

Matter technologie a její využití v domovní automatizaci

Lukáš Oplatek

Bakalářská práce
2023



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav informatiky a umělé inteligence

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lukáš Oplatek**
Osobní číslo: **A20016**
Studijní program: **B0613A140020 Softwarové inženýrství**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Matter technologie a její využití v domovní automatizaci**
Téma práce anglicky: **Matter Technology and Its Use in Home Automation**

Zásady pro vypracování

1. Vypracujte literární rešerši na dané téma.
2. Popište principy komunikačního standardu Matter (ISO/OSI model).
3. Popište základní prvky využívané v domovní automatizaci a jejich uvedení do provozu.
4. Vypracujte srovnávací tabulku vlastností Matter a podobných technologií (výhody a nevýhody).
5. Zpracujte návrh řešení řízení domácnosti pomocí technologie Matter.



Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. LOWE, Scott, Matt OSWALT a Jason EDELMAN. Network Programmability and Automation: Skills for the Next-Generation Network Engineer. 1. O'Reilly Media, 2018. ISBN 978-1491931257.
2. FALUDI, Robert. Building Wireless Sensor Networks: with ZigBee, XBee, Arduino, and Processing: A Practical Guide to the Zigbee Mesh Networking Protocol. 1. O'Reilly and Associates, 2011. ISBN 978-0596807733.
3. Code of Practice for Building Automation and Control Systems (IET Standards). 1. INSTITUTION OF ENGINEERING & T, 2020. ISBN 978-1785615634.
4. ČSN EN ISO 16484-1. Automatizační a řídicí systémy budov (BACS) – Část 1: Projektová specifikace a realizace. Switzerland: Ústav pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 2011.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Drábek, Ph.D.**
Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

doc. Ing. Jiří Vojtěšek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D., DBA v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 7. prosince 2022

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Předmětem této práce je návrh chytré domácnosti za použití nového standardu Matter. Práce uvádí přehled standardů využívaných pro IoT, jejich specifikace a popis využití. Dále popisuje aktuální stav standardu Matter 1.0 a jeho současných problémů. V praktické části práce je standard Matter porovnán s dalšími běžně užívanými bezdrátovými standardy pro IoT. Následuje návrh řešení chytré domácnosti s využitím standardu Matter a popis použitých zařízení.

Klíčová slova: IoT, Matter, domovní automatizace, standardy IoT

ABSTRACT

The subject of this work is a smart home design using the new Matter standard. The work provides an overview of the standards used for IoT, their specifications, and a description of the use. Then, it describes the current status of Matter 1.0 and its current problems. In the practical part of the work, the Matter standard is compared to other commonly used wireless standards for IoT. Finally, a smart home solution design using the Matter standard is presented, including short descriptions of used devices.

Keywords: IoT, Matter, Home Automation, IoT standards

Poděkování, motto a čestné prohlášení, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická, nahraná do IS/STAG jsou totožné ve znění:

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu BP Ing. Pavlovi Drábkovi, Ph.D. za jeho čas a názor na vývoj BP. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině za neustálou podporu.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 INTERNET VĚCÍ – IOT	11
1.1 DOMOVNÍ AUTOMATIZACE	11
1.2 KOMUNIKAČNÍ STANDARDY	12
1.2.1 Wi-Fi	13
1.2.2 Wi-Fi HaLow	13
1.2.3 Bluetooth Classic	14
1.2.4 Bluetooth Low Energy (BLE).....	14
1.2.5 Zigbee.....	15
1.2.6 Z-Wave.....	16
1.2.7 Thread	17
1.3 ZÁKLADNÍ PRVKY VYUŽÍVANÉ V DOMOVNÍ AUTOMATIZACI.....	19
1.3.1 Ovladače.....	19
1.3.2 Senzory.....	19
1.3.3 Aktuátory.....	19
1.4 UVEDENÍ ZÁKLADNÍCH PRVKŮ DO PROVOZU	20
2 MATTER	21
2.1 MATTER ISO/OSI	22
2.1.1 TCP (Transmission Control Protocol)	24
2.1.2 UDP (User Datagram Protocol)	24
2.1.3 MRP (Message Reliability Protocol)	25
2.1.4 BTP (Bluetooth Transport Protocol).....	25
2.2 ZJIŠTĚNÍ NOVÉHO ZAŘÍZENÍ MATTER V SÍTI	25
2.3 MATTER, WI-FI A THREAD.....	26
2.4 MATTER A DALŠÍ STANDARDY.....	27
2.5 OTA.....	27
2.6 MATTER A JEHO PROBLÉMY	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	31
3 SROVNÁNÍ MATTER A PODOBNÝCH STANDARDŮ	32
4 NÁVRH ŘEŠENÍ DOMÁCNOSTI POMOCÍ MATTER	34
4.1 DISPOZICE ŘEŠENÉ DOMÁCNOSTI	34
4.2 POPIS POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ.....	35
4.2.1 Homey Pro 2023	35
4.2.2 HomePod mini	35
4.2.3 Eve Motion.....	36
4.2.4 Aqara Presence sensor FP2	36
4.2.5 Eve Door & Window	36
4.2.6 Nanoleaf E27 Smart Bulb	37
4.2.7 Eve Energy Smart Plug	37
4.2.8 Eve MotionBlinds	37

4.3	SEZNAM POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ	38
4.4	NÁVRH ŘEŠENÍ DOMÁCNOSTI POMOCÍ MATTER ZAŘÍZENÍ	39
4.5	POPIS ŘEŠENÉ DOMÁCNOSTI POMOCÍ MATTER ZAŘÍZENÍ	40
ZÁVĚR		41
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....		42
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		46
SEZNAM OBRÁZKŮ		48
SEZNAM TABULEK.....		49

ÚVOD

Popularita chytrých zařízení v domácnosti neustále roste a pojem IoT se dostává do povědomí širší veřejnosti. Chytrá zařízení dávno opustila cílovou skupinu technologických nadšenců a přesunula se k běžným spotřebitelům. S tím souvisí masivní nárůst nejen chytrých zařízení, ale také jejich výrobců. Závod ve vývoji nových chytrých technologií vede ke vzniku rozdílných chytrých ekosystémů. Tyto ekosystémy využívají různé komunikační technologie jak na úrovni komunikačních standardů, tak i na úrovni samotného hardware. Dnes jsme se tak ocitli v situaci, kdy existuje množství ekosystémů chytrých zařízení, které mezi sebou nejsou kompatibilní.

Standard Matter je nový komunikační standard IoT určený pro chytré domácnosti, který má ambici tento problém vyřešit. Technologie Matter využívá tři z dominantních technologických řešení bezdrátové komunikace: Wi-Fi, Thread a Bluetooth Low Energy. Technologii Matter definuje jednotný komunikační standard, který umožní propojit zařízení nejen z různých ekosystémů, ale dokonce využívající různé komunikační technologie. Zároveň umožňuje tato zařízení díky jednotnému komunikačnímu rámci ovládat z jedné řídicí aplikace dle volby uživatele (Google Assistant, Apple HomeKit nebo Amazon Alexa a další).

Technologie Matter tak má velké ambice a může nabídnout mnoho jak výrobcům, tak uživatelům chytrých zařízení. Technologie je nicméně mladá a informace jsou roztroušené a špatně srozumitelné pro neobornou veřejnost. Tato práce si tak vzala za cíl sebrat dostupné informace a ve srozumitelné formě je shrnout. Projekt dobře prezentuje své silné stránky, ale o svých omezeních se nezmiňuje. Dalším cílem této práce tedy bylo vyhledat zkušenosti uživatelů a objektivně posoudit, zda je technologie Matter ve stavu, kdy je použitelná běžným uživatelem, nebo zda jde stále o záležitost odborníků a technologických nadšenců.

Kromě shrnutí dostupných informací o standardu práce shrnuje základní charakteristiky také běžně používaných komunikačních standardů pro IoT. Technologie Matter je zasazena do kontextu dalších komunikačních standardů a práce uvádí srovnání jejich hlavních charakteristik.

Tato práce se také pokusila odpovědět na otázku, zda je technologie Matter připravená na použití běžným zákazníkem. V práci je prezentovaný návrh chytré domácnosti založený na technologii Matter, včetně popisu zvolených zařízení a zamýšlené funkce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 INTERNET VĚCÍ – IOT

Internet věcí (IoT) popisuje zařízení, která komunikují mezi sebou a různými aplikacemi prostřednictvím sítě. Kevin Ashton, spoluzakladatel Auto-ID Center, byl první, kdo použil termín „Internet of Things“ v roce 1999 během prezentace pro Procter & Gamble. Díky názvu je běžnou mylnou představou, že komunikace IoT probíhá vždy přes internet. Existuje však mnoho různých typů řešení konektivity IoT a ne všechna vyžadují přenosy přes internet. Příkladem takového řešení je technologie Thread. [1]

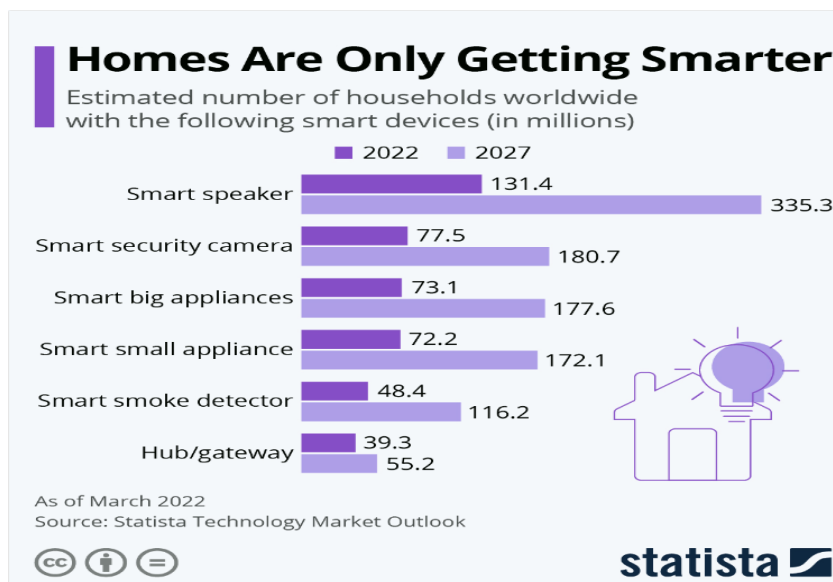
Koncept IoT byl z počátku používán u zařízení pro komunikaci identity využívající Identifikaci na rádiové frekvenci (RFID). Zařízení jsou pomocí RFID identifikována, sledována, monitorována, a také řízena pomocí vzdálených počítačů připojených přes internet. V dnešní době se použití termínu IoT přesunulo víc ke konceptu, kde zařízení (nositelné hodinky, budíky, domácí zařízení, okolní předměty) jsou „chytrá“ a snímají, počítají a sbírají informace, které dále předávají vzdáleným objektům (servery, cloudy, aplikace, služby a procesy). Ty na základě sesbíraných informací provádí rozhodnutí a případně ovládají zařízení. Propojení je kritickou součástí internetu věcí a zařízení se při komunikaci s bránami, aplikacemi, servery, směrovači a dalšími zařízeními internetu věcí spoléhají na síť. Tato komunikace přenosu a příjmu dat umožňuje zařízením vykonávat funkce, pro které byla navržena. V dnešní době mají výrobci širokou škálu možností, pokud jde o druh propojení, ne všechny jsou ale stejné. [2, 3]

1.1 Domovní automatizace

V posledních letech roste obliba využití IoT pro domácí automatizaci. Hlavní myšlenkou je centralizované ovládání různých částí domácnosti (vytápění, bezpečnostní systémy, osvětlení, spotřebiče atd.) společným ovládacím prvkem, kterým je mobilní aplikace nebo centrální hub.

Hlavní výhodou domovní automatizace je zvýšení pohodlí a v mnoha případech i ušetření času. Například, místo toho, aby uživatel musel obejít a ručně zhasnout jednotlivá světla v místnosti, můžou se vypnout, když osoba z místnosti odejde. U vytápění domácnosti zase může automatizace snížit náklady na energie řízením vytápění podle denní aktivity v domě. Na poli zabezpečení domácnosti pak jde využívat nejenom sledování pomocí bezpečnostních kamer a pohybových senzorů, ale také je možné zvýšení pohodlí jednoduchým ovládacím chytrých zámeků na základě polohy mobilního telefonu nebo chytrých hodinek.

Technologie domácí automatizace se s vývojem zlepšuje také z hlediska cenové dostupnosti a přístupnosti pro majitele domů. Server Statista ve své analýze [4] odhaduje, že v roce 2022 bylo více jak 130 milionů domů po celém světě vybaveno alespoň jedním chytrým reproduktorem. Odhaduje se že v roce 2027 to může být 335 milionů.



Obr. 1 Vývoj rozšíření chytrých zařízení v domácnostech [4].

1.2 Komunikační standardy

Propojení zařízení v IOT může být realizované pomoci různých komunikačních standardů. Vzhledem k rozdílům ve vlastnostech, schopnostech, způsobu provozu a požadavků však výrobci používají několik komunikačních standardů pro různá zařízení. [5] Mezi nejpoužívanější komunikační standardy chytré domácnosti patří:

- Wi-Fi
- Wi-Fi HaLow
- Bluetooth
- BLE
- Zigbee
- Z-Wave
- Thread

1.2.1 Wi-Fi

Wi-Fi sítě jsou v současné době základem chytrých domácností a poskytují pohodlnou a snadno ovladatelnou cestu pro ovládání domácích zařízení prostřednictvím internetového připojení. Pro připojení chytrých zařízení stačí běžný internetový Wi-Fi router. Wi-Fi sítě fungují v pásmech 2,4 GHz a 5 GHz. Pásmo 2,4 GHz podporuje při ideálních podmínkách maximální rychlost přenosu 300 Mbit/s, pásmo 5 GHz podporuje až 900 Mbit/s. U pásma 2,4 GHz je maximální dosah 250 metrů, u pásma 5 GHz je to 140 metrů. Větší dosah v pásmu 2,4 GHz může být výhodou, ale v oblastech s velkým množstvím zařízení (např. sídliště), dochází k zahlcení celého pásma, což následně vede k nespolehlivému nebo pomalému připojení. V těchto případech je vhodnější využít pásmo 5 GHz. Nejen, že nabízí vyšší přenosové rychlosti, ale díky menšímu dosahu a horší prostupnosti stěnami méně zasahuje do prostoru sousedních domácností. Ne všechna zařízení však tuto novější technologii podporují. [6]

Dalším omezením je, že k jednomu routeru lze připojit zhruba 250 zařízení. Pro připojení většího počtu zařízení je nutné použít více routerů propojených mezi sebou, což vyžaduje nejen větší finanční investici, ale také složitější instalaci. [7]

Dalším problémem spojeným s Wi-Fi sítěmi je bezpečnost. Wi-Fi sítě jsou díky své všeobecné rozšířenosti a často nedostatečnému nastavení zabezpečení oblíbeným cílem hackerů [8]. Významným slabým místem zabezpečení Wi-Fi je funkce Wi-Fi Protected Setup (WPS), která sice zjednodušuje připojení nových zařízení do sítě, ale otevírá snadný přístup pro útočníka [9].

Existují řešení, která vyplňují některé nedostatky Wi-Fi. Wi-Fi rozšiřovače zlepšují pokrytí sítě a zlepšují její výkon. Wi-Fi routery vyšší třídy poskytují rozšířené bezpečnostní funkce, například firewall.

1.2.2 Wi-Fi HaLow

Wi-Fi Alliance představila standard Wi-Fi HaLow v roce 2017 [10], ale certifikační program pro koncová zařízení byl spuštěn teprve v roce 2021 [11]. Wi-Fi HaLow používá pásmo sub-GHz (868 MHz), což umožňuje signálům cestovat na větší vzdálenost a procházet skrz překážky, které jsou na vyšších frekvencích hůře prostupné. Odlišná nosná frekvence navíc uvolňuje vytěžovaná pásma 2,4 GHz a 5 GHz. Maximální dosah Wi-Fi HaLow je 1 km, nicméně podle výrobce se podařilo v textech dosáhnout spojení na 3 km a přenos HD videa

na více než 600 m. [12] Wi-Fi HaLow využívá řadu modulačních a kódovacích schémat (MCS), která nabízejí různé přenosové rychlosti. Nejvyšší rychlosti 80 Mbit/s dosahuje při použití kombinace schémat MCS 9 a 256 QAM za využití čtyř prostorových datových toků, což umožňuje přenos HD videa na stovky metrů.

Wi-Fi HaLow má oproti Wi-Fi parametr asociačního identifikátoru (AID) rozšířený na 13 bitů, což teoreticky umožňuje připojení až 8 191 zařízení k jednomu přístupovému bodu. Wi-Fi HaLow využívá hierarchickou strukturu připojených zařízení, tvořenou stránkami, bloky, pod-bloky a indexy, což dále vylepšuje kvalitu služby (QoS). [13]

Wi-Fi HaLow také cílí na zařízení, která vyžadují dlouhou životnost baterií. Nabízí rozšířené módy snížené spotřeby a speciální funkce jako např. probuzení zařízení v daný čas (Target Wake Time) nebo omezení bezdrátové komunikace pouze na asociovaný přístupový bod.

Standard využívá jednoduchý hardware, což snižuje cenu celé technologie. Vzhledem k mládí standardu lze také očekávat, že s rozšiřováním ekosystému bude cena zařízení dál klesat. [12]

1.2.3 Bluetooth Classic

Bluetooth Classic (Bluetooth verze 1.0–3.0) slouží k přenosu dat na krátkou vzdálenost v pásmu 2,4 GHz. Využívá 79 kanálů o šířce 1 MHz. Datový přenos probíhá v rozprostřeném spektru pomocí technologie Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS), kdy datový přenos přeskakuje mezi jednotlivými kanály, přibližně dvacetkrát za vteřinu. Tato technologie umožňuje lépe čelit interferenci a také opravovat chyby (pokud data dorazí poškozená, přenesou se znovu v následujícím skoku). Maximální rychlost přenosu dat je 3 Mbit/s. [14]

K jednomu zařízení je možné připojit až 7 dalších. Bluetooth Classic je obvykle používán pro sledovače předmětů nebo chytré zámky, a také v oblasti zábavy, jako jsou chytré reproduktory nebo chytré televize. Díky svému nízkému výkonu je Bluetooth ideální pro zařízení s omezenou kapacitou baterie, jako jsou hodinky nebo sluchátka, a pro přenos dat mezi zařízeními v těsné blízkosti. [14]

1.2.4 Bluetooth Low Energy (BLE)

Bluetooth Low Energy (Bluetooth v4.0 a novější) byl vytvořen jako verze Bluetooth s nízkou spotřebou energie. Hlavním cílem bylo, aby aplikace mohly běžet na menší baterie po delší dobu bez nutnosti nabíjení nebo výměny. Podobně jako Bluetooth Classic i BLE pracuje

v pásmu 2,4 GHz. BLE využívá 40 kanálů o šířce 2 MHz, které jsou rozděleny na 3 oznamovací (advertising) kanály a 37 datových kanálů. Oznamovací kanály slouží především k objevování zařízení, datové kanály umožňují obousměrnou výměnu dat. [15]

BLE přiděluje zařízením jednu ze 4 rolí podle General Access Profile (GAP)[15]:

- **central:** může objevovat periferní a broadcaster zařízení. Může navázat spojení s periferním zařízením
- **peripheral:** odesílá oznámení a může přijmout spojení od centrálního zařízení
- **broadcaster:** odesílá oznámení, ale neumožňuje spojení
- **observer:** objevuje periferní a broadcaster zařízení, ale neumožňuje spojení.

Oznamovací kanály mají omezenou datovou kapacitu, a proto existují dva způsoby, jak přenést větší množství dat: funkce Scan request/respond (musí být podporována konkrétním zařízením) a Extended advertisements (Bluetooth 5.0 a novější).

Zařízení tedy mohou být v režimu broadcaster nebo observer, kdy snižují spotřebu energie (např. u sledovačů či chytrých zámků), anebo využívat datové kanály při větší spotřebě energie, buď krátkodobě (např. meteostanice), anebo dlouhodobě (např. bezdrátové reproduktory). [16]

BLE má rychlost přenosu až 2 Mbit/s. Další výhodou oproti klasickému Bluetooth je, že BLE umožňuje síťovou topologii mesh a výše zmíněný mód Broadcast. Díky tomu roste maximální počet zařízení, které technologie může propojit. Teoreticky je možné propojit až 32 767, ale prakticky je toto množství omezené datovým tokem v síti, kdy jedno zařízení dokáže obsloužit přibližně 20 spojení. Dosah je stejný jako u Bluetooth, tedy až 100 metrů. [17, 18]

1.2.5 Zigbee

Zigbee pracuje v pásmech 868 MHz, 902–928 MHz a 2,4 GHz s přenosovými rychlostmi 20, 40 a 250 kbit/s. Protokol Zigbee je oblíbený kvůli jeho bezpečnosti a nízké spotřebě energie. Stejně jako Bluetooth je Zigbee navržen pro propojení nízkovýkonových zařízení v síti na krátké vzdálenosti (do 75 metrů). Do sítě Zigbee je teoreticky možné připojit až 65 000 zařízení. [8, 19]

Zigbee využívá mesh topologii sítě, kdy jsou jednotlivé uzly v síti propojeny tak, že mezi nimi existuje několik cest. Spojení mezi uzly jsou dynamicky optimalizována pomocí sofistikované směrovací tabulky na úrovni samotné sítě. Zprávy mezi zařízeními tak putují neefektivnější cestou a tato cesta se může změnit i v průběhu přenosu zprávy. Mesh sítě jsou přirozeně decentralizované – každý uzel se chová jako samostatná jednotka, dokáže se v síti ohlásit a spojit s ostatními. Při výpadku určitého uzlu síť sama upraví cesty mezi uzly tak, aby byla spojitost sítě zachována. [20] Síť je tedy velmi odolná vůči výpadkům jednotlivých uzlů, ať už dočasným, nebo trvalým. Také proto jsou mesh sítě primárně používány v průmyslových a senzorových sítích.

Zigbee síť je tvořena jedním koordinátorem (Zigbee hub) a dále routery a koncovými zařízeními. Koordinátor zavádí a koordinuje celou síť (nastavení identifikátoru sítě, volba rádiového kanálu, konfigurace a autentifikace routerů, připojování nových zařízení), udržuje směrovací tabulku a přepočítává změny struktury sítě. [21] Routery kromě přijímání a odesílání zpráv také předávají zprávy dále do sítě. Koncová zařízení umí přijímat a odesílat, ale nedokážou cizí zprávy předávat dál do sítě. S tím také souvisí fakt, že routery narozdíl od koncových zařízení nemohou přecházet do režimu spánku. Typicky jsou jako routery voleny zařízení s větší spotřebou (např. chytré žárovky), která jsou trvale připojena do elektrické sítě, zatímco koncová zařízení mají zpravidla spotřebu nízkou (např. senzory). [22]

Kromě výše uvedených rolí podporuje Zigbee také tzv. Green power zařízení. Jsou to zvláštní koncová zařízení, navržená pro extrémně nízkou spotřebu energie. Tato zařízení nepodporují běžné párování a ani nejsou viditelná při skenování sítě koordinátorem. Místo toho jsou spárována se Zigbee zařízením s funkcí Green power překladače v těsné blízkosti. Green power zařízení odesílají speciální zprávy, které nejsou srozumitelné pro zbytek sítě. Překládající zařízení tyto zprávy přijímá, překládá a odesílá do zbytku sítě. [23]

Zigbee je otevřený standard, což otevírá možnosti různým výrobcům, ale nese s sebou nevýhodu v podobě nezaručené kompatibility. Zařízení Zigbee různých výrobců tak mnohdy trpí problémy s interoperabilitou [24], což může značně omezit spolehlivost sítě nebo výběr dostupných zařízení.

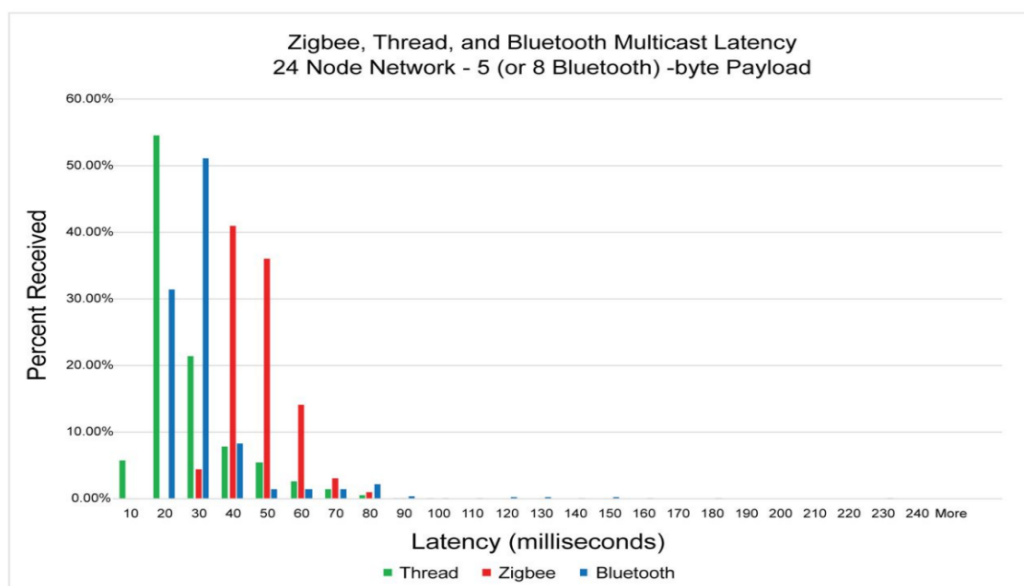
1.2.6 Z-Wave

Stejně jako standard Zigbee, využívá standard Z-Wave mesh topologii sítě. Tento standard používá šířku pásma 864,4–869,85 MHz s přenosovou rychlostí 100 kbit/s. Z-Wave má dosah 100 m na otevřeném prostoru, ale v uzavřeném prostoru se doporučuje mít zařízení

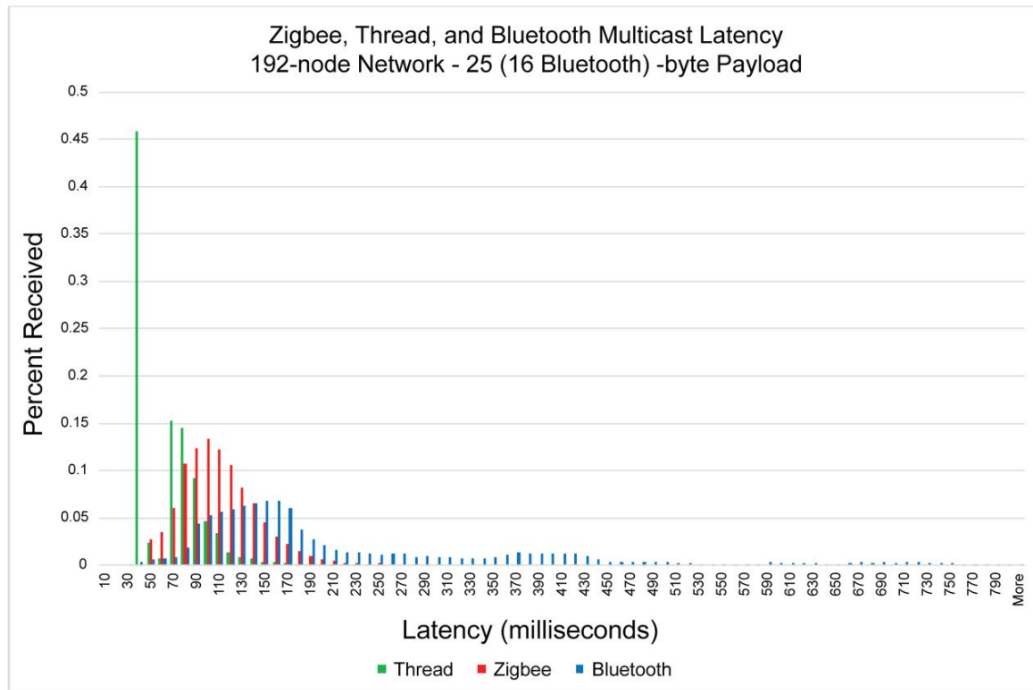
Z-Wave v rozmezí každých 9 metrů nebo blíže pro optimální účinnost. Tento standard může podporovat až 232 zařízení. Zařízení Z-Wave jsou charakteristická velmi nízkou spotřebou a narušitel od standardu Zigbee zaručenou interoperabilitou v rámci Z-Wave sítě. Další výhodou oproti standardu Zigbee je, že Z-Wave je uzavřený standard, což vede k lepší bezpečnosti. Propojení se zařízeními z jiných ekosystémů může být realizováno pomocí Z-Wave hubu, jako je například Aeotec Smart Home Hub. [8, 24, 25]

1.2.7 Thread

Hlavní předností standardu Thread je nízká odezva, umožňující okamžitou kontrolu zařízení (například bezpečnostní systém při neautorizovaném přístupu do domu). Nízká latence byla prokázána např. v testech firmy Silicon Labs (viz Obrázky 2 a 3). Teoretický limit adresovatelných zařízení v síti Thread je 16 384 (32 aktivních routerů a 511 zařízení ke každému z nich), ale praktický limit udávaný výrobcem je okolo 250 zařízení. Dosah je stejný jako u Z-wave. Thread funguje v pásmech 2,4 GHz a 868 MHz při rychlosti přenosu 250 kbit/s. Protokol Thread využívá Internet Protocol, díky čemuž nabízí možnost snadného propojení zařízení od různých výrobců a z různých ekosystémů ve společné mesh síti. Thread Border Router (TBR), který zajišťuje propojení Thread sítě s Wi-Fi nebo Ethernet sítí, lze zabudovat do řady stále napájených chytrých zařízení jako Wi-Fi routery, chytré reproduktory nebo huby (např. Apple Home Pod mini). Threadová zařízení se pak mohou pomocí TBR připojit k místní síti bez vyhrazených nebo proprietárních rozbočovačů. Thread se řadí mezi standardy s nízkou spotřebou energie, a také proto je vhodný pro dveřní zámky a senzory. [26]

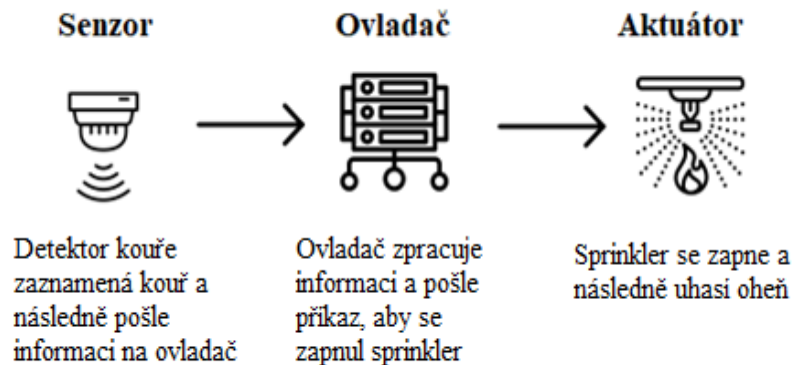


Obr. 2 Graf znázorňující latency v malé síti s malým zatížením [27]



Obr. 3 Graf znázorňující latency ve velké síti se středním zatížením [27]

1.3 Základní prvky využívané v domovní automatizaci



Obr. 4 Komunikace mezi senzorem, ovladačem a aktuátorem

Systém domovní automatizace se skládá ze 3 hlavních prvků [28] :

- Ovladače
- Sensory
- Aktuátory

1.3.1 Ovladače

Jedná se o prvek, díky kterému lze ovládat a kontrolovat chytrou domácnost. Mezi ovladače patří mobilní telefon, tablety, počítače nebo Central Hub, jako je například Amazon Echo, Apple HomePod a mnoho dalších. [28]

1.3.2 Sensory

Sensory jsou dalším základním prvkem v domovní automatizaci. Slouží ke sběru informací, např. detekci pohybu, změny denního světla nebo teploty apod. Díky sensorům máme přehled o chytré domácnosti. Jsou také důležité pro automatizaci, jelikož na základě sbíraných informací pak systém provádí rozhodnutí. K sensorům se řadí také bezpečnostní prvky jako jsou třeba kamery. [28]

1.3.3 Aktuátory

Mezi aktuátory řadíme světelné spínače, motory nebo motorizované ventily, které řídí skutečný mechanismus nebo funkci domácího automatizačního systému. Jsou naprogramovány tak, aby byly aktivovány dálkovým příkazem z ovladače. [28]

1.4 Uvedení základních prvků do provozu

Uvedení základních prvků domovní automatizace do provozu závisí na konkrétních zařízeních a systémech, které se používají. Obecně platí, že uvedení do provozu lze rozdělit na dvě části: připojení zařízení k síti domácí automatizace a konfigurace zařízení pro jeho správnou funkci. Následující text popisuje uvedení prvku do provozu na příkladu chytrého osvětlení.

Pro integrování chytrého osvětlení do systému chytré domácnosti je nezbytný kompatibilní chytrý hub, například Apple HomePod mini. Chytrý hub funguje jako centrální řídicí jednotka, která komunikuje se zařízeními a spravuje všechna chytrá zařízení v síti. Nejprve uživatel chytré osvětlení fyzicky nainstaluje a připojí ho k napájení. Poté uživatel přepne zařízení a chytrý hub do párovacího režimu podle pokynů výrobce a chytré osvětlení se připojí do sítě. To se obvykle provádí prostřednictvím podporované mobilní aplikace nebo webového rozhraní poskytovaného hubem. Aplikace detekuje chytré osvětlení a provede uživatele procesem párování, zajistí správnou identifikaci a ověření. Po úspěšném párování se chytré osvětlení zobrazí v seznamu zařízení v aplikaci a je připraveno pro další konfiguraci.

Po integrování chytrého osvětlení do sítě jsou k dispozici možnosti konfigurace prostřednictvím systému chytré domácnosti. Tyto možnosti umožňují uživatelům upravit chování a vybrat funkce chytrého osvětlení podle jejich preference a konkrétních scénářů automatizace. Konfigurační rozhraní obvykle nabízí nastavení akcí, jako jsou zapnutí nebo vypnutí světla, nastavení úrovně jasu, nastavení časovačů nebo plánů a propojení osvětlení s dalšími chytrými zařízeními pro koordinované akce. Uživatel může například vytvořit scénu, která automaticky zapne skupinu chytrých žárovek při vybraném jasu a barvě světla při detekci pohybu v místnosti.

2 MATTER

Hlavním tématem této bakalářské práce je technologie Matter. Projekt Matter vznikl v roce 2019 pod jménem CHIP (connected home over IP) s cílem umožnit různým zařízením a ekosystémům komunikovat mezi sebou. Projekt byl financován společnostmi Amazon, Google, Apple a Zig-bee. Tyto firmy vytvořily Connectivity Standards Alliance (CSA), ke které se později připojilo více než 270 společností. V roce 2021 byl projekt CHIP přejmenován na Matter a první veřejná verze jednotného standardu byla vydána 4. 10. 2022. [29]

Výrobci zařízení musí splňovat standard Matter, aby zajistili kompatibilitu jejich zařízení s chytrými domácími a hlasovými službami, jako jsou Amazon Alexa, Apple Siri, Google Assistant a další. [30]

Matter teoreticky umožňuje koupit jakékoliv zařízení a používat k jeho ovládní hlasového asistenta nebo platformu, kterou uživatel preferuje. Například bude možné koupit chytrou žárovku s podporou Matter a nastavit ji pomocí Apple Homekit, Google Assistant, nebo Amazon Alexa.

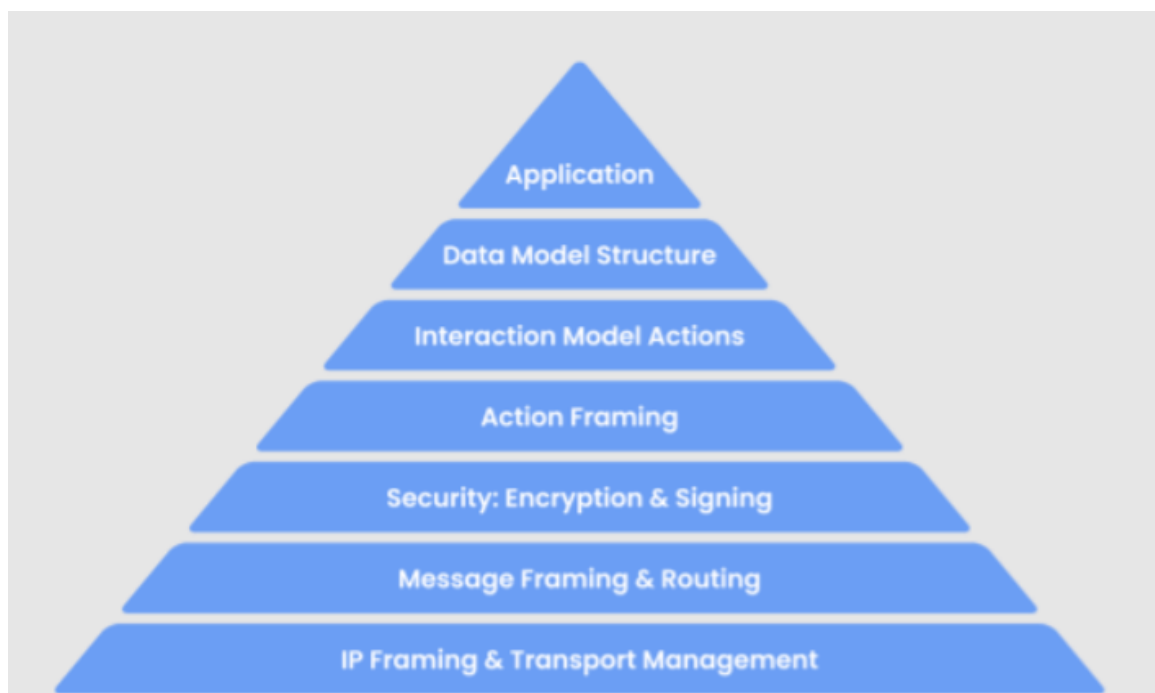
Standard využívá pro přenos dat Wi-Fi a Thread síť a pro přidání zařízení do sítě a jeho nastavení používá Bluetooth Low Energy. Zatím neexistuje žádná centrální aplikace Matter ani asistent. Celkově se může očekávat, že zařízení pro chytrou domácnost budou mezi sebou lépe komunikovat při využití standardu Matter, než při využití stávajících řešení. [30]

K datu 20. 5. 2023 uváděla CSA [31] 1092 zařízení certifikovaných pro Matter. Tato zařízení se prodávají již s technologií Matter, nebo dostaly OTA (over-the-air) update viz kapitola 2.5.

2.1 Matter ISO/OSI

Matter definuje aplikační vrstvu nad transportními protokoly TCP, UDP, založenými na protokolu IPv6. To umožňuje směrování zpráv bez ohledu na základní fyzické vrstvy a linkové vrstvy, jak lze vidět na Obrázku 6. [32]

Architektura je rozdělena do vrstev, které pomáhají oddělit různé povinnosti a zavést dobrou úroveň zapouzdření mezi různými složkami komunikace. Převážná většina interakcí prochází vrstvami znázorněnými na Obrázku 5. [33]



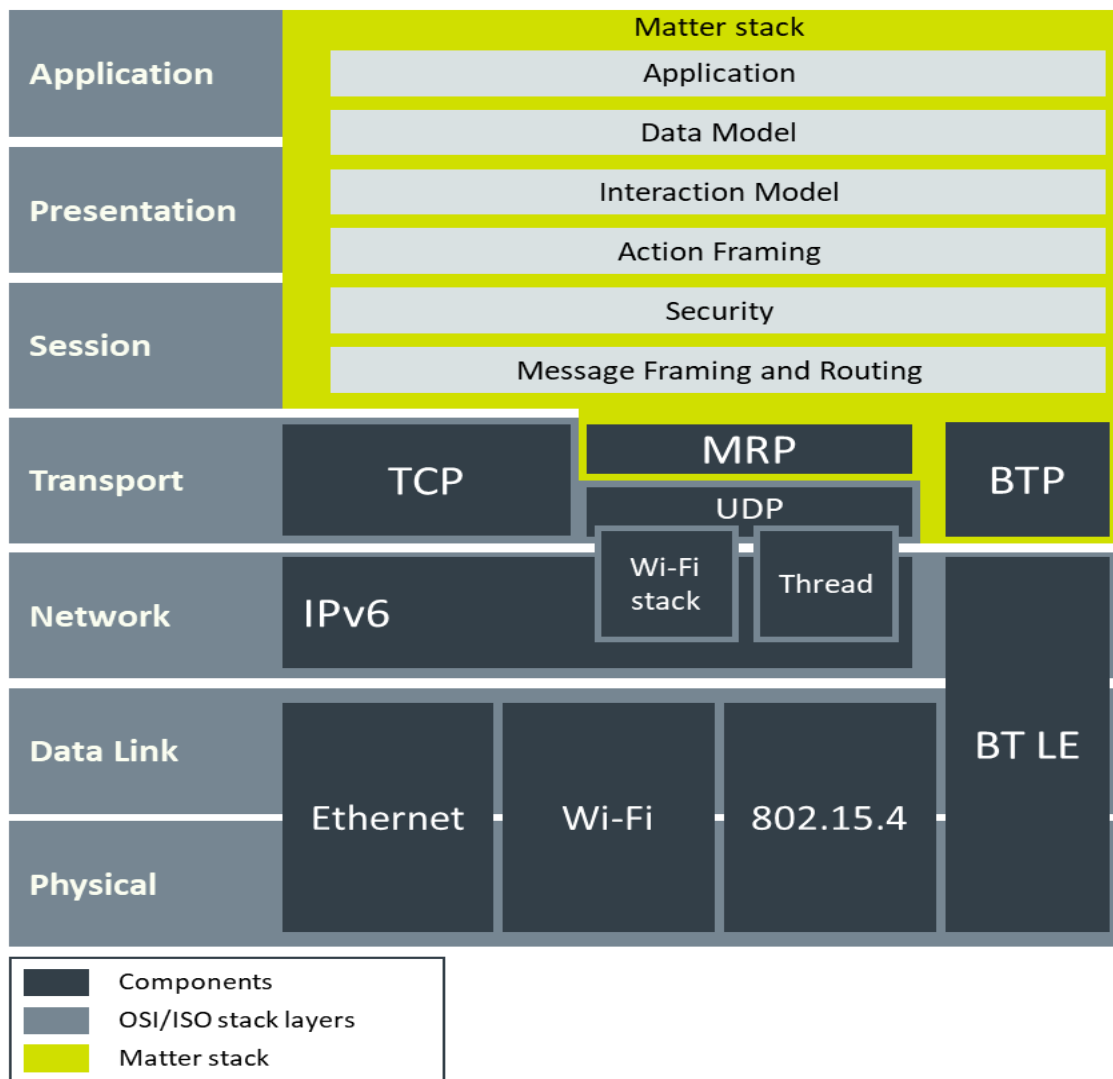
Obr. 3 Matter architektura [33]

1. **Application:** nejvyšší úroveň logiky zařízení. Například aplikace, která je zaměřena na termostat, může obsahovat logiku pro ovládání teploty v místnosti a také měření teploty v místnosti.
2. **Data Model:** Vrstva datového modelu zahrnuje datové struktury. Tyto datové struktury jsou využívány aplikační vrstvou, když se má v úmyslu s tímto zařízením interaktivně spolupracovat.
3. **Interaction Model:** Vrstva interakčního modelu definuje sadu interakcí, které lze provést mezi klientem a zařízením serveru. Například čtení nebo zápis atributů

na zařízení serveru nebo vyvolání odpovídajícího chování aplikace na zařízení. Tyto interakce pracují s prvky definovanými ve vrstvě datového modelu.

4. **Action Framing:** Jakmile je akce vytvořena pomocí modelu interakce, je serializována do předepsaného zabaleného binárního formátu pro kódování pro síťový přenos.
5. **Security:** Zakódovaný rámec akce je poté zpracován vrstvou zabezpečení: zpráva je šifrována a je připojen autentizační kód zprávy. Tyto akce zajišťují, aby data zůstala důvěrná a byla autentická mezi odesilatelem a příjemcem zprávy.
6. **Message Framing & Routing:** Vrstva zpráv vytvoří rámec informačního obsahu s povinnými a volitelnými poli záhlaví, které určují vlastnosti zprávy a logické směrovací informace potřebné pro doručení zprávy v síti.
7. **IP Framing & Transport Management:** sestavený rámec je zapouzdřen a předán níže do vrstev zajišťujících fyzický přenos pomocí základního přenosového protokolu, např. TCP/IP pro bezdrátovou Wi-Fi komunikaci.

Matter stack je rozdělen do vrstev ISO/OSI, jak lze vidět na následujícím Obrázku 6.



Obr. 4 Matter architektura zakomponovaná do referenčního modelu ISO/OSI [32]

2.1.1 TCP (Transmission Control Protocol)

Jedná se o nejpoužívanější protokol transportní vrstvy. TCP je spolehlivý protokol, protože příjemce vždy odesílá odesílateli kladné nebo záporné potvrzení o datovém paketu, zda je v cíli, nebo jej potřebuje znovu odeslat. Dále protokol zajistí, že zasláná data přišla do cíle ve stejném pořadí, v jakém byla odeslána. [34]

2.1.2 UDP (User Datagram Protocol)

Protokol UDP je jednoduchý protokol přenosu na transportní vrstvě, který je k dispozici v sadě protokolu TCP/IP. UDP je nespolehlivý přenosový protokol, protože, na rozdíl od

protokolu TCP, v protokolu UDP neexistuje žádné potvrzení o přijetí odeslaného paketu. Data odeslaná tímto protokolem jsou snazší na zpracování, ale může docházet ke ztrátám paketů nebo můžou pakety dorazit ve špatném pořadí. [35]

2.1.3 MRP (Message Reliability Protocol)

Poskytuje potvrzení o doručení zpráv, které vyžadují spolehlivost. Protokol je optimalizován pro omezená zařízení, která nemusí být schopna přijmout zprávu v bodě, kdy má být doručena jim. Spolehlivost zpráv může být povolena na úrovni individuálních zpráv, podle požadavků protokolu aplikace vyšší vrstvy. Spolehlivosti se dosahuje prostřednictvím potvrzení o dodání s omezenou dobou platnosti, které zajišťuje ověřené doručení kritických zpráv přes jinak ztrátový a nespolehlivý komunikační protokol. [33]

2.1.4 BTP (Bluetooth Transport Protocol)

BTP poskytuje vrstvu spolehlivých propojení datových přenosů na GATT (Generic Attribute), která je podobná TCP. GATT definuje způsob, jakým si dvě BLE zařízení přenáší data tam a zpět pomocí pojmů nazývaných služby a charakteristiky. Používá obecný datový protokol nazývaný ATT (Attribute Protocol), který se používá k ukládání služeb, charakteristik a souvisejících dat v jednoduché vyhledávací tabulce pomocí 16bitových ID pro každou položku v tabulce. Matter specificky používá BTP k definování rozhraní MATTEROBLE (Matter-over-Bluetooth Low Energy). Rozhraní MATTEROBLE musí implementovat BTP jako univerzálně kompatibilní transportní režim. Rozhraní MATTEROBLE se použije pouze pro transport Matter zpráv jako BTP SDU (Service Data Unit). SDU lze popsat jako data přenášená mezi vrstvami v rámci jednoho uzlu nebo počítače. [33, 36]

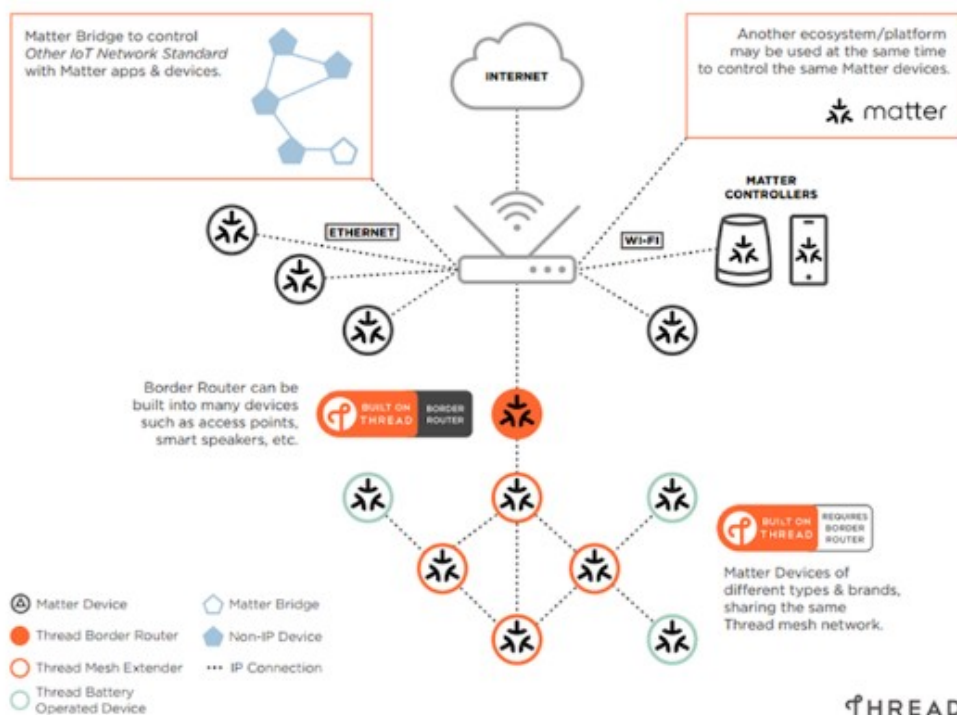
2.2 Zjištění nového zařízení Matter v síti

V závislosti na síťových technologiích podporovaných zařízením je zjišťování a uvedení do provozu možné pomocí technologií Bluetooth Low Energy (BLE), Wi-Fi (IEEE 802.11-2020) nebo přes IP, je-li zařízení již na síti IP. Zařízení využívající technologii Thread (IEEE 802.15.4) musí také podporovat BLE pro účely zjišťování a uvedení do provozu. Pokud zařízení již má síťovou konektivitu (přes síť Wi-Fi, Ethernet, nebo jinak), může Commissioner (uzel, který provádí uvedení do provozu) takové zařízení zjistit pomocí DNS (DNS-based Service Discovery), které předává pověření zařízení přes protokol IP. [33]

2.3 Matter, Wi-Fi a Thread

Wi-Fi je obvykle využívána pro zařízení vyžadující větší datový přenos, jako jsou kamery nebo reproduktory, zatímco Thread je zaměřený na nízkoenergetická zařízení. Vzhledem k tomu, že přímá komunikace mezi zařízeními Wi-Fi a Thread není možná, je potřeba další zařízení s názvem Thread Border Router (například Apple HomePod mini) k překladu zpráv mezi Wi-Fi rozhraním a Thread. [37]

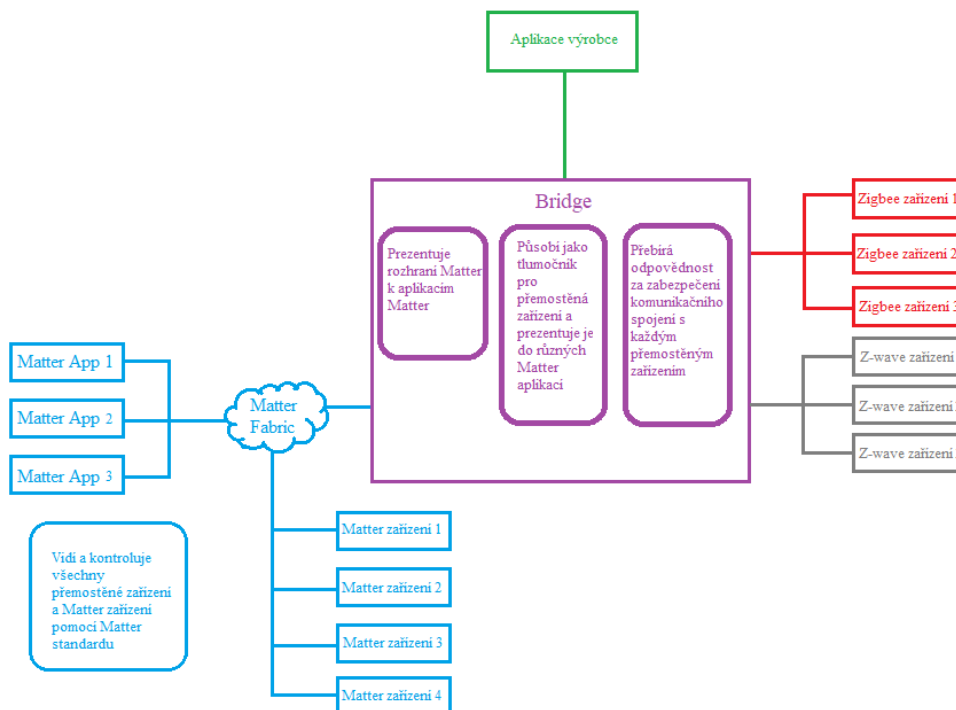
U Matter standardu lze použít pro ovládání Smart home produktů zařízení známé jako Matter controller (mobil, tablet, PC, Hub). Pro zjednodušení řešení integrují mnozí výrobci Matter controller a Thread border router do jednoho zařízení. Tímto způsobem je uživatel schopen ovládat všechna příslušenství z jejich smartphonu se stejnou lehkostí a nemusí se starat o to, jakou technologii toto příslušenství používá. Obrázek 7 níže ukazuje příklad topologie sítě Matter, která obsahuje Wi-Fi, Thread a ostatní standardy, které jsou propojeny pomocí Matter Bridge. [37]



Obr. 5 Topologie sítě Matter [26]

2.4 Matter a další standardy

Ostatní standardy, jako jsou například Zigbee nebo Z-wave, mohou fungovat se standardem Matter pomocí zařízení nazývaného bridge, který funguje jako tlumočnick. Například Samsung SmartThings Hub v3, který podporuje Zigbee a je Matter certifikovaný, umožní propojení Zigbee i Matter zařízení, jak je znázorněno na Obrázku 8 níže. Z-wave zařízení bude potřebovat vlastní bridge pro propojení s Matter, ale zatím není žádné zařízení od Z-wave, které by bylo Matter certified.



Obr. 6 Komunikace Matter Fabric s přemostěnými zařízeními [33]

2.5 OTA

OTA (over-the-air) update mohou přijímat pouze Matter zařízení, která obdržela zvláštní certifikaci od CSA. Zařízení Matter může mít 2 role: OTA Requestor a OTA provider. OTA Requestor se periodicky ptá OTA Providera, jestli jsou nějaké dostupné aktualizace. Provider se pak na aktualizace pro zařízení zeptá příslušného poskytovatele updatu (výrobce zařízení). Pokud je aktualizace dostupná, pak ji Provider stáhne a předá Requestorovi. Ten pak aktualizaci nainstaluje (pokud k tomu má dostatečnou paměť na velikost updatu). V roli OTA providera vystupuje například Matter hub Google Nest Mini. Pokud je k dispozici nových verzí více, dostane zařízení pouze nejnovější verzi. Funkce OTA update však má jednu nevýhodu a tou je, že zařízení je vždy aktualizováno na nejnovější verzi a nový update nelze

ze zařízení nijak smazat, ani nelze nahrát starší verzi softwaru. Takže může nastat scénář, kde dojde k aktualizaci, která obsahuje chybu, což může vést k problémům (například se zařízení bude opakovaně odpojovat). Pak nezbude nic jiného než počkat na nový OTA update, který chybu opraví, anebo funkci OTA update vypnout a provést nainstalovat starší funkční verzi. [38]

2.6 Matter a jeho problémy

Mnoho zdrojů popisuje, jak je Matter standard dobrý a jaké jsou jeho výhody, ale o problémech standardu se příliš nemluví. Jedním ze zdrojů, které problémy se standardem Matter popisují, je YouTube kanálu s názvem Automate Your Life [39]. Poznatky z jeho obsahu lze shrnout do následujících bodů:

1) Připojení Matter zařízení do sítě

Jakmile je zařízení připojeno do sítě, měla by aplikace nabídnout možnost přidání nového zařízení do aplikace pomocí BLE. U některých aplikací, jako je například Apple Home, aplikace tuto možnost nenabídla ani jednou. Jedná se o relativně drobnou chybu, jelikož je možné přidat zařízení klasickým způsobem, tedy tak, že se v aplikaci zvolí možnost přidat nové zařízení a poté se načte QR kód nebo zadá identifikační kód. U aplikace Samsung SmartThings funguje vyskakovací okno s přidáním nového zařízení pomocí BLE úplně bez problému.

2) Připojení Matter zařízení do controlleru

Autor Automate Your Life provedl 10 pokusů o připojení zařízení pro několik aplikací a dosáhl velmi rozdílných výsledků (viz Tabulka 1). Výsledky jsou celkem dobré u 3 nejznámějších distributorů Google, Amazon a Apple, kde Apple dosáhl nejvyšší úspěšnosti (8 úspěšných pokusů). U dalších 3 už výsledky nebyly dobré. U Samsung Smart Things a Home Assistant se povedlo z 10 pokusů připojit pouze jedenkrát, u aplikace Smart Life pak byly všechny pokusy o připojení bez úspěchu.

Tabulka 1. Úspěšnost připojení aplikací a Matter zařízení

Aplikace	Úspěšnost připojení [%]
Google Home	70
Amazon Alexa	60
Apple Home	80
Samsung SmartThings	10
Smart Life	0
Home Assistant	10

3) Propojení zařízení do více aplikací

Když je zařízení přidáno do nějaké aplikace, je téměř nemožné jej propojit s další aplikací. Jediné Google Home a Apple Home byly schopné propojení zařízení mezi sebou. Dalším problémem u propojení je, že po každém neúspěšném propojení zůstalo Matter zařízení, které se nepodařilo propojit, v seznamu zařízení, přestože nebylo funkční a bylo nutné ho ručně odstranit.

4) Matter over Wi-Fi

Autor Automate Your Life popsal případy, kdy zařízení připojené pomocí Matter over Wi-Fi ztrácelo spojení s ovladačem. Jediným řešením bylo zařízení odebrat a znovu připojit manuálně jako nové zařízení a v některých případech ani tato možnost opravy nevyřešila problém. Tento problém však neměl vliv na ovládání zařízení aplikacemi nevyužívajícími Matter. Z toho je patrné, že problém nastal u protokolu Matter a ne u Wi-Fi samotné.

5) Matter a interoperabilita

Hlavní výhodou Matter standardu má být právě interoperabilita (schopnost různých systémů vzájemně spolupracovat). Interoperabilita mezi zařízeními, ekosystémy a značkami by zjednodušila zavádění nových zařízení do chytrého domácího prostředí, aby spolu mohla dobře spolupracovat. To by umožnilo snížit počet aplikací potřebných k ovládání zařízení v chytré domácnosti. Například by bylo možné ovládat světla, termostat, TV a další zařízení prostřednictvím Amazon Alexa nebo Google Nest, aniž by se uživatel musel spoléhat na samostatnou aplikaci pro každé

zařízení. Právě tuto možnost nabízí Matter, v současnosti však pouze teoreticky. Prakticky zůstává problém v tom, že ne všechny funkce zařízení jsou dostupné přes Matter. Některé jsou dostupné pouze přes aplikaci výrobce. Například inteligentní žárovka může mít některá nastavení, která mohou být řízena pomocí Matter, ale také obsahuje rozšířená nastavení, která vyžadují přístup k aplikaci výrobce. Tento problém je nejzávažnější ze všech uvedených, jelikož se ostatní dají opravit dalším updatem verze Matter, ale tento problém může setrvat a nemusí být nikdy vyřešen. [39]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 SROVNÁNÍ MATTER A PODOBNÝCH STANDARDŮ

Následující text srovnává standard Matter s dalšími běžně používanými standardy pro IoT (Wi-Fi, Wi-Fi HaLow, Bluetooth Classic, BLE, Zigbee, Z-Wave a Thread).

Nižší rádiové frekvence umožňují menší datový tok, ale mají větší dosah a prostupnost stěnami. Výhradně na nižších frekvencích (0,87 GHz) fungují standardy Wi-Fi HaLow a Z-Wave. Naopak nejvyšší frekvence využívá Wi-Fi (2,4 GHz a 5 GHz). Matter přenáší data dvěma způsoby: Matter-over-Wifi, který využívá frekvence 2,4 GHz a 5 GHz, a Matter over Thread, operující na frekvencích 0,87 GHz a 2,4 GHz.

Nejnižší přenosové rychlosti nabízí Thread a Zigbee (250 kbit/s). Nejvyšších přenosových rychlostí dosahuje Wi-Fi (900 Mbit/s). Stejných teoretických přenosových rychlostí jako Thread a Wi-Fi tedy dosahují Matter over Thread a Matter over Wi-Fi. Ale vzhledem k tomu, že Matter přidává do odesílané zprávy další data spojená s Matter stackem, lze očekávat, že reálné přenosové rychlosti budou nižší ve srovnání se standardy Wi-Fi a Thread. Toto však vyžaduje praktické ověření, jelikož CSA hodnoty z praktických testů nikde neuvádí.

Nejkratší dosah má Zigbee (75 m). Největší délkou dosahu disponuje Wi-Fi HaLow (3 000 m). Matter over Thread má délku dosahu na otevřeném prostoru 100 m, u Matter over Wi-Fi je pak dosah maximálně 250 m.

Maximální teoretický počet zařízení je nejvyšší u Zigbee (65 000) a nejmenší možný počet zařízení je u Bluetooth Classic (7). U Matter over Thread je teoreticky možné mít propojených 16 384 zařízení a u Matter over Wi-Fi jen 250, pokud se síť nerozšíří o další routery.

Nejvyšší spotřeba energie je u zařízení využívající Wi-Fi z důvodu využívání větší přenosové rychlosti a při posílání většího objemu dat tak stoupá spotřeba energie. Nejmenší spotřebu energie mají Thread, Zigbee, Z-wave, BLE a Wi-Fi HaLow. Podobné spotřeby energie jako Thread a Wi-Fi tedy dosahují Matter over Thread a Matter over Wi-Fi.

Síťová topologie mesh je podporovaná u standardů BLE, Zigbee, Z-wave, Thread a Matter over Thread. Standardy Wi-Fi, Wi-Fi HaLow, Bluetooth Classic, Matter over Wi-Fi touto topologií sítě nedisponují.

Tabulka 2. Porovnání podobných standardů

Standard	Frekvence	Maximální přenosová rychlost	Dosah	Maximální počet zařízení	Spotřeba energie	Mesh topologie
Matter over Thread	2,4 GHz 868 MHz	250 kbit/s	100 m	16 384	•	✓
Matter over Wi-Fi	2,4 GHz 5 GHz	300 Mbit/s 900 Mbit/s	250 m 140 m	250	•••	X
Wi-Fi	2,4 GHz 5 GHz	300 Mbit/s 900 Mbit/s	250 m 140 m	250	•••	X
Wi-Fi HaLow	868 MHz	80 Mbit/s	3 000 m	8 191	•	X
Bluetooth Classic	2,4 GHz	3 Mbit/s	100 m	7	••	X
BLE	2,4 GHz	2 Mbit/s	100 m	32 767	•	✓
Zigbee	2,4 GHz 902–928 MHz 868 MHz	20 kbit/s 40 kbit/s 250 kbit/s	75 m	65 000	•	✓
Z-Wave	864,4–869,9 MHz	100 kbit/s	100 m	232	•	✓
Thread	2,4 GHz 868 MHz	250 kbit/s	100 m	16 384	•	✓

4 NÁVRH ŘEŠENÍ DOMÁCNOSTI POMOCÍ MATTER

4.1 Dispozice řešené domácnosti



Obr. 7 Řešená domácnost

Řešená domácnost je tvořena 8 místnostmi, které zahrnují 2 ložnice, 2 koupelny, obývací místnost, kuchyň s jídelním koutem, technickou místnost a garáž. Domácnost má taky 2 zastřešené terasy. Nedostatkem obývací místnosti je malé množství denního světla. Domácnost obývají 4 lidé (rodiče vyššího věku a syn s přítelkyní).

V domácnosti nejsou žádná chytrá zařízení: osvětlení je ovládané vypínači na stěnách, dům nemá žádné bezpečnostní prvky nad rámec dveří a zámků. Domácnost se nachází v jednopodlažní budově v živém městském prostředí a trpí problémy v otázce soukromí, obzvláště po setmění.

4.2 Popis použitých zařízení

4.2.1 Homey Pro 2023

Hlavní hub celé domácnosti a zároveň funguje jako bridge pro jiné ekosystémy. Očekává se, že bude uvedený na český trh v červnu 2023 s předpokládanou cenou 12 500 Kč. Homey Pro má hned několik výhod:

1. Standardy

Homey pro podporuje nejnovější typy standardů, které jsou nejvíce rozšířené v Smart home komunikaci. Je schopný komunikovat se zařízeními, které mají Wi-Fi 2,4 GHz a 5 GHz, Bluetooth 5.0, Zigbee 3.0, Z-wave plus, Thread (bude uvedený v Q3 2023) a Matter (Q2 2023). To znamená, že v návrhu domácnosti bude možné použít téměř jakékoliv zařízení a bude fungovat. Homey Pro má podporovat přes 50 000 různých zařízení od 1 000 různých výrobců.

2. Interoperabilita

Homey Pro se prezentuje promyšlenou interoperabilitou, kdy do hub zařízení lze stáhnout aplikaci výrobce a tím je zajištěna 100% funkčnost zařízení. Homey Pro je kompatibilní s více než 750 různými aplikacemi včetně nejpoužívanějších aplikací jako Philips Hue, Aqara, Ikea aj.

3. Zálohy

Další výhodou oproti spoustě jiných hub zařízení je snadné zálohování, buďto lokálně na PC, nebo s využitím předplaceného cloudového úložiště od výrobce za 220 Kč ročně.

4. Bez internetu

Homey Pro dokáže zpracovávat vše lokálně, takže není závislý na přístupu k internetu. Cloud využije pouze v naprosto nezbytných případech, jako například při zasílání oznámení do mobilu, nebo už zmíněném zálohování. Nevýhodou Homey Pro ale je, že sice nativně podporuje Wi-Fi, ale nepodporuje připojení k Ethernetu – k tomu je nutné dokoupit extender.

4.2.2 HomePod mini

Hlasový asistent a současně chytrý reproduktor, který má využití pro návrh chytrého domu ze 2 důvodů. Prvním důvodem je možnost hlasového ovládání celého domu pomocí hlasového asistenta Siri. Ten je schopný autorizovat a rozpoznat podle hlasu až 6 různých lidí a

díky tomu může interagovat přímo s telefonem těchto vybraných osob. Dalším důvodem výběru je, že díky režimu Multiroom můžou být všechna zařízení HomePod mini v domácnosti synchronizována a přehrávat hudbu společně. HomePod mini lze taky využít jako interkom. Komunikace probíhá pomocí Matter over Wi-Fi. Zařízení má malé rozměry (8,5×9,8 cm). Cena je 2 700 Kč.

4.2.3 Eve Motion

Senzor, který je ideální pro použití ve venkovním prostoru, jelikož má stupeň ochrany proti vodě IPX3. Je schopný snímat prostor v úhlu 120°. Další vlastností je, že když detekuje pohyb, odešle notifikaci do mobilního telefonu. K napájení používá dvě AAA baterie, na kterých senzor dokáže vydržet až 1 rok. Komunikuje pomocí Matter over Thread a jeho cena se pohybuje okolo 1 200 Kč.

4.2.4 Aqara Presence sensor FP2

Pohybový senzor, kterým je vybavená každá místnost, má několik funkcí. Zaprvé plní funkci v ovládání automatizace osvětlení, kdy po detekci pohybu v místnosti zapne světla a po odchodu po určeném intervalu světla vypne. Dále dokáže detekovat pád osoby v místnosti, což je praktické například v koupelnách, obzvlášť když v domácnosti žijí starší osoby. V takovém případě senzor odešle upozornění a může být zavolána pomoc, i když to poraněná osoba nedokáže sama. Dokáže takto pokrýt místnost o rozloze 40 m². Kromě toho dokáže najednou detekovat a rozpoznat až 5 osob a sledovat jejich individuální pohyb po místnosti. Má také zabudovaný světelný senzor, což rozšiřuje jeho využití při tvorbě scénářů. Komunikace probíhá pomocí Matter over Wi-Fi a je napájen ze sítě. Cena se pohybuje okolo 2 000 Kč.

4.2.5 Eve Door & Window

Senzor, který detekuje, jestli jsou dveře nebo okno otevřené nebo zavřené. Hlavním využitím v tomto návrhu domácnosti je zjednodušení kontroly domácnosti při odchodu z ní. Díky senzorům je možné domácnost zkontrolovat najednou bez nutnosti obcházet a kontrolovat každou místnost zvlášť. Toto zařízení využívá jednu baterii typu 14 250 (1/2 AA) a vydrží až 1 rok. Komunikace probíhá pomocí Matter over Thread a cena se pohybuje okolo 1 000 Kč.

4.2.6 Nanoleaf E27 Smart Bulb

Chytré osvětlení, kterým je vybavená každá místnost návrhu. Životnost žárovky je 25 000 hodin. Žárovka má stejnou svítivost jako Philips Hue White and Color Ambiance 1100 (110 lumenů) a také stejnou životnost, ale cena zařízení je oproti žárovce Philips výrazně nižší (400 Kč vs. 1 400 Kč). Žárovka má provozní teplotu -10–40 °C, což omezuje její použití v našich podmínkách na vnitřní prostory. Komunikuje pomocí Matter over Thread.

4.2.7 Eve Energy Smart Plug

Chytrá zásuvka, díky které lze dálkově zapínat a vypínat zařízení, která nejsou chytrá. Kromě toho má funkci měření spotřeby energie. V tomto návrhu chytré domácnosti řeší chytré zásuvky mimo jiné hlavní problém chytrých žárovek, tedy malou odolnost proti nízkým teplotám při venkovním použití. Venkovní osvětlení sice není chytré, ale místo vypínače je připojené k chytré zásuvce, takže systém domácí automatizace může venkovní osvětlení ovládat. Chytrá zásuvka Eve Energy komunikuje pomocí Matter over Thread a její cena se pohybuje okolo 1 500 Kč.

4.2.8 Eve MotionBlinds

Chytré rolety Eve MotionBlinds jsou pomalejší než jiné konkurenční produkty, ale díky tomu mohou nabídnout velmi tichý provoz a dlouhou výdrž baterie. Zařízení má vlastní dobíjitelnou baterii, který by měla vystačit až na 1 rok provozu. Komunikace probíhá pomocí Matter over Thread. Cena se pohybuje okolo 5 900 Kč, ale nezahrnuje samotnou látkovou roletu o rozměru 1×1,5m v ceně 500 Kč.

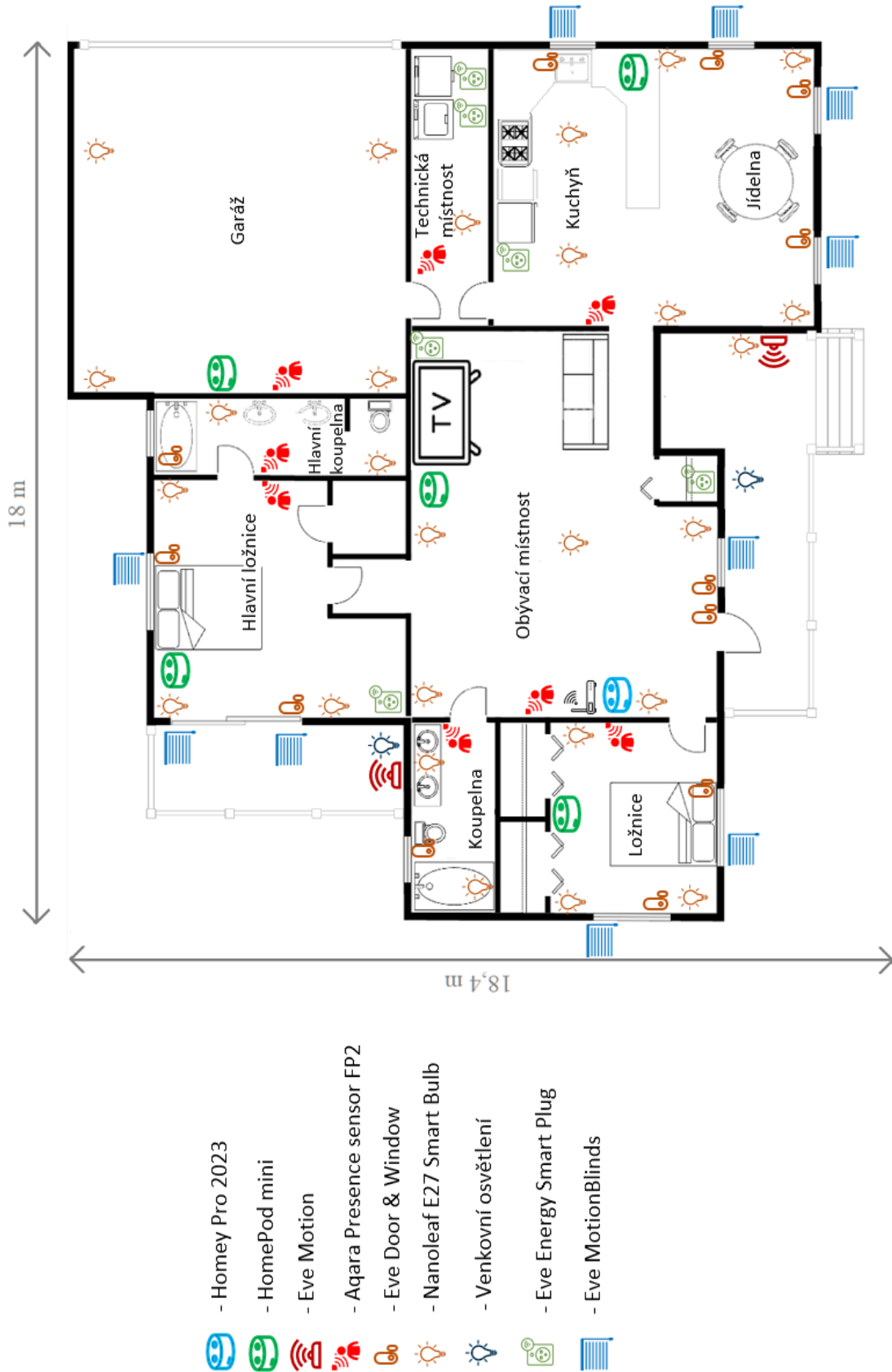
4.3 Seznam použitých zařízení

V Tabulce 3 níže je uvedený celkový počet zařízení v domácnosti (80 zařízení) a výslednou cenu za veškeré vybavení (139 170 Kč).

Tabulka 3. Seznam použitých zařízení

Zařízení	Cena [Kč]	ks	Cena za typ zařízení [Kč]
Homey Pro 2023	12 495	1	12 495
HomePod mini	2 699	5	13 495
Eve Motion	1 190	2	2 380
Aqara Presence sensor FP2	1 969	8	15 752
Eve Door & Window	999	12	11 988
Nanoleaf E27 Smart Bulb	396	26	10 296
Eve Energy Smart Plug	1 489	6	8 934
Eve MotionBlinds	5 879	10	58 790
Záclony pro Eve Motionblinds	504	10	5 040
Celkem:		80	139 170

4.4 Návrh řešení domácnosti pomocí Matter zařízení



Obr. 8 Návrh řešení domácnosti

4.5 Popis řešené domácnosti pomocí Matter zařízení

Problém se soukromím je řešen pomocí Eve MotionBlinds, které mohou být nastavené na automatické zatažení a vytažení pomocí stanovené denní doby a případně manuálně pomocí mobilu. Intenzita světla v domácnosti bude taky určena podle denní doby a každá místnost bude osvětlena pouze podle potřeby podle pohybu osob, o což se postará senzor Aqara Presence sensor FP2. Senzor musí být v koupelnách umístěn na stropě, a to z důvodu detekce pádu – při instalaci na stěně tuto funkci nepodporuje. Chytré osvětlení ve venkovních prostorech použít nelze kvůli zimním teplotám, proto je venkovní osvětlení navržené pouze s úpravou stávajícího řešení, kdy venkovní osvětlení bude připojeno do chytré zásuvky. Nejedná se o ideální řešení, ale prostý venkovní detektor pohybu bez chytrých funkcí by nenabídl možnosti automatizace a přímého ovládání z aplikace.

Jako hlavní hub v chytré domácnosti byl zvolen Homey Pro 2023 a ovládání domácnosti pomocí aplikace Homey. Zařízení HomePod mini v různých místnostech plní zároveň funkce interkomu, chytrých reproduktorů a poskytují možnost využití hlasového asistenta Siri. Celkové zabezpečení domácnosti zajišťují senzory Eve Door & Window, které umožňují udržovat přehled o otevřených a zavřených oknech a dveřích. Druhou vrstvu zabezpečení zajišťují senzory Aqara Presence sensor FP2, které během nepřítomnosti obyvatel domácnosti vyhodnotí detekovaný pohyb jako vniknutí cizí osoby a ihned informují uživatele.

ZÁVĚR

Práce shrnuje aktuální stav technologie Matter a srovnává ji s dalšími používanými standardy pro IoT. Dochází k závěru, že technologie Matter má v IoT své místo a nabízí možnosti, které ostatní standardy neposkytují, především v oblasti interoperability zařízení různých výrobců. Technologie je však mladá a trpí problémy s konektivitou. Původ těchto problémů je, zdá se, na straně výrobců, protože některá zařízení a aplikace fungují bez problémů. Zároveň ne všechny funkce zařízení jsou dostupné přes Matter. Výrobci tak dosud dostatečně nezareagovali na nabízené možnosti technologie. Můžeme však očekávat, že v tomto směru dojde v budoucnu k pokroku a technologie Matter bude lépe podporována.

Představený návrh chytré domácnosti s využitím technologie Matter úspěšně řeší problémy a slabé stránky domácnosti. Nevýhodou však je zpoždění možnosti realizace, jelikož pro správnou funkci návrhu je nezbytný Thread update pro Homey Pro 2023, který je plánovaný na Q3 2023. Hub by bylo možné nahradit Apple TV 4K (gen. 3), kdyby zájemce chtěl realizaci provést ihned. Osobně bych však počkal na Homey Pro 2023, který nabízí větší interoperabilitu s zařízeními a zjednodušil by případné budoucí přidání dalších složek chytré domácnosti.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MARINEZ, Jose. IoT vs. M2M: What's the Difference?. *Emnify* [online] 10.03.2022. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.emnify.com/blog/difference-between-iot-and-m2m>
- [2] KAMAL, Raj, 2017. *Internet of Things: Architecture and Design Principles*. 1. New York: Mc Graw Hill India. ISBN 9352605225.
- [3] HO, Nhu. What Is IoT Connectivity: A Comparison Guide. *Emnify* [online] 28.04.2023. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.emnify.com/blog/iot-connectivity>
- [4] ARMSTRONG, Martin. Homes Are Only Getting Smarter. *Statista* [online]. 26.4.2022. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www-statista.com/chart/27324/households-with-smart-devices-global-iot-mmo/>
- [5] ODUNLADE, Emmanuel. What makes a Smart Home smart? A guide to protocols and applications. *Wevolver* [online]. 11.1.2022. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.wevolver.com/article/what-makes-a-smart-home-smart-a-guide-to-protocols-and-applications>
- [6] *CenturyLink: The difference between 2.4 GHz and 5 GHz WiFi* [online], 2023. CenturyLink [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.centurylink.com/home/help/internet/wireless/which-frequency-should-you-use.html>
- [7] MITCHELL, Bradley. How Many Devices Can Connect to One Wireless Router?. *Lifewire* [online]. 10.2.2022. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/how-many-devices-can-share-a-wifi-network-818298>
- [8] HABAS, Cathy. What Are the Different Operating Standards for Home Automation Tech?. *Safewise* [online]. 1.7.2022. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.safewise.com/faq/home-automation/home-automation-operating-standards/>
- [9] DHONDGE, Kaustubh, 2021. *Lifecycle IoT Security for Engineers*. 1. Artech House. ISBN 1630818046.
- [10] IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks--Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 2: Sub 1 GHz License Exempt Operation, 2017.

- IEEE Std 802.11ah-2016 (Amendment to IEEE Std 802.11-2016, as amended by IEEE Std 802.11ai-2016. 1-594. Dostupné z: doi:10.1109/IEEESTD.2017.7920364
- [11] WI-FI ALLIANCE®. Wi-Fi CERTIFIED HaLow™ delivers long range, low power Wi-Fi®. *Wi-Fi Alliance®* [online]. 2.7.2022. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.wi-fi.org/news-events/newsroom/wi-fi-certified-halow-delivers-long-range-low-power-wi-fi>
- [12] FREEMAN, Y. Zachary. Wi-Fi HaLow™ and LoRaWAN: How do the technologies compare?. *Wi-Fi Alliance®* [online]. 8.2.2023. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.wi-fi.org/beacon/y-zachary-freeman/wi-fi-halow-and-lorawan-how-do-the-technologies-compare>
- [13] WALSH, Kevin. Wi-Fi HaLow™—Worth the wait. *Wi-Fi Alliance®* [online]. 15.4.2021. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.wi-fi.org/beacon/kevin-walsh/wi-fi-halow-worth-the-wait>
- [14] NGUYEN, Augustine. Bluetooth 1.0 vs 2.0 vs 3.0 vs 4.0 vs 5.0 - How They Compare | Symmetry Blog. *Symmetry Electronics* [online]. 18.4.2018. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.symmetryelectronics.com/blog/bluetooth-1-0-vs-2-0-vs-3-0-vs-4-0-vs-5-0-how-they-compare-symmetry-blog/>
- [15] AFANEH, MOHAMMAD. How Bluetooth Low Energy Works: Advertisements (Part 1). *NovelBits* [online]. 21.4.2020. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://novelbits.io/bluetooth-low-energy-advertisements-part-1/>
- [16] PROCTOR, BOB. Bluetooth Vs. Bluetooth Low Energy: What's The Difference? [2023 Update]. *Link Labs* [online]. 5.17.2023. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.link-labs.com/blog/bluetooth-vs-bluetooth-low-energy>
- [17] *Bluetooth® Technology Website: Bluetooth® Wireless Technology* [online], 2023. Bluetooth SIG [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.bluetooth.com/learn-about-bluetooth/tech-overview/>
- [18] PAL, Arpan a Balamuralidhar PURUSHOTHAMAN, 2016. IOT Technical Challenges and Solutions. Artech House Publishers. ISBN 1630814377.
- [19] REDAKCE. ZigBee. *Iot portál* [online]. 24.2.2016. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.iot-portal.cz/2016/02/24/zigbee/>
- [20] Zigbee Wireless Mesh Networking. *Digi* [online]. 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.digi.com/solutions/by-technology/zigbee-wireless-standard>

- [21] VASSEUR, Jean-Philippe, 2010. Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet. 1. Boston: Morgan Kaufmann. ISBN 0123751659.
- [22] FELCH, Ray. Understanding Zigbee and Wireless Mesh Networking. *Black Hills Information Security* [online]. 27.8.2021. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.blackhillinfosec.com/understanding-zigbee-and-wireless-mesh-networking/>
- [23] Zigbee network. Zigbee2mqtt [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.zigbee2mqtt.io/advanced/zigbee/01_zigbee_network.html
- [24] BASUMALLICK, Chiradeep. Zigbee vs. Z-Wave: Understanding 10 Key Differences. *Spiceworks* [online]. 22.7.2022. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.spiceworks.com/tech/iot/articles/zigbee-vs-z-wave/>
- [25] *Z-Wave: Learn about Z-Wave* [online], 2023. Z-Wave Alliance [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.z-wave.com/learn>
- [26] *Thread Group: Smart Home* [online], 2023. Thread Group [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.threadgroup.org/BUILT-FOR-IOT/Smart-Home>
- [27] Benchmarking Bluetooth Mesh, Thread, and Zigbee Network Performance, 2023. *Silicon Labs* [online]. Silicon Laboratories [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.silabs.com/wireless/multiprotocol/mesh-performance>
- [28] XFINITY. What is Home Automation?. *Xfinity* [online]. 2.4.2019. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.xfinity.com/hub/smart-home/home-automation>
- [29] Matter (standard), 2001-. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Matter_\(standard\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Matter_(standard))
- [30] HILL, Simon. Here's What the 'Matter' Smart Home Standard Is All About. *Wired* [online]. 4.10.2022 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.wired.com/story/what-is-matter/>
- [31] *Connectivity Standards Alliance* [online], 2023. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://csa-iot.org/csa-iot_products/?p_keywords&p_type%5B0%5D=14&p_program_type%5B0%5D=1049&p_certificate&p_family#post-feed-block-4b75856a1cb81c23f4249ff4dfa85044
- [32] Matter architecture. *Nordic Semiconductor* [online]. 4.11.2022. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z:

https://developer.nordicsemi.com/nRF_Connect_SDK/doc/2.1.2/nrf/ug_matter_overview_architecture.html#transport-and-ip-framing

- [33] Matter Specification Version 1.0, 2022. CSA - connectivity standards alianace [online]. Davis, CA, USA [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://csa-iot.org/wp-content/uploads/2022/11/22-27349-001_Matter-1.0-Core-Specification.pdf
- [34] Transmission Control Protocol. *Tutorialspoint* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.tutorialspoint.com/data_communication_computer_network/transmission_control_protocol.htm
- [35] User Datagram Protocol. *Tutorialspoint* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.tutorialspoint.com/data_communication_computer_network/user_datagram_protocol.htm
- [36] TOWNSEND, Kevin. Introduction to Bluetooth Low Energy: GATT. *Adafruit* [online]. 20.3.2014 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt>
- [37] KKASPERCZYK. Matter: Testing the nRF Connect platform with Apple, Google and Samsung ecosystems. *Nordic Semiconductor* [online]. 16.1.2023. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://devzone.nordicsemi.com/nordic/nordic-blog/b/blog/posts/matter-testing-nrf-connect-sdk-platform-with-apple-google-and-samsung-ecosystems-218911247>
- [38] Matter: Overview of OTA. *Google Developer Center* [online]. 15.12.2022. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://developers.home.google.com/matter/ota>
- [39] AUTOMATE YOUR LIFE. *Here's How The Matter Smart Home Works Right Now* [video]. *YouTube*. 18.2.2023 [shlédnuto 17.5.2023]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=xov7Ao_fPwQ
- [40] ALEXANDER, Rob. Matter 1.0 is Here - Does Reality Meet Expectation?. *Silicon Labs* [online]. 10.5.2022. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.silicon-labs.com/blog/matter-1-0-is-here-does-reality-meet-expectation>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AID	Association Identifier.
ATT	Attribute Protocol.
BLE	Bluetooth s nízkou spotřebou energie (Bluetooth low energy).
BTP	Bluetooth Transport Protocol.
CHIP	Propojení domácnosti přes IP (Connected home over Internet Protocol).
CSA	Connectivity Standards Alliance.
DNS	Domain Name System.
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum.
GAP	General Access Profile.
GATT	Generic Attribute Protocol.
HD	Vysoké rozlišení (High definition).
ID	Identifikace (Identification).
IoT	Internet věcí (Internet of things).
IP	Internetový protokol (Internet Protocol).
IPX3	Ochrana proti stříkající vodě.
MATTEROBLE	Matter-over-Bluetooth Low Energy.
MCS	Modulation Coding Scheme.
MRP	Message Reliability Protocol.
OTA	Bezdrátově (Over-the-air).
QAM	Quadrature Amplitude Modulation.
QoS	Kvalita servisu (Quality of Service).
QR	Quick Response.
RFID	Identifikace na rádiové frekvenci (Radio frequency identification).
SDU	Service Data Unit.

TBR	Thread Border Router.
TCP	Transmission Control Protocol.
UDP	User Datagram Protocol.
Wi-Fi	Bezdrátové připojení k síti (Wireless fidelity).
WPS	Nastavení Wi-Fi routeru pro zabezpečení (Wi-Fi Protected Setup).

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vývoj rozšíření chytrých zařízení v domácnostech [4].	12
Obr. 2 Graf znázorňující latency v malé síti s malým zatížením [27]	17
Obr. 3 Graf znázorňující latency ve velké síti se středním zatížením [27].....	18
Obr. 4 Komunikace mezi senzorem, ovladačem a aktuátorem.....	19
Obr. 5 Matter architektura [33].....	22
Obr. 6 Matter architektura zakomponovaná do referenčního modelu ISO/OSI [32] .	24
Obr. 7 Topologie sítě Matter [26]	26
Obr. 8 Komunikace Matter Fabric s přemostěnými zařízeními [33]	27
Obr. 9 Řešená domácnost	34
Obr. 10 Návrh řešení domácnosti	39

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Úspěšnost připojení aplikací a Matter zařízení.....	29
Tabulka 2. Porovnání podobných standardů.....	33
Tabulka 3. Seznam použitých zařízení	38