve velký přínos této práce. To zejména pro její ucelený pohled na základní koncepty chytré domácnosti. V tomto tématu bych rád pokračoval v diplomové práci zaměřující se na praktické zhodnocení a prohloubení informací.

Literatura

- [1] HARPER, Richard. Inside the smart home. New York: Springer, c2003. ISBN 18-523-3688-9.
- [2] TASNER, Patrick. The 10 Most Important Moments in the History of Home Automation [online]. 2015 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://smarthomeforyou.com/history-of-home-automation/>
- [3] Smart home - worldwide statistics [online]. 2018 [cit. 2018-12-26]. Dostupné z: <https://www.statista.com/outlook/279/100/smart-home/worldwide>
- [4] Chytrý dum Loxone [online]. 2019 [cit. 2019-01-13]. Dostupné z: <https://www.loxone.com/cscz/chytry-dum/>
- [5] Insight Home - systém AMX [online]. 2019 [cit. 2019-01-13]. Dostupné z: <http://www.insighthome.eu/inHome.html>
- [6] Systém Foxtrot [online]. 2019 [cit. 2019-01-23]. Dostupné z: <http://controlyourhouse.com/cs/>
- [7] What people want from a smart home [online]. 2019 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <https://mybroadband.co.za/news/technology/113531-what-people-want-from-a-smart-home.html>
- [8] What do people who don't have smart home products want from them? Savings [online]. 2019 [cit. 2019-01-24]. Dostupné z: <https://www.digitaltrends.com/home/parks-associates-smart-home-survey-saving-money-increases-interest/>
- [9] WHAT CONSUMERS REALLY THINK ABOUT SMART HOMES [online]. 2019 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: https://www.builderonline.com/design/technology/what-consumers-really-think-about-smart-homes_o
- [10] CES 2017: The 1 Thing Americans Want Most in a Smart Home [online]. 2019 [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: <https://www.fool.com/investing/2017/01/06/ces-2017-the-1-thing-americans-want-most-in-a-smar.aspx>

- [11] Computer Network Topology Outline [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://systemzone.net/computer-network-topology-outline/>
- [12] PHYSICAL TOPOLOGY AND LOGICAL TOPOLOGY [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: http://www.idc-online.com/technical_references/pdfs/data_communications/Physical_Topology_and_Logical_Topology.pdf
- [13] NXP - Understanding the 802.15.4 Standard [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: https://www.nxp.com/files-static/rf_if/doc/ref_manual/802154MPSRM.pdf
- [14] SIEKLIK, Ivan. Thread Smart Home Model. Brno, 2017. Diplomová. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. Aleš Povalač, Ph.D.
- [15] What is WiFi: IEEE 802.11 [online]. 2019 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.electronics-notes.com/articles/connectivity/wifi-ieee-802-11/what-is-wifi.php>
- [16] Bluetooth Archived Specifications [online]. 2019 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/specifications/archived-specifications>
- [17] SSR - Bluetooth Low Energy [online]. 2019 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <http://ssrllc.com/quick-thoughts-for-payments-bluetooth-puts-a-beat-down-on-nfc-and-wifi/>
- [18] ZigBee vs Z-Wave for the IoT [online]. 2019 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: <https://electronics360.globalspec.com/article/8625/zigbee-vs-z-wave-for-the-iot>
- [19] Z-Wave Alliance Hosts Interactive Smart Home Pavilion at CES 2019 [online]. 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.nbc-2.com/story/39751041/z-wave-alliance-hosts-interactive-smart-home-pavilion-at-ces-2019>
- [20] Z-Wave [online]. 2019 [cit. 2019-02-03]. Dostupné z: <https://www.z-wave.com/>
- [21] Z-Wave Alliance [online]. 2019 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://z-wavealliance.org/z-wave-alliance-overview/>
- [22] ZigBee for developers - Zigbee 3.0 [online]. 2019 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0/>
- [23] Thread - Developers [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.threadgroup.org/What-is-Thread/Developers>

- [24] Catching the Z-Wave [online]. 2019 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.embedded.com/design/connectivity/4025721/Catching-the-Z-Wave>
- [25] Fafoutis, X. a. s.: BLE or IEEE 802.15.4: Which Home IoT Communication Solution is more Energy-Efficient? EAI Endorsed Transactions on Internet of Things, ročník 2, 05 2016. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/304102769_BLE_or_IEEE_802154_Which_Home_IoT_Communication_Solution_is_more_Energy-Efficient
- [26] A Comparative Analysis of BLE and IEEE802.15.4 (6LoWPAN) For U-HealthCare Applications [online]. 2019 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/259484715_A_Comparative_Analysis_of_BLE_and_IEEE802154_6LoWPAN_For_U-HealthCare_Applications
- [27] Thread vs. Zigbee – What’s the difference? [online]. 2019 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: https://e2e.ti.com/blogs_/b/connecting_wirelessly/archive/2018/05/16/thread-vs-zigbee-what-s-the-difference
- [28] MAIER, Jürgen. Powerline in Building Automation. Vídeň, 2011. Bakalářská. Technische Universität Wien. Dostupné z: https://www.auto.tuwien.ac.at/bib/pdf_TR/TR0157.pdf
- [29] TAUFER, Pavel. Domáci automatizace. Praha, 2015. Bakalářská. Univerzita Karlova v Praze - Matematicko-fyzikální fakulta. Vedoucí práce Mgr. Martin Mareš, Ph.D.
- [30] KNX Basics [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: http://knx.fi/doc/esitteet/KNX-Basics_en.pdf
- [31] Insteon Developer’s Guide 2nd Edition [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: http://cache.insteon.com/pdf/INSTEON_Developers_Guide_20070816a.pdf
- [32] About UPB Technology [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: http://www.simply-automated.com/UPB_Technology.php
- [33] Power Over Ethernet: Fully Explained and Revised for 2019 [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.versatek.com/what-is-power-over-ethernet/>
- [34] Wired vs Wireless Home Automation [online]. 2019 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://slashbill.com/blog/index.php?/archives/63-Wired-vs-Wireless-Home-Automation.html>
- [35] Home accessories [online]. 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.apple.com/ios/home/accessories/>

- [36] How HomeKit's software authentication works [online]. 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.imore.com/how-homekits-software-authentication-works>
- [37] Používání Siri na všech vašich zařízeních Apple [online]. 2019 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://support.apple.com/cs-cz/HT204389>
- [38] Connect Your Devices to Alexa [online]. 2019 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://developer.amazon.com/alexa/connected-devices>
- [39] Understand the Smart Home Skill API [online]. 2019 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://developer.amazon.com/docs/smarthome/understand-the-smart-home-skill-api.html>
- [40] Alexa Connected Devices - ZigBee [online]. 2019 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://developer.amazon.com/alexa/connected-devices/zigbee>
- [41] Smart Home Products Compatible with Alexa [online]. 2019 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://developer.amazon.com/alexa/connected-devices/compatible>
- [42] Understand the Smart Home Skill API (v2) [online]. 2019 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://developer.amazon.com/docs/archive/shv2-understand-the-smart-home-skill-api.html>
- [43] Control smart home devices using Google Home [online]. 2019 [cit. 2019-02-22]. Dostupné z: <https://support.google.com/googlehome/answer/7073578?hl=en>
- [44] Apple - Your home at your command. [online]. 2019 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.apple.com/ios/home/>
- [45] Amazon - All things Alexa [online]. 2019 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://www.amazon.com/b/ref=aeg_d_nav_cat?node=17934671011
- [46] Google Home [online]. 2019 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: https://store.google.com/gb/product/google_home
- [47] Amazon Alexa App - compatibility [online]. 2019 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://www.amazon.com/gp/help/customer/display.html?nodeId=201602060>
- [48] OS requirements for Google Home [online]. 2019 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://support.google.com/googlehome/answer/7035987?hl=en-GB>
- [49] Google Assistant Actions [online]. 2019 [cit. 2019-03-16]. Dostupné z: <https://voicebot.ai/2019/02/15/google-assistant-actions-total-4253-in-january-2019-up-2-5x-in-past-year-bu>

- [50] Raspberry Pi 3 Model B+ [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/blog/raspberry-pi-3-model-bplus-sale-now-35/>
- [51] ARDUINO MKR WIFI 1010 [online]. 2019 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/mkr-wifi-1010>
- [52] ARDUINO UNO REV3 [online]. 2019 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>
- [53] Raspberry Pi 3 Model B+ [online]. 2019 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-3-model-b-plus/>
- [54] SeeedStudio BeagleBone Green Wireless [online]. 2019 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://beagleboard.org/green-wireless>
- [55] BigClown Core Module [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <https://shop.bigclown.com/core-module/>
- [56] MKR1000 Battery Life [online]. 2019 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/MKR1000BatteryLife>
- [57] Concept of PLC [online]. 2019 [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: <http://www.smartautomation.in/plc-automation/>

Seznam použitých zkratk

| | |
|-------------|---|
| AES | Advanced Encryption Standard |
| API | Application Programming Interface |
| BLE | Bluetooth Low Energy |
| ČR | Česká republika |
| FM | Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií Technické univerzity v Liberci |
| HW | Hardware |
| IEC | Mezinárodní elektrotechnická komise |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers |
| IoT | Internet of Things |
| IPv6 | internetový protokol verze 6 |
| IS | Informační systém |
| ISO | Mezinárodní organizace pro normalizaci |
| Kč | Korun českých |
| MFi | Made for iPhone |
| N/A | Not Available |
| ORi | Open Roboethics institute |
| OS | Operační Systém |
| PLC | Powerline Communication / Programmable Logic Controller |
| PoE | Power over Ethernet |
| SD | Secure Digital |
| TUL | Technická univerzita v Liberci |
| UDP | User Datagram Protocol |
| UPB | Universal Powerline Bus |
| US | United States |
| USA | United States of America |
| USB | Universal Serial Bus |