

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Maksim Voltškov 232078IACM

Wi-Fi-põhiste Tasmota seadmete ja Matter lahenduste praktiline võrdlus Home Assistantis

Magistritöö

Juhendaja: Andres Rähni
Tehnikateaduste-
magister

Tallinn 2025

Autorideklaratsioon

Kinnitan, et olen koostanud antud lõputöö iseseisvalt ning seda ei ole kellegi teise poolt varem kaitsmisele esitatud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on töös viidatud.

Autor: Maksim Voltškov

12.05.2025

Annotatsioon

Antud magistritöö keskendub kahe erineva nutikodu lahenduse — Tasmota püsivaraga Wi-Fi seadmete ja Matter over Thread või over Wi-Fi (oToWi) standardil põhinevate seadmete — võrdlusele. Töö eesmärgiks on hinnata, milline neist kahest lähenemisest sobib paremini kasutamiseks nutikodu makettides, arvestades seadmete seadistamise ja Home Assistant platvormiga integreerimise lihtsust, näitlikustamise võimet, turvalisust ning praktilist kasutatavust.

Töö käigus viidi läbi nii tehnoloogiate omaduste analüüs kui ka seadmete Tasmota püsivaraga uuendamine, süsteemide integreerimine, automatiseerimislahenduste loomine ilma programmeerimiseta Automation UI tööriista abil ning füüsilise õppe-maketi kaasajastamine. Tulemused näitavad, et Tasmota seadmed pakuvad suurt paindlikkust ja autonoomsust, kuid nõuavad kasutajalt tehnilist ettevalmistust. Seevastu Matter oToWi seadmed on lihtsalt seadistatavad, suure ühilduvusega ja sobivad hästi kasutamiseks õppe- ja kodukeskkonnas.

Töö praktiline osa võimaldas hinnata mõlema tehnoloogia eeliseid ja puudusi realses keskkonnas ning pakkuda soovitusi nende kasutamiseks õpetamise eesmärgil. Saadud tulemuste põhjal võib järeldada, et mõlema tehnoloogia kombineerimine on optimaalne lahendus, võimaldades nii süvitsi tehniliste teadmiste omandamist kui ka kiiret ja kasutajasõbralikku rakendust.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 46 leheküljel, 7 peatükki, 19 joonist, 1 tabel.

Abstract

A Practical Comparison of Wi-Fi-Based Tasmota Devices and Matter Solutions in Home Assistant

This master's thesis focuses on the comparison of two different smart home solutions — Wi-Fi-based devices running Tasmota firmware and devices based on the Matter over Thread or over Wi-Fi (oToWi) standard. The aim of the study is to evaluate which of these two approaches is better suited for use in smart home mock-ups, taking into account the ease of device setup and integration with the Home Assistant platform, demonstrability, security, and practical usability.

The study involved both an analysis of the technologies' characteristics and the flashing of devices with Tasmota firmware, integration of systems, creation of automation solutions using the no-code Automation UI tool, and the modernization of a physical educational mock-up. The results show that Tasmota devices offer great flexibility and autonomy but require a certain level of technical proficiency from the user. In contrast, Matter oToWi devices are easy to configure, highly compatible, and well-suited for use in educational and home environments.

The practical part of the thesis enabled an assessment of the advantages and disadvantages of both technologies in a real-world context and allowed for the formulation of recommendations for their use in educational settings. Based on the findings, it can be concluded that a combined use of both technologies offers an optimal solution — enabling both in-depth acquisition of technical knowledge and rapid, user-friendly deployment.

The thesis is in Estonian and contains 46 pages of text, 7 chapters, 19 figures, 1 table.

Lühendite ja mõistete sõnastik

API	<i>Application Programming Interface</i> , rakendusprogrammiliides
BLE	<i>Bluetooth Low Energy</i> , väikese energiatarbega Bluetooth
CSA	<i>Connectivity Standards Alliance</i>
DIY	<i>Do-It-Yourself</i>
ESP	<i>Espressif Systems</i>
GPIO	<i>General-Purpose Input Output</i> , üldotstarbeline sisend-väljund
HA	<i>Home Assistant</i> , nutikodu vabavaraline haldustarkvara
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> , hüperteksti edastuse protokoll
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IP	<i>Internet Protocol</i> , protokoll Interneti protokollistikus
IoT	<i>Internet of Things</i> , asjade Internet
LAN	<i>Local Area Network</i> , kohtvõrk
mesh	silmusvõrk
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i> , sõnumijärjekorraga telemeetriatransport
OTA	<i>Over-The-Air</i> , üle juhtmevabavõrgu (uuendamine)
oToWi	<i>Over Thread or Over Wi-Fi</i> , Thread või Wi-Fi põhine
PKI	<i>Public Key Infrastructure</i> , avaliku võtme taristu
TLS/SSL	<i>Transport Layer Security</i> , transpordikihi turve protokoll
TTS	<i>Tasmota Template System</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver Transmitter</i>
USB	<i>Universal Serial Bus</i> , universaalne jadasiin
ZCL	<i>Zigbee Cluster Library</i>
YAML	<i>Yet Another Markup Language</i> , andmete jadastuse keel
Wi-Fi	Traadita kohtvõrgu tehnoloogia (IEEE 802.11 standarditel)

Sisukord

1 Sissejuhatus	10
2 Nutikodu lahenduste taust	13
2.1 Nutikodu mõiste	13
2.2 Sideprotokollid	13
2.3 Home Assistant'i roll.....	14
3 Wi-Fi põhised nutikodu moodulid ja-Tasmota püsivara	15
3.1 Wi-Fi seadmete ülevaade.....	15
3.2 Tootjate originaalpüsivara	16
3.3 Tasmota püsivara.....	16
4 Matter standard.....	17
4.1 Matter standardi tekkepõhjused.....	17
4.2 Matter-võrgu arhitektuur	17
4.3 Thread-võrguprotokoll.....	18
4.4 Seadmete lisamise mehhanism Matter-võrku.....	19
4.5 Matteri tugi Home Assistant'is.....	19
5 Wi-Fi põhiste Tasmota lahenduste ja Matter lahenduste võrdlus.....	21
5.1 Turvalisus	21
5.1.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant).....	21
5.1.2 Matter oToWi süsteemid	22
5.2 Kohalik ja pilvepõhine töö	23
5.2.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant).....	23
5.2.2 Matter süsteemid.....	24
5.3 Töö keskse kontrolleriiga	25
5.3.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant).....	25
5.3.2 Matter süsteemid.....	26
5.4 Seadmete hind.....	27
5.4.1 Wi-Fi seadmed (Tasmota + Home Assistant).....	27
5.4.2 Matter seadmed.....	28
5.5 Seadmetüüpide valiku mitmekesisus.....	29

5.5.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant).....	29
5.5.2 Matter seadmed.....	30
5.6 Energiatarbimine	30
5.6.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant).....	30
5.6.2 Matter süsteemid.....	31
5.7 Erinevate tootjate ülene ühilduvus	32
5.7.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant).....	32
5.7.2 Matter süsteemid.....	32
5.7.3 Koostöö olemasolevate mitte-Matter seadmetega:.....	33
5.8 Paigaldamise ja seadistamise lihtsus	34
5.8.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant).....	34
5.8.2 Matter süsteemid.....	35
5.9 Populaarsus ja kogukonna tugi.....	36
5.9.1 Wi-Fi (Tasmota + Home Assistant).....	36
5.9.2 Matter süsteemid.....	37
5.10 Võrdlustabel.....	38
6 Wi-Fi ja Matter tehnoloogiate võrdlev kasutus Home Assistant'is.....	40
6.1 Wi-Fi põhiste seadmete kasutamine.....	40
6.1.1 Kasutatud seadmed.....	40
6.1.2 Ümberprogrammeerimise protsess.....	41
6.1.3 Home Assistant ja MQTT protokoll.....	45
6.1.4 MQTT seadistamine Tasmota püsivaras ja lisamine Home Assistant'i	46
6.2 Matter seadmete kasutamine	47
6.2.1 Kasutatud seadmed.....	48
6.2.2 Home Assistant'i ja Thread-võrgu seadistamine.....	48
6.3 Loodud automatiseerimislahenduste testimine ja võrdlus.....	50
6.3.1 Tasmota seadmete automatiseerimise loomine	50
6.3.2 Matter-seadmete automatiseerimise loomine	51
6.3.3 Automatiseerimislahenduste testimise tulemused.....	52
6.4 Praktilise kogemuse võrdlus.....	53
7 Kokkuvõte	55
Kasutatud kirjandus	56
Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	59

Jooniste loetelu

Joonis 1. Sonoff seadmed: releemoodul (vasakul üleval) [5], pistik (paremal üleval) [6], Mini (vasakul all) [7] ja TH16 (paremal all) [8].	15
Joonis 2. Matter-võrgu arhitektuur: kontrollerid, seadmed ja suhtlus kanga sees ilma pilveteenusteta [15].....	18
Joonis 3. Pildil on Matter võrgu kihid ja Border Routeri roll Matter-seadmete ühendamisel IP-võrguga [17]	19
Joonis 4. Seadmed: Basic R2/R3 (vasakul), TH10 (keskel), SF-DUAL R3 (paremal)...	41
Joonis 5. USB-UART adapter DEV-15096 [42]	42
Joonis 6. Juhtmete ühendamine adapteriga DEV-15096.....	42
Joonis 7. Ühendus Basic R2 seadme sisse.....	43
Joonis 8. ESP Home Flasheri kasutajaliides.....	44
Joonis 9. Temperatuuri ja niiskuse anduri TH10 andmed Tasmota veebiliideses.....	44
Joonis 10. Raspberry Pi 3B, kus on paigaldatud Home Assistant OS server	45
Joonis 11. Sonoff seadmete ja Home Assistant'i vaheline suhtlusskeem MQTT kaudu	45
Joonis 12. MQTT seadistamine Tasmota veebiliideses.....	46
Joonis 13. Seadmete olek ja andmed Home Assistant'i koondpaneelil	47
Joonis 14. Ledvance Matter-seadmed: Smart+ Plug (paremal), Smart+ Bulb (vasakul)	48
Joonis 15. Samsung SmartThings Hub Thread Border Router'ina	49
Joonis 16. Edukalt lisatud Matter-seadmed Home Assistant'i liideses	50
Joonis 17. Esimene (vasakul) ja teine (paremal) automatiseerimised Wi-Fi seadmetega	51
Joonis 18. Esimene (vasakul) ja teine (paremal) automatiseerimised Matter seadmetega	52
Joonis 19. Seadmete välja ja sisse lülitava logid Home Assistanti'is	52

Tabelite loetelu

Tabel 1. Valiku aluseks olnud uuritud näitajate lühendatud kokkuvõte.....	38
---	----

1 Sissejuhatus

Nutikodu tehnoloogiad on saanud kaasaegse elu lahutamatuks osaks, oluliselt lihtsustades suhtlust kodutehnikaga ning suurendades energiatõhusust ja mugavust. Nutikodu lahenduste kiire levik on kaasa toonud mitmesuguseid tehnoloogilisi lähenemisi ja protokolle, mille hulgas väärivad kasutuse massilisuse tõttu tähelepanu Wi-Fi võrgu kasutusel põhinevad seadmed ning viimastel aastatel esile kerkinud Matter-standard ja Thread-protokoll.

Wi-Fi põhiste seadmete segmendis on mitmete ettevõtete seadmed, mis paistavad silma taskukohase hinna, lihtsa paigalduse ja mitmekülgsete rakendusvõimalustega. Kuigi nende tehasepüsivara ja pilveteenused pakuvad mugavust ja lihtsat kasutamist, kaasnevad nende lahendustega turva- ja privaatsusriskid, mis tulenevad sõltuvusest tootja pilveserveritest. Need riskid, samuti piiratud funktsionaalsus ja keerukused teiste nutikodu platvormidega integreerimisel, on viinud alternatiivsete lahenduste tekkimiseni, nagu näiteks avatud lähtekoodiga Tasmota püsivara kasutamine.

Samaaegselt on nutikodu turule sisenenud uus Matter-standard, mis koos Thread-võrgutehnoloogiaga lubab tagada parema seadmete ühilduvuse, energiatõhususe ja kõrgema turvalisuse taseme. Matter *over* Thread või *over* Wi-Fi (oToWi) seadmed pakuvad alternatiivi traditsioonilistele Wi-Fi-põhistele lahendustele vähendades samal ajal pilvesõltuvusega kaasnevaid riske.

Antud töö keskendubki nende kahe lahenduse — tootjate seadmed, mis on ümber programmeeritud Tasmota püsivaraga ning integreeritud Home Assistant platvormiga, ja uuemad Matter oToWi seadmed — teoreetilisele ja praktilisele võrdlusele. Eesmärk on varem Automaatikainstituudi ja nüüd Arvutisüsteemide instituudi praktikumides kasutusel olnud arukate kodude maketid uuendada hetkel laia levikuga ja uudsete lahenduste võimalustega, mida seni pole viimaste aastate jooksul praktikumides veel kasutusele võetud. Valitud lähenemine võimaldab selgitada välja mõlema lahenduse tugevad ja nõrgad küljed ja hinnata nende sobivust erinevates kasutusstsenaariumites.

Töö otsib vastust küsimusele, missuguseid programmide koostamist mitte vajavaid lahendusi on otstarbekas praktikumide makettide uuendamisel kasutada, et kergesti õpetuslikke eesmärke saavutada. Lisaks käsitletakse põhjalikult seda, kuidas Tasmota püsivara kasutamine aitab vähendada sõltuvust pilveteenustest ning parandada nutikodu turvalisust ja funktsionaalsust.

Töö eesmärgiks on võrrelda Tasmota püsivaraga Wi-Fi seadmete võimalusi ja Matter oToWi seadmeid, hinnates nende seadistamist ja integratsiooni lihtsust Home Assistant platvormiga. Selleks püstitati järgmised uurimisülesanded:

- Analüüsida ja võrrelda olemasolevaid lahendusi, tuues välja mõlema tehnoloogia eelised ja puudused.
- Viia läbi seadmete püsivara uuendamine Tasmotaga, ning praktilised katsetused ja võrdlused Matter oToWi seadmetega.
- Integreerida mõlemad lahendused Home Assistant platvormiga, kasutades sobivaid protokolle
- Testida ja võrrelda loodud automatiseerimislahendusi, kasutades platvormi sisseehitatud Automation UI tööriista.
- Uuendada füüsiline õppe-makett ülikooli praktikumiruumis, mis võimaldab visuaalselt demonstreerida mõlema tehnoloogia praktilisi erinevusi ja eeliseid.

Metodoloogiliseks aluseks on võrdlev analüüs, eksperimentaalne testimine ning praktiline integratsioon ja automatiseerimisloogika valideerimine füüsilisel maketil. See praktiline komponent mitte ainult ei suurenda üliõpilaste arusaamist erinevatest tehnoloogiatest, vaid annab neile ka tehniliste lahenduste rakendamise praktilise hindamise kogemuse.

Töö kirjutamise käigus kasutati generatiivset tehisintellekti ChatGPT (OpenAI), et täiustada teksti loetavust, parandada keelekasutust ja info struktureerimist ning muuta sõnastus ladusamaks.

Töö teises peatükis antakse ülevaade nutikodu tehnoloogiate taustast. Kolmandas peatükis tutvustatakse Wi-Fi põhiseid seadmeid ja Tasmota püsivara võimalusi. Neljas peatükk keskendub Matter standardile ja selle toimimisele Thread/Wi-Fi võrgus. Viiendas peatükis võrreldakse Wi-Fi ja Matter protokollidel põhinevaid lahendusi teoreetiliste kriteeriumide alusel. Kuuendas peatükis käsitletakse kahe tehnoloogia

praktilist kasutust Home Assistant'is ning hinnatakse, kumb sobib paremini koduseks kasutamiseks.

2 Nutikodu lahenduste taust

Selles peatükis antakse üldine ülevaade nutikodu tehnoloogiatega seonduvast, käsitletakse nutikodu mõistet, kasutatavaid sideprotokolle ja platvormi Home Assistant kesksel rollil selles.

2.1 Nutikodu mõiste

Mõiste "nutikodu" hõlmab laia valikut lahendusi, mis on suunatud koduste protsesside automatiseerimisele ning mugavuse, turvalisuse ja energiatõhususe suurendamisele eluruumides. Nutikodu koosneb erinevatest seadmetest, nagu valgustussüsteemid, juhitavad pistikud, liikumis- ja temperatuuriandurid, lukud, valvekaamerad, kliimaseadmed ja kodutehnika, mida saab juhtida kaugelt või mis toimivad etteantud stsenaariumide alusel [1].

Nutikodu keskne element on juhtimisplatvorm ehk kontroller, mis koordineerib kõigi ühendatud komponentide tööd. Kontroller võib olla nii mobiilirakendus, pilveteenus kui ka lokaalselt kasutaja seadmes töötav server. Nutikodude süsteemid on ehitatud modulaarse põhimõtte järgi, mis võimaldab neid paindlikult kohandada vastavalt konkreetsetele vajadustele ja tingimustele.

2.2 Sideprotokollid

Seadmete omavaheline suhtlus nutikodus toimub erinevate juhtmevabade ja juhtmepõhiste sideprotokollide abil. Valik sõltub lahendatavatest ülesannetest ja keskkonnatingimustest.

Wi-Fi on üks levinumaid lahendusi oma universaalsuse ja lisainfrastruktuuri vajaduse puudumise tõttu. Kuid suur võrgukoormus ja kõrge energiatarve piiravad selle sobivust akutoitel töötavatele seadmetele.

Zigbee on energiasäästlik silmusvõrk (*mesh*) protokoll, mis on loodud spetsiaalselt väikese energiatarbega automaatikaseadmetele, mida kasutatakse IoT lahendustes. Selle kasutamiseks on vaja eraldi koordineerivat seadet (huubi) ja see töötab isoleeritud võrgus, mis suurendab stabiilsust, kuid teeb arhitektuuri keerulisemaks.

Bluetooth, eriti madala energiatarbega Bluetooth Low Energy (BLE), kasutatakse lühiajaliste ühenduste ja seadistuste jaoks, näiteks uute seadmete sidumiseks, kuid leidub ka seadmeid ja tootesarju, mis töötavad täielikult BLE põhjal.

Thread, uuem lahendus, põhineb sarnaselt Zigbee'le madala energiatarbega *mesh*-võrgu põhimõttel, kuid erinevalt Zigbee'st töötab IP-protokolli peal, olles seejuures energiatõhus. See tagab parema ühilduvuse olemasoleva võrgutaristuga ja võimaldab mitme platvormi tuge.

Olemas on ka teised protokollid nagu Z-Wave, RF433 või tootjaspetsiifilised lahendused, kuid viimastel aastatel on just Wi-Fi, Zigbee ja Thread kujunenud nutikodude arenduse peamisteks suundadeks [2].

2.3 Home Assistant'i roll

Home Assistant on üks juhtivaid nutikodu vabavaralisi haldustarkvarasid, mis paistab silma aktiivse arendamise ja keskendumisega lokaalsele andmetöötlusele ja privaatsusele [3]. Selle paindlikkus on märkimisväärne: Home Assistant toetab sadu tootjaid ja protokolle ning pakub sisseehitatud visualiseerimis-, automatiseerimis- ja jälgimisvahendeid.

Tänu modulaarsele arhitektuurile ja tugevale kogukonnale võimaldab Home Assistant ühendada süsteemiks seadmeid, mis ei olnud algselt mõeldud koostööks. See muudab platvormi atraktiivseks nii kodukasutajatele kui ka hariduslikel ja teaduslikel eesmärkidel, kuna see võimaldab täielikku kontrolli nutikodu loogika ja ülesehituse üle.

3 Wi-Fi põhised nutikodu moodulid ja Tasmota püsivara

Selles peatükis käsitletakse Wi-Fi põhiste seadmete omadusi ja nende kasutusvõimalusi nutikodus, ühe tootja moodulite näitel. Alapeatükkides antakse ülevaade seadmete tüüpidest ja arhitektuurist, kirjeldatakse originaalpüsivara piiranguid ning tutvustatakse Tasmota alternatiivpüsivara eeliseid ja paigaldusvõimalusi.

3.1 Wi-Fi seadmete ülevaade

Hiina ettevõtte ITEAD toodetud Sonoff seadmete sari on laialt levinud lahendusi nutikodu automatiseerimiseks. Nende Wi-Fi põhiste moodulite tooteseeriade näitel saab üldistada ka teiste tootjate samalaadsete moodulite tüüpilisi omadusi. Need seadmed on mõeldud elektritarvitite juhtimiseks Wi-Fi kaudu ja on suunatud tavakasutajale, pakkudes laialdast kasutusvõimalust [4]. Levinumate mudelite seas on releemoodulid, nutipistikud, minimoodulid varjatud paigalduseks harutoosidesse ning funktsionaalsemad kontrollid andurite ühendamise võimalusega näiteks Sonoff TH10/TH16 (vt Joonis 1). Kõik need põhinevad ESP8266 või ESP32 mikrokontrolleritel.



Joonis 1. Sonoff seadmed: releemoodul (vasakul üleval) [5], pistik (paremal üleval) [6], Mini (vasakul all) [7] ja TH16 (paremal all) [8].

Tänu nende kiipide laialdasele kasutamisele ja avatud riistvaraarhitektuurile on sellised seadmed populaarsed DIY projektides ja avatud platvormidel põhinevas automatiseerimises. Nad suudavad täita funktsioone nagu kaugjuhtimine, keskkonnaparametrite ja energiatarbe mõõtmine, automatiseeritud stsenaariumide käivitamine ning suhtlemine teiste nutikodu süsteemi komponentidega. Seadmete populaarsus tuleneb madalast hinnast, lihtsast ehitusest ning paindlikust kohandatavusest, sh tänu võimalusele paigaldada alternatiivset tarkvara.

3.2 Tootjate originaalpüsivara

Sonoff seadmete näitel tarnitakse need tehases koos eWeLink pilveplatvormil töötava tarkvaraga. See lahendus pakub kasutajale põhifunktsionaalsust ja mobiilirakenduse kaudu juhtimist, kuid toob kaasa olulisi piiranguid [9]. Kõik andmeedastus ja juhtimine toimub interneti kaudu, mis muudab süsteemi haavatavaks ühendusprobleemide suhtes ning tekitab õigustatud küsimusi turvalisuse ja andmekaitse osas. Kuna kõik käsud liiguvad läbi väliste serverite, loovutab kasutaja täieliku kontrolli oma seadmete üle. Lisaks ei võimalda originaaltarkvara tihti keerukamaid automatiseerimisskeeme ning piirab ühilduvust alternatiivsete platvormidega, nagu Home Assistant.

3.3 Tasmota püsivara

Avatud lähtekoodiga Tasmota püsivara loodi kui alternatiivne tarkvara ESP-põhiste seadmetele, et anda kasutajale täielik kontroll seadme üle ning eemaldada sõltuvus pilveteenustest [10]. Erinevalt originaaltarkvarast ei vaja Tasmota pidevat internetiühendust, kuna kõik funktsioonid toimivad lokaalses võrgus. Seade saab iseseisva veebiliidese, mis on kättesaadav brauseri kaudu, ning seda saab integreerida Home Assistant või teiste platvormidega standardsete protokollide, näiteks MQTT abil. Tänu laiale GPIO toele ja sisseehitatud mallisüsteemile võimaldab Tasmota seadet paindlikult seadistada, sealhulgas töötama erinevate andurite ja täiturseadmetega. Selline arhitektuur muudab selle atraktiivseks entusiastidele ja arendajatele, kes soovivad usaldusväarsust, paindlikkust ja läbipaistvust nutikodu haldamisel.

Tasmota püsivara saab paigaldada kahel peamisel viisil: juhtmega ühenduse kaudu või juhtmevabalt (OTA, *Over-the-Air*). Juhtmega meetod kasutab RX/TX kontaktide kaudu ühendust USB–UART-adapteri abil ning võimaldab mikrokontrolleri otsest püsivarauuendust [11]. OTA-uuendamine toimub juhtmevabalt, kuid see on võimalik ainult juhul, kui seadmes on juba eelnevalt paigaldatud ühilduv püsivara [12].

Seadmete püsivara uuendamise tehnilised aspektid, ühenduse seadistamine ning integreerimine Home Assistant'iga käsitletakse üksikasjalikult töö 6.-ndas peatükis.

4 Matter standard

Selles peatükis tutvustatakse Matter-standardit ja selle toimimist Thread/Wi-Fi-võrgu kaudu. Alapeatükkides käsitletakse Matteri tekkepõhjuseid ja arhitektuuri, Thread-protokolli eripära, seadmete lisamise mehhanismi ning Matteri tuge Home Assistant'is.

4.1 Matter standardi tekkepõhjused

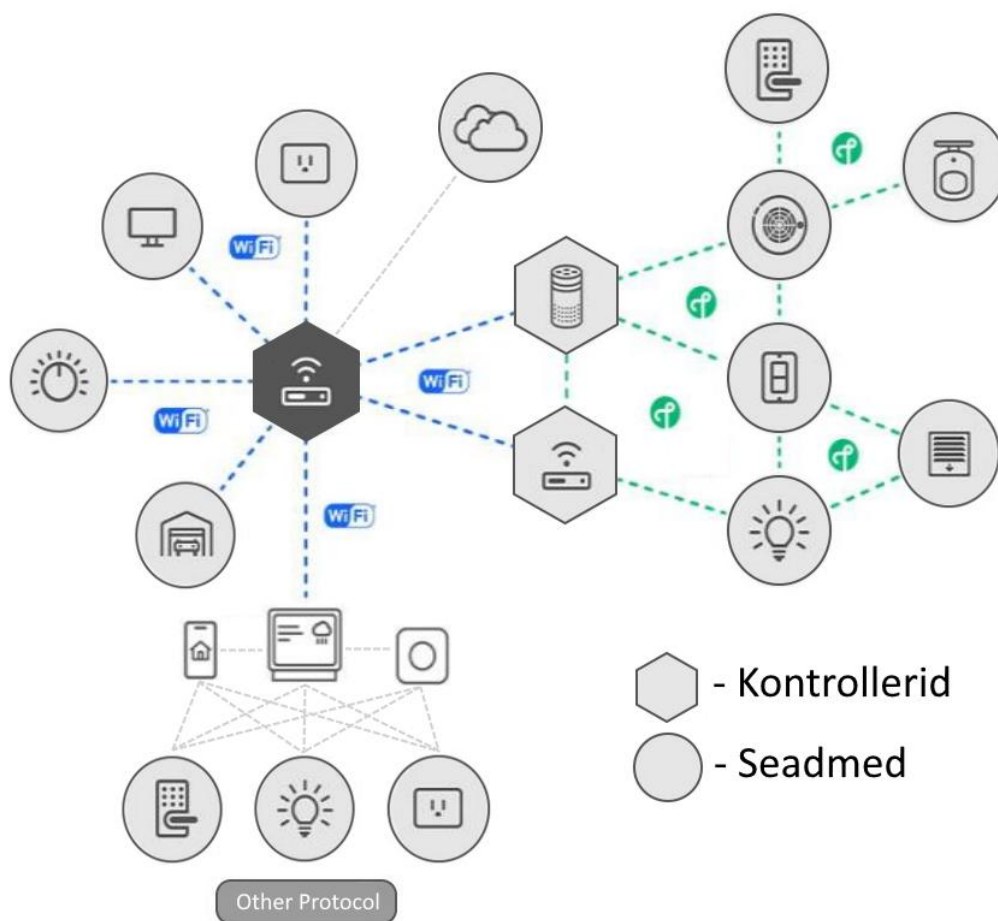
Pikka aega kannatas nutikodu seadmete turg tugeva killustatuse all: erinevad tootjad kasutasid erinevaid platvorme, protokolle ja juhtimissüsteeme. See tõi kaasa toodete kokkusobimatuse eri brändide vahel ja nõudis mitmete erinevate rakenduste ning pilveteenuste kasutamist. Matter-standard, mida arendab Connectivity Standards Alliance (CSA), loodi selleks, et kaotada need takistused ja kujundada ühtne tehniline alus nutikodu seadmete koostööks [13]. See põhineb avatud spetsifikatsioonidel, nõuab sertifitseerimist ühilduvatele seadmetele ning pakub universaalset sõnumivahetusprotokolli, mis töötab IP-võrkude peal.

4.2 Matter-võrgu arhitektuur

Matter-võrgu arhitektuur tugineb kolmele põhikontseptsioonile: kontrolleritele, lõppseadmetele ja loogilistele suhtlusaladele, mida nimetatakse kangaks (*fabric*). Kontroller on kas tarkvara või riistvara, mis juhib nutiseadmeid võrgus [14]. See võib olla näiteks mobiilirakendus, häälassistent, Home Assistant server või muu tarkvara, millel on administraatoriõigused ökosüsteemis.

Võrguga ühendatud seadmeid nimetatakse sõlmedeks ning need täidavad konkreetseid funktsioone — alates valguse sisselülitamisest kuni temperatuuri mõõtmise või lukkude juhtimiseni. Uue seadme lisamisel süsteemi toimub krüptograafiliselt turvatud registreerimisprotsess, mille käigus saab seade unikaalse identifikaatori ja lisatakse kindlasse loogilisse alasse ehk kangasse. *Fabric* ehk kangas on isoleeritud usaldustsoon, mille raames võrgu liikmed suhtlevad otse, punktist punkti mudeli järgi, ilma et oleks vaja läbida välist pilveteenust. See tagab kõrge turvalisuse ja sõltumatuse kolmandate osapoolte infrastruktuurist.

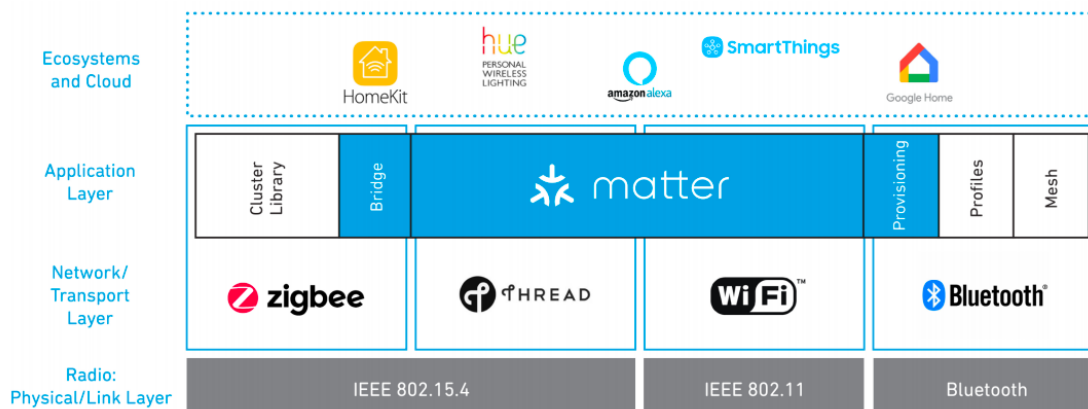
Selline lähenemine võimaldab ühendada eri tootjate seadmeid ühte võrku ja neid tsentraalselt hallata, säilitades samas kogu süsteemi turvalisuse ja laiendatavuse. Kanga struktuur on eriti oluline mitme kontrolleri toetuse kontekstis, sest see määrab usaldus- ja kontrollipiirid lokaalses nutikeskkonnas (vt Joonis 2).



Joonis 2. Matter-võrgu arhitektuur: kontrollerid, seadmed ja suhtlus kanga sees ilma pilveteenusteta [15]

4.3 Thread-võrguprotokoll

Wi-Fi ja Etherneti kõrval võib Matter kasutada transpordikihina Thread-protokolli (vt Joonis 3). Thread on IEEE 802.15.4 standardil põhinev võrguprotokoll, mis on loodud energiatõhusaks andmeedastuseks juhtmevabades *mesh*-tüüpi võrkudes. Thread võimaldab seadmetel moodustada isereguleeruva struktuuri, kus iga sõlm võib toimida repiiterina, tagades võrgu töökindluse ka siis, kui mõned seadmed lülituvad välja [16].



Joonis 3. Pildil on Matter võrgu kihid ja Border Routeri roll Matter-seadmete ühendamisel IP-võrguga [17] Thread-võrgu ühendamiseks koduvõrgu IP-taristuga kasutatakse komponenti nimega *Thread Border Router* — seade, mis tagab sidususe eraldatud Thread-võrgu ja ülejäänud koduvõrgu vahel. *Border Router* ei ole klassikalises mõttes jaotuskeskus ja võib olla integreeritud olemasolevatesse seadmetesse, nagu kaasaegsed nutikõlariid või *mesh*-ruuterid.

4.4 Seadmete lisamise mehhanism Matter-võrku

Seadme lisamise protsess Matter-võrku põhineb autentimis- ja sidumisprotseduuril, mis kasutab krüptograafilisi võtmeid. Seadet saab võrku lisada QR-koodi, NFC-sildi või spetsiaalse *Setup Code*'i abil, võimaldades kontrollerial turvaliselt ühenduse luua ja uus seade kangasse registreerida.

Matter-võrk toetab mitmekordset haldust (*multi-admin*), mille korral võib üks ja sama seade olla registreeritud mitmes kontrollerial korraga — näiteks Home Assistant'is ja Google Home'is — jäädes samal ajal ühe ja sama kanga piiridesse.

4.5 Matteri tugi Home Assistant'is

Alates versioonist 2022.12 toetab Home Assistant ametlikult Matter-standardit. Töök on vajalik spetsiaalne komponent nimega `matter_server`, mis toimib kontrollerialina ja suhtleb süsteemi teiste osadega standardsete liideste kaudu [18]. Home Assistant suudab avastada ja juhtida Matter-seadmeid nii Wi-Fi kui ka Thread-võrgu kaudu, kui olemas on sobiv *Border Router*.

Arhitektuuri mõttes on Matteri integreerimine Home Assistant'is realiseeritud isoleeritud serveri kaudu, mis suhtleb põhituumaga WebSocket API kaudu. See võimaldab tagada modulaarse ülesehituse, platvormideülesuse ja paindlikkuse süsteemi edasisel arendamisel.

Alates 2025. aasta märtsist on Home Assistant koos matter_server komponendiga saanud CSA ametliku Matter-sertifikaadi. See muudab Home Assistant'i esimeseks avatud lähtekoodiga platvormiks, mis vastab täielikult Matteri spetsifikatsioonile. Sertifitseerimine kinnitab, et süsteem toetab usaldusväärselt Matter-seadmeid ja on valmis nende haldamiseks ka tulevikus. See tugevdab Home Assistant'i positsiooni kui kaasaegset, standardipõhist ja pilvevaba nutikodu platvormi [19].

5 Wi-Fi põhiste Tasmota lahenduste ja Matter lahenduste võrdlus

Selles peatükis tuuakse välja Wi-Fi ja Matter oToWi protokollidel põhinevate seadmete tugevused ja nõrkused. Selleks viidi läbi põhjalik võrdlev analüüs nende kahe protokollide vahel. Uurimistöö eesmärk oli määrata kindlaks kummagi tehnoloogia eelised ja puudused nende rakendamisel nutikodude süsteemides. Analüüs hõlmab selliseid võtmekriteeriume nagu turvalisus, tööpõhimõte - lokaalselt või pilve kaudu, keske kontrolleri olemasolu, seadmete hind, seadmetüüpide valiku mitmekesisus, energiatarbimine, erinevate tootjate seadmete ühilduvus ning paigaldamise, seadistamise ja kogukonna toe lihtsus. Võrdleva analüüsi üldistused on esitatud kokkuvõtliku tabelina peatüki lõpus.

5.1 Turvalisus

Esialgu võrreldakse süsteemide turvalisust. Analüüs keskendub sellele, kuidas mõlemad lähenemised tagavad kasutajaandmete kaitse, seadmete autentimise ja sõltumatuse pilveteenustest.

5.1.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant)

Oluliseks turvaeeliseks Wi-Fi seadmete puhul, millele on paigaldatud avatud lähtekoodiga püsivara, näiteks Tasmota, ja mis on lokaalselt integreeritud, on see, et need saavad toimida ilma andmeid välisele pilvele avaldamata. Näiteks Home Assistant "seab esikohale kohaliku juhtimise ja privaatsuse" [20], mis tähendab, et kasutaja andmed ja seadmekäsud jäävad koduvõrku. See vähendab väliste küberrünnakute riski, kuna kolmandad osapooled ei töötle koduandmeid.

Siiski, Wi-Fi seadmete turvalisus lokaalses võrgus sõltub võrgu enda kaitsemehhanismidest, näiteks WPA2 krüpteerimine Wi-Fi-l ja korralik ruuteri turvaseadistus, ning kasutaja konfiguratsioonist. Kui kasutada tootja poolt pakutavaid pilveteenuseid, nagu Sonoff/Ewelink või Tuya seadmed tehasesättega, kaasnevad täiendavad riskid: andmed kodu kohta, mida seadmed haldavad, millal kodus või mitte põlevad saadetakse pilve ja salvestatakse seal.

See võib tekitada privaatsuse küsimusi ning pilvest sõltuvad seadmed võivad muutuda tootja poolt kasutuskõlbmatuks, näiteks Sonos põhjustas pahameelt, kui nad 2019. aastal eemalt keelustasid vanemad seadmed [21].

Paigaldades kohandatud püsivara nagu Tasmota, saavad kasutajad vältida sellist pilvekontrolli ning saavutada "kiirema ja privaatsema automatiseerimise" [22].

Lokaalses võrgus suhtleb Home Assistant tavaliselt protokollide kaudu nagu MQTT, mida saab kasutada krüpteerimise ja autentimisega. Näiteks võib see töötada läbi turvalise ühenduse, kasutades TLS/SSL-i, kasutajanime ja parooli või sertifikaate, kuigi paljud käitavad neid LAN-is ilma krüpteerimiseta, eeldades, et koduvõrk on usaldusväärne.

Üldiselt pakuvad Wi-Fi seadmed piisavat turvalisust, kui kohalik võrk on korralikult kaitstud, ning pilvest sõltuvuse eemaldamine suurendab oluliselt privaatsust ja kõrvaldab välisühenduste katkestuste või andmelekkete riskid.

5.1.2 Matter oToWi süsteemid

Matter loodi turvalisus esmatähtsana. CSA töötas Matteri välja, pidades turvalisust ja privaatsust "põhilisteks disainipõhimõteteks" [23].

Matteri seadmed peavad läbima sertifitseerimise ja kasutama tugevat krüpteerimist ja autentimist kõigis suhtlustes. Matter kasutab avaliku võtme infrastruktuuri (PKI) koos seadme autentimise sertifikaatidega, et tagada, et koduvõrguga liituvad ainult ehtsad ja sertifitseeritud seadmed[24].

Igal Matter seadmel on krüptograafiline identiteet ning ühendamisel tõestab see oma autentsust. Sertifitseerimata või manipuleeritud seadmed ei pääse Matter-võrku [25].

Kui seade on võrgus, toimub Matteri suhtlus otspunktist otspunkti krüpteeritult ja lokaalselt Threadi või Wi-Fi kaudu, seega saavad seadmed turvaliselt suhelda isegi siis, kui internetiühendus või pilveteenus on maas.

Matteri infoturve mudel võimaldab seadmetel tuvastada ja tõrjuda standardile mitte vastavaid nuppe - nagu CSA tehnoloogiajuht märgib: "seadmete autentimine võimaldab olemasolevatel Matter seadmetel uusi seadmeid lokaalselt juhtida ja vajadusel kiiresti eemaldada" [24]. Tarbijad ei pea enam muretsema, kas uus seade on turvaline - see juhtub automaatselt.

Kuna Matter on tööstuslikult ühtlustatud standard, järgivad tootjad selles määratletud parimaid turvapõhimõtteid, mitte ei leiuta ise uusi, mis võivad olla erineva kvaliteediga.

Matter oToWi süsteemid pakuvad tugevat, standardiseeritud turvalisust, vaikumisi krüpteerimist ja autentimist ning ei vaja põhifunktsioonide jaoks pilveühendust. Kitsaskohana selle juures on see, et ei saa lihtsalt luua sertifitseerimata Matter-seadmeid ilma sertifitseerimisprotsessita - samal ajal kui Wi-Fi DIY lahendused pakuvad rohkem vabadust ja vastutust turvalisuse ise rakendamisel.

5.2 Kohalik ja pilvepõhine töö

Selles alapeatükis võrreldakse Wi-Fi ja Matter oToWi süsteemide tööpõhimõtteid seoses pilvekasutuse ja lokaalse juhtimisega. Analüüs keskendub sellele, kuivõrd sõltuvad mõlemad tehnoloogiad internetiühendusest ning milliseid eeliseid ja puudusi toob kaasa seadmete töö ainult kohtvõrgus.

5.2.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant)

Traditsioonilised Wi-Fi nutiseadmed sõltuvad sageli pilveserveritest juhtimiseks - näiteks tehasesätetes Sonoff-lüliti, mida juhitakse eWeLink rakendusega, suhtleb tootja pilve kaudu. See tähendab, et internetiühenduse katkemine või tootja serveri probleem võib seadme töö katkestada. Pilvepõhine töö lisab ka viivitust, käsud liiguvad internetti ja tagasi, ning lisab võimalikke tõrkeallikaid, mis pole kasutaja kontrolli all.

Vastupidiselt sellele saavad kohandatud püsivaraga, näiteks Tasmota ja ESPHome, Wi-Fi seadmed, mis on integreeritud kohaliku keskseadmega nagu Home Assistant, töötada täielikult ilma internetita kohalikus LAN võrgus. Sellises seadistuses saadetakse käsud otse koduses Wi-Fi võrgus seadmetele, MQTT või HTTP kaudu, ilma internetti minemata. See tagab kohese reageerimise ja töökindluse, kuna ei sõltu pilveühendusest.

Home Assistant on spetsiaalselt loodud kohalikuks juhtimiseks ja suudab seadmeid hallata ilma pilveta [18]. Paljud DIY-entusiastid valivadki just selle lähenemise, et vältida pilvekatkestusi ja privaatsusprobleeme. Samas, ainult kohtvõrgus töötamisele ülemineku võib vajada lisatööd, seadme püsivara vahetamine või kogukonna loodud integratsioonide kasutamine. Tuleb täpsustada, et osa Wi-Fi seadmete tooteseeriad pakuvad siiski ka

valikulisi kohalikke režiime - näiteks mõnel Tuya seadmel on "LAN control" režiim ja ka Sonoffi ametlik integratsioon Home Assistant'is võimaldab pilvest loobuda.

Wi-Fi nutiseadmed võivad töötada lokaalselt, kuid tavaliselt on nad vaikimisi seadistatud pilve kaudu toimima - kui kasutaja just midagi ei muuda. Seega määrab tehasepüsivaraga Wi-Fi seadmete puhul kasutaja ise, kas süsteem töötab pilve kaudu või lokaalselt: pilv pakub mugavust, aga seab ohtu privaatsuse ja sõltumatuse, samas kui kohalik juhtimine pakub kiirust ja autonoomiat.

5.2.2 Matter süsteemid

Matter on oma olemuselt lokaalseks kasutuseks loodud protokoll. See on määratletud töötama kohalikus võrgus, nagu Thread-*mesh* või Wi-Fi/Ethernet IP võrgud, sõltumata pilveteenusest põhifunktsioonide jaoks. Matteri dokumentatsioon rõhutab, et tooted on projekteeritud töötama lokaalselt ja ei vaja interneti oma põhifunktsioonide täitmiseks [26].

See tähendab, et kui lülitada ruuterilt internet ühendus välja, saab Matter-seadmeid ikka juhtida lokaalse Matter-kontrolleri kaudu, milleks võib olla mobiiltelefon või Home Assistant. Seadmed suhtlevad kohaliku IP-võrgu kaudu, mis tagab töökindluse ja kiire reageerimise, kuna käsud ei liigu läbi väliste serverite [27].

Samas, Matter ei keela pilve kasutamist - see võimaldab seda kontrollitud moel: näiteks võib valitud platvorm (Google Home, Alexa jne) ühendada oma pilveteenuse Matter-kontrolleriga, et pakkuda kaugjuurdepääsu. Lisaks muudab Matteri standardiseeritud andmemudel pilve sünkroniseerimise lihtsamaks, kui kasutaja seda soovib [26]. Need pilvelingid on aga vabatahtlikud lisad - baasfunktsionaalsused lambid, lukud, andurid jne töötavad täielikult ilma internetita. Selle kohaliku ehk lokaalse lähenemise eelis on, et nutikas kodu jääb funktsioneerivaks ja turvaliseks isegi siis, kui tootja pilv hiljem suletakse.

Tootjatele, kes tulevad pilvepõhisest mudelist, pakub Matter võimalust liikuda kohalikule tööle, mis tagab parema töökindluse ja väiksema latentsuse [27]. Praktilises kasutuses on Matteri kogemus sarnane Apple HomeKit-i filosoofiaga: kohalik juhtimine koos võimalusega kaugjuurdepääsuks läbi koduhuubi.

Kasutajad saavad endiselt kasutada häälassistente või rakendusi ükskõik kust, kui kodune kontroller ühendub pilvega, kuid seadmed ise ei vaja tööks suhtlust tootja pilvega. See on oluline paradigmanihe - nagu CSA märgib: paljud tooted kasutavad täna pilve, aga Matteri lisamine võimaldab neil kasutada lokaalset ühendust parema töökindluse ja reageerimiskiiruse tagamiseks [27].

Saab öelda, et Matter oToWi süsteemid töötavad vaikinisi lokaalselt, samas kui pilve kasutamine jääb valikuliseks kihiks, et võimaldada kaugjuurdepääsu või varundamist. Wi-Fi ökosüsteemid alustavad tavaliselt pilvest ja vajavad pingutust, et saavutada täielikult lokaalne töö.

5.3 Töö keskse kontrolleriga

Wi-Fi ja Matter oToWi süsteemide puhul on keskse kontrolleri roll ja vajadus lahendatud erinevalt. Võrdlus keskendub sellele, kuidas toimub seadmete juhtimine, milline on võrgustruktuur ning kas ja millal on vaja eraldi huubi või lüüsiseadet.

5.3.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant)

Üheks Wi-Fi IoT seadmete eeliseks on see, et need ei vaja tavaliselt eraldi jaotur-huube või lüüse, välja arvatud kodus juba olemasolev tavaline Wi-Fi ruuter. Iga seade ühendub otse koduvõrgu Wi-Fi pääsupunktiga. See vähendab algset keerukust ja kulusid - pole vaja osta eraldi silda, nagu Zigbee või Z-Wave süsteemide puhul, mis vajavad spetsiaalseid lisamooduleid, kui keskseadmes Zigbee või Z-wave andmeside võimekust pole.

Näiteks Sonoff Wi-Fi pistik saab liituda võrguga ja olla juhitud läbi Home Assistant'i või häälassistendi ilma vahepealse huubita. Siiski on oluline täpsustada, mida siin "huubi" all mõeldakse: kuigi füüsilist huubi pole vaja, peale Wi-Fi ruuteri, vajatakse sageli tsentraalset juhtimistarkvara, näiteks Home Assistant serverit või tootja pilveteenust, mis toimib virtuaalse huubina, et korraldada automatiseerimist erinevate tootjate seadmete vahel.

Seega on Wi-Fi seadmed huubi suhtes valikulised - neid saab juhtida individuaalselt läbi rakenduste või integreerida tsentraalsesse süsteemi, kuid neil pole vaja eraldi

protokollitõlgi-seadet. Iga seade kasutab standardset IP-protokolli, tihti HTTP või MQTT, millega juhtsüsteem saab suhelda.

Puuduseks on aga see, et mida rohkem Wi-Fi seadmeid lisatakse, seda suurema koormuse panevad need Wi-Fi võrgule ja ruuterile. Erinevalt Zigbee/Thread süsteemidest pole Wi-Fi-l sisseehitatud võrgukoordinaatorit - kogu liiklus käib läbi koduse Wi-Fi ruuteri. Praktikast suudavad kodused ruuterid hallata kümneid seadmeid, kuid väga suur IoT-seadmete hulk võib põhjustada võrgu ummistusi või ebastabiilsust odavamates ruuterites [28].

Sellegipoolest on vabadus tootjaspetsiifilistest huubidest teinud Wi-Fi seadmed populaarseks - kasutajad ei pea investeerima mitmesse eri brändi keskseadmetesse. Ainus huubi, mida vaja läheb, on juba olemasolev Wi-Fi infrastruktuur ja vajadusel kohalik kontrollier, mis võib olla lihtsalt rakendus telefonis või avatud lähtekoodiga server.

5.3.2 Matter süsteemid

Matter on loodud vältimaks tootjaspetsiifiliste huubide vohamist - üks peamisi eesmärke oli "kaotada vajadus mitme eraldi huubi järele" nutikodus [26].

Matteri puhul ei ole vaja iga brändi jaoks eraldi huubi; üks või mitu Matteri kontrollierit saab juhtida seadmeid ükskõik millisest Matter-sertifitseeritud tooteseeriast. Threadi kasutavate seadmete puhul, on vajalik, et võrgus oleks olemas *Thread Border Router* - seade, mis ühendab madala energiatarbega Thread-võrgu seadmed ülejäänud IP-võrguga, Ethernet või Wi-Fi.

Oluline on, et see *Border Router* funktsioon on sageli juba olemasolevates seadmetes sees - näiteks mitmed uuemad Wi-Fi ruuterid, nutikõlarid või koduautomaatika keskused toimivad samal ajal ka *Thread Border Router*'itena (Google Nest Hub, Apple HomePod mini, Amazon Echo 4. põlvkond ning isegi mõned Wi-Fi *mesh* ruuterid sisaldavad seda).

Thread Group rõhutab, et Thread ei vaja spetsiaalset huubi ega lüüsi töötamiseks. Kuna Thread põhineb 6LoWPAN-l ja IP-l, on ta madala energiatarbega ja tõhus IP-võrgu laiendus. Ainus, mis on vaja, on *Border Router*'i funktsioon ühes võrku ühendatud seadmes - see võib olla väga paljudes seadmetes olemas [27].

Peale *Border Router*'i, mis kasutaja jaoks võib olla täiesti nähtamatu, vajab Matter süsteem vähemalt ühte Matteri kontrollerseadet - see võib olla telefon, Home Assistant server või näiteks häälassistendi seade. Matteri kontrollerid on need seadmed, millega lisatakse uusi seadmeid võrku ja annad neile käske.

Paljudes majapidamistes on juba mitu Matteri kontrollerit olemas - näiteks iPhone iOS 16+ või Alexa Echo - need kõik võivad toimida Matteri kontrolleritena. Kuna Matter kasutab ühist protokollit, võib üks kontroller juhtida seadmeid eri brändidelt, erinevalt varasemast ajast, kus oli vaja näiteks Philips Hue Bridge'i Zigbee-lampide jaoks ja teist huubi mõne muu toote tüübi jaoks. See huubivaba või "kerge huubi" lähenemine on Matteri tugev külg.

5.4 Seadmete hind

Võrdluses käsitletakse Wi-Fi ja Matter oToWi seadmete hinnataset ning sellega seotud tegureid. Tähelepanu all on nii seadmete ostuhind, vajadus lisariistvara järele kui ka võimalikud kulud sertifitseerimisele ja kohaliku juhtimise rakendamisele.

5.4.1 Wi-Fi seadmed (Tasmota + Home Assistant)

Wi-Fi nutikodu seadmed on tuntud oma väga taskukohase hinna poolest. Platvormid nagu Sonoff, Tuya jpt. on toonud turule Wi-Fi nutipistikud, lülitid ja andurid väga madalate hindadega - sageli palju odavamad kui Zigbee või Z-Wave analoogid. Näiteks Sonoff Basic Wi-Fi releelüliti maksab vaid 5-10 eurot/dollarit [22].

Selle hinnavõidu põhjuseks on mitmeid tegureid. Wi-Fi seadmete riistvara, eriti laialt levinud ESP8266/ESP32 kiibid või nende analoogid, toodetakse miljardites, mis viib kulud alla. Kasutaja poolel pole vaja lisariistvara, nagu näiteks huubi või koordinaatorit - piisab vaid seadmest endast ja olemasolevast Wi-Fi-st.

Siiski tuleb arvestada, et kui seadet on plaanis ümber programmeerida kohandatud püsivaraga näiteks Tasmota, võib kaasneda väike lisakulu ajas või tööriistades, näiteks USB-Serial adapteri näol, kui just ei osteta Tasmota tehasepüsivaraga (nt tootja Athom jm.) seadmeid.

Turvalisuse seisukohast ei pruugi odavamatel Wi-Fi seadmetel alati olla usaldusväärsed komponendid - mõned varajased mudelid olid ilma turvalise alglaadimiseta või vaikimisi

nõrkade paroolidega, seega peab kasutaja olema tähelepanelik nende seadmete kohalikul integreerimisel.

Kui rääkida pilvepõhise ja kohaliku töö kulu erinevusest, siis Wi-Fi seadmete kasutamine tootja pilveteenuse kaudu ei too tavaliselt kaasa otsest lisakulu, kuna see on seadme hinda juba arvestatud. Mõned platvormid võivad siiski pakkuda tasulisi lisafunktsioone või teenida kasu kasutajaandmetest. Kohaliku juhtimise puhul Home Assistant'i kaudu puuduvad sisuliselt jooksvad kulud, välja arvatud kontrolleri ülalpidamine, mis tihti põhineb Raspberry Pi või mõnel teisel odaval arvutil.

5.4.2 Matter seadmed

Kuna Matter on uuem tehnoloogia, on Matter-ühilduvad seadmed, eriti Thread raadioga, olnud algselt hinnaskaala kõrgemas otsas, kuid see olukord muutub kiiresti. Varajased Threadi kasutajad, nagu Eve Systems oma andurite ja pistikutega, pakkusid premium-klassi tooteid, kuna sihtgrupiks olid HomeKit'i kasutajad.

Matteri laienemisega on aga rohkem massiturule orienteeritud brände, nagu Philips Hue, Ledscape, IKEA, Amazon (Eero ruuterid), Google (Nest seadmed), Samsung SmartThings, TP-Link Tapo ja teised, toonud turule Matter-ühilduvaid seadmeid. Juba täna näeme hindade langust - näiteks TP-Linki Tapo P125 nutipistik (Matter over Thread) on saadaval multipakendina hinnaga, mis on võrreldav tavapistikute omaga.

Siiski on Matter-seadmetel mõned struktuursed hinnategurid. Iga Matter-toega toode peab läbima sertifitseerimisprotsessi, mis lisab testimis- ja sertifitseerimiskulud. Matter-sertifikaadid ja CSA liikmelisus võivad tootjale maksta mitu tuhat dollarit seadme mudeli kohta [29], mis võib lisanduda seadme lõpphinda. Lisaks võib Matteri protokollide ja nõuete tugi, eriti Threadi puhul, eeldada veidi võimsamat mikrokontrollerit ja rohkem mälu kui väga lihtne Wi-Fi-seade.

Lisaks võivad seadmed, mis sisaldavad Thread raadiot, lisada oma maksumuse kiibi kulu võrra, kuigi paljud Thread raadiod on hinnaga sarnased Zigbee omadega. Sageli toetavad Matter seadmed ka Bluetoothi, mida kasutatakse seadmete sidumisprotseduurides samal kiibil, mis võib tõsta süsteemi keerukust. Teisalt ei vaja Wi-Fi lahendusega Matter seadmed täiendavaid raadiomoduleid. Aja jooksul, kui Matter muutub standardiks,

peaksid mastaabiefektid hindu allapoole tooma. Juba 2024. aasta lõpus oli turul üle 1400 Matter-sertifitseeritud seadme [30], mis viitab suurenevale mahu- ja hinnakonkurentsile.

Tänaused Matter-seadmed võivad olla veidi kallimad kui kõige odavamad ainult Wi-Fi seadmed, peamiselt uue tehnoloogia ja sertifitseerimiskulude tõttu, kuid oodatavalt hinnavahe väheneb kiiresti. Mitmed olemasolevad Zigbee seadmete tootjad, kes juba toodavad soodsaid seadmeid, on lubanud Matteri tuge läbi sildade või uute mudelite, mis võib lähitulevikus tuua turule odavad Thread seadmed.

5.5 Seadmetüüpide valiku mitmekesisus

Selles alapeatükis vaadeldakse seadmetüüpide valiku mitmekesisust Wi-Fi ja Matter oToWi ökosüsteemides. Võrdlus keskendub sellele, kui lai on toetatud seadmetüüpide spekter, millised seadmekategooriad on praktikas saadaval ning kuidas mõjutavad standardid seadmete omavahelist koostalitlust ja ühilduvust.

5.5.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant)

Erinevate süsteemide puhul on saadaval tohutu valik nutiseadmeid, mis põhinevad Wi-Fi-l. See on võimalik tänu Wi-Fi moodulite lihtsale integreerimisele igasugustesse toodetesse. Saadaval on Wi-Fi nutipirnid, pistikud, lülitid, LED-ribad, termostaadid, kaamerad, külmkapid, õhupuhastid, robot-tolmuimejad ja palju muud. Paljud kodumasinad tulevad tänapäeval vaikimisi Wi-Fi ühendusega. Kuigi leidub ka akutoitel Wi-Fi seadmeid, näiteks akuga kaamerad või uksekellad, ei sobi Wi-Fi kõrge energiatarbimise tõttu väikeste andurite jaoks kuigi hästi - seetõttu kasutatakse liikumis- või kontaktandurite puhul sagedamini Zigbee't või Bluetoothi, mis annab parema akuga töö kestvuse. Tuya arendajate dokumentatsioonis märgitakse, et Tuya-toega seadmeid on üle 2700 erineva tüübi, mis illustreerib Wi-Fi põhiste seadmete mitmekesisust [31].

Samas kaasneb suure mitmekesisusega ka killustatus: ajalooliselt rääkis iga Wi-Fi seadmete perekond rakenduse tasandil eri protokolle. Näiteks TP-Link Kasa pistik kasutab üht lokaalse API protokolle, Yeelight pirn teist, Tuya seade võib kasutada MQTT-d või mõnd kinnist protokolle Wi-Fi kaudu jne. Projektid nagu Home Assistant aitavad neid ühtlustada, pakkudes tuge paljudele integratsioonidele, kuid seadmed ei olnud karbist välja võttes üksteisega automaatselt koostöövõimelised.

5.5.2 Matter seadmed

Matteri käivitamisel (versioon 2022.12) toetati piiratud, kuid olulist hulka seadmetüüpe: valgustid ja valguse kontrollid, pistikud ja pistikupesad, lülitid, ukسلukud, termostaadid, rulood, lihtsad andurid (kontakti- ja liikumisandurid) ning meediaseadmed, nagu telerid ja voogedastuspulgad [26].

Aastatel 2023 ja 2024 laienes Matter kiiresti: versioon 1.2 (oktoober 2023) lisas tuge suurtele kodumasinale, näiteks külmikutele, pesumasinale, robot-tolmuimejatele ja õhukvaliteedianduritele. Versioon 1.3 (mai 2024) lisas veesoojendid, ahjud, täiendavad kodumasinad ja isegi Matter-over-IP toe meediakontrollile (nn *Matter-casting*). Aasta lõpu Matter 1.4 laiendas standardit veelgi koduse energiamajanduse seadmeteni, nagu päikesepaneelide inverterid, elektriauto laadijad, akud, ning alustati ka nutiruuterite ja suitsuandurite käsitlemisega [29].

See tähendab, et Matteri toetatavate seadmetüüpide valik on nüüd väga lai - alates väikestest anduritest kuni suurte kodumasinateni. Praktikas ei ole kõik tüübid veel reaalses tootevalikus esindatud, kuid paljud tootjad on hakanud olemasolevatele seadmetele tuge lisama või uusi mudeleid välja tooma. Näiteks robot-tolmuimejate uurivad Matteri tuge ning kodumasinatootjad nagu LG ja Samsung kuuluvad Matteri liitu, et tuua Matteri tugi oma toodeteni. Zigbee pakkus ajalooliselt samuti laia seadmetüübi tuge, *Zigbee Cluster Library* hõlmas valgustust, andureid, kodumasinaid jne, ja Matteri andmemudel põhinebki osaliselt Zigbee kontseptsioonidel [27]. Erinevus seisneb aga selles, et Matter kasutab nüüdisaegset IP-võrgustikku, mis võimaldab seadmetel suhelda otse koduvõrgu kontrollrite või telefonidega ilma tootjaspetsiifilise sillata.

5.6 Energiatarbimine

Selles alapeatükis võrreldakse Wi-Fi ja Matter oToWi süsteemide energiatarbimist. Tähelepanu keskmes on see, kui sobilikud on erinevad protokollid patareitoitel töötavate seadmete jaoks ning millist mõju avaldab energiatarbimine süsteemi töökindlusele ja kasutusmugavusele.

5.6.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant)

Wi-Fi on tänapäeval kõige laialdasemalt kasutatav juhtmevaba ühendusprotokoll ka nutikodude kontekstis. Selle eelised hõlmavad head andmeedastuskiirust, laialdast toe

olemasolu ja küpset ökosüsteemi, kuid üheks silmapaistvamaks kitsaskohaks on suur energiatarbimine. Kuna Wi-Fi seadmed on enamasti pidevas ühenduses, vajavad nad rohkem energiat nii andmesideks kui ka võrguühenduse säilitamiseks. See muudab nad ebasobivaks patareitoitega seadmeteks, kui ei rakendata spetsiaalseid energiasäästumeetmeid.

Näiteks on leitud, et tüüpiline Wi-Fi nutipistik võib isegi ooterežiimis tarbida 1,5-2 W energiat, samas kui aktiivses režiimis võib see väärtus märgatavalt suurenda. Wi-Fi moodulid, nagu ESP8266 või ESP32, tarbivad aktiivses andmeside režiimis kuni 300 mA voolu, samas kui ooterežiimis võib tarbimine jääda vahemikku 10-50 mA. Sügavas unerežiimis võib tarbimine küll langeda alla 5 mA, kuid ühenduse taastamine võtab aega ja võib mõjuda seadme reageerimisvõimele [32].

Wi-Fi ruuterid, mis haldavad ühendusi kõigi seadmete vahel, tarbivad keskmiselt 5-20 W, sõltuvalt mudelist ja koormusest. Aastas võib see tähendada energiatarbimist kuni 175 kWh ainult ühe ruuteri kohta [33], mis lisandub kogu süsteemi energiabilansile.

Kokkuvõttes tähendab see, et kuigi Wi-Fi seadmed pakuvad kasutajale suurt paindlikkust ja head ühilduvust, kaasneb sellega suurem elektrikulu ning vajadus hoolikalt hallata energiakasutust, eriti kui tegemist on patareitoitega seadmetega

5.6.2 Matter süsteemid

Erinevalt Wi-Fi protokollist on Matter oToWi välja töötatud spetsiaalselt madala energiatarbimisega seadmete jaoks. Thread põhineb IEEE 802.15.4 standardil ning on mõeldud väikese ribalaiusega, energiasäästlike ühenduste loomiseks. Matter-protokoll lisab sellele tugeva turvalisuse kihi ja standardiseeritud seadmeühendused, säilitades samal ajal minimaalset energiatarbimist.

Thread-võrku ühendatud seadmed suudavad töötada patareitoitel aastaid. Näiteks võivad Matter-andurid, mis saadavad perioodilisi väärtusi, näiteks temperatuuri või liikumist, töötada kahe AA patareiga üle kahe aasta [34]. See saavutatakse tänu efektiivsele võrguprotokollile, mis võimaldab seadmel suure osa ajast viibida unerežiimis ning suhelda ainult vajadusel.

Lisaks kasutab Thread-*mesh*-võrku, kus iga seade võib toimida marsruuterina, kuid ainult vajadusel. Energiatõhususe tagamiseks ei koorma kõik seadmed võrku pideva suhtlusega.

Samuti ei vaja Thread-seadmed pidevat ühendust pilvega, mis vähendab veelgi energiat ning parandab andmete privaatsust ja kohalikku töökindlust.

Matter oToWi seadmed sobivad ideaalselt juhtmevabadele sensoritele ja täituritele, kus oluline on madal energiatarve. Erinevalt Wi-Fi lahendustest on Matter-protokoll ise optimeeritud just taoliste rakenduste jaoks, arvestades nii aku kestvust, töökindlust kui ka turvalisust.

5.7 Erinevate tootjate ülene ühilduvus

Siin käsitletakse seadmete ühilduvust erinevate tootjate vahel ning võrreldakse, kuidas see on lahendatud Wi-Fi ja Matter oToWi süsteemides. Lisaks vaadeldakse võimalusi integreerida olemasolevaid mitte-Matter seadmeid uude ökosüsteemi.

5.7.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant)

Wi-Fi seadmetel on ajalooliselt olnud kehv koostöövõime eri tootjate vahel. Iga tootja pakkus tavaliselt oma äppi või pilveteenust ja kui kasutusel olid seadmeid firmadelt A ja B, ei töötanud need loomulikult koos - neid pidi kas eraldi juhtima või ühendama läbi kolmanda osapoole süsteemi, nagu Home Assistant või Alexa/Google Home. Näiteks enne Matterit ja praegugi veel kasutatakse laialdaselt silte nagu "Works with Alexa" või "Works with Google", mis tähendas, et neid seadmeid saab nimetatud platvormide kaudu juhtida, kuid see juhtus sageli läbi pilve-ühenduse, mitte lokaalselt. Sageli tuli leppida mitme äpiga ja ilma ühtse automatiseerimiseta, kui just ei panustanud palju aega integreerimisse.

5.7.2 Matter süsteemid

Matter muudab selle pildi põhimõtteliselt, pakkudes ühist keelt kõikidele nutikodu seadmetele, sõltumata brändist. Matteri-sertifitseeritud seade tootjalt X võib olla juhitav tootja Y rakenduse või süsteemi kaudu ilma erilise kohandamiseta.

See võimaldab olukorda, mis varem oli peaaegu võimatu: kodus võib olla Samsungi külmik, Google Nest termostaat, Amazoni nutipistik ja Apple HomePod - ja kõik need räägivad omavahel Matteri kaudu või vähemalt suhtlevad ühise kontrolleriaga. Praktikas tähendab see, et kui meeldib Apple Home rakendus, võid sinna lisada kõik Matter-seadmed, isegi need, mis varem toetasid ainult Alexat jne, ning samal ajal saab teine

kasutaja kasutada Google Home rakendust nende samade seadmete juhtimiseks - Matteri *multi-admin* funktsioon võimaldab teadlikult erinevatel platvormidel seadmeid jagada [27].

Selline mitme brändi ja platvormi koostöövõime on tarbija nutikodudes enneolematu. Kasutajate jaoks see "eemaldab ebakindluse ostmisel", võimaldades valida vabalt tootjaid, teades, et need töötavad koos.

5.7.3 Koostöö olemasolevate mitte-Matter seadmetega:

Paljudel tehnoloogialembelistel kasutajatel on juba Zigbee või Z-Wave seadmeid. Matter ei toeta neid protokolle otseselt, kuid võimaldab kasutada silde (*bridges*). Tootjad nagu nt Philips on uuendanud oma Hue huubisid, et need toimiksid Matter-sildadena, mis tähendab, et näiteks Zigbee Hue lambid võivad väljapoole paista kui Matter-seadmed [27]. Matteri spetsifikatsioon toetab ametlikult muude protokollide nagu Zigbee või Z-Wave sildamist tarkvaraliselt. Seega Matteri eri tootjate seadmete vaheline ühilduvus ei piirdu ainult uute seadmetega – see laieneb osaliselt ka vanadele tooteseerialele, kui õiged sillad on paigas. DIY süsteemides saab näiteks Home Assistant täita silla rolli, eksponeerides USB-adapti kaudu lisatud Zigbee seadmeid Matter-võrgus. Võrreldes sellega ei olnud Wi-Fi seadmetel varem ühtset silla kontseptsiooni - iga seade tuli käsitsi integreerida.

Wi-Fi süsteemid pakuvad küll tohutut seadmete mitmekesisust, kuid neil on ajalooliselt olnud kehv loomulik koostöövõime eri tootjate vahel, seda probleemi leevendavad kolmandate osapoolte lahendused, samas kui Matter oToWi pakuvad järjest laienevat seadmete katvust koos sisseehitatud ja loomuliku ristkasutatavusega erinevate tootjate toodete vahel. Zigbee pakkus varem samuti aimu mitme tootja koostööst, näiteks Zigbee ökosüsteemi sees, kuid Matter viib selle sammu võrra kaugemale - võrgu tasemele ja praktiliselt kogu tehnoloogia tööstuse toetusega.

Samal ajal ei ole ka Matter täielikult probleemivaba. Kuigi protokoll lubab ulatuslikku seadmete ühilduvust ja energiatõhusust, siis selle kasutuselevõtt võib mõnes kontekstis olla keerukas või kulukas. Näiteks vajavad Matteri seadmed spetsiifilist riistvara, nagu Threadi tugi ja uute seadmete lisamine olemasolevasse ökosüsteemi võib nõuda värskendusi või täiendavaid sildasid. Samuti on Matteri standard endiselt arenemisjärgus – mitte kõik seadmeklassid ja funktsioonid ei ole veel täielikult toetatud, mistõttu võib

kasutajal tekkida ootuspärase funktsionaalsuse puudujääke võrreldes küpsemate protokollidega nagu Zigbee või isegi Wi-Fi platvormid.

5.8 Paigaldamise ja seadistamise lihtsus

Paigaldamise ja seadistamise lihtsust võrreldakse siin Wi-Fi süsteemide, Tasmota ja Home Assistant ning Matteri lähenemise vahel. Tuuakse välja, millist tehnilist teadlikkust või samme kumbki lähenemine nõuab ning kui kergesti saavad seadmeid kasutusele võtta tavakasutajad.

5.8.1 Wi-Fi süsteemid (Tasmota + Home Assistant)

Wi-Fi nutiseadmete seadistamine võib ulatuda lihtsast "plug-and-play" lahendusest kuni üsna tehnilise tööni, olenevalt sellest, kas kasutatakse seadmeid tehasesätetes või minnakse isetegemise teed. Kui kasutada seadmeid nende algsel kujul koos tootja rakendusega, hõlmab tüüpiline paigaldusprotsess Wi-Fi andmete edastamist Bluetoothi kaudu, seejärel seadme sidumist oma kontoga. See protsess on paljudele tuttav ja toimib hästi, kuid erinevate tootjate rakenduste eraldi kasutamine võib olla tülikas, kui on kasutusel mitmed rakendused.

Kui aga soovitakse integreerida seadmed ühtsesse süsteemi, nagu Home Assistant, siis nõuavad paljud Wi-Fi seadmed täiendavat seadistust. Pilv-pilve integratsiooni jaoks võib vaja minna API võtmete või sisselogimisandmete hankimist ning kohaliku juhtimise puhul, kui see on võimalik, võib olla tarvis tuvastada seadme IP-aadress või lubada LAN-protokoll. Kui kasutada Tasmotaga ümberprogrammeeritud seadmeid, tõuseb seadistamise keerukus veelgi. Kohandatud püsivara paigaldamiseks tuleb seade füüsiliselt lahti võtta, et pääseda ligi programmeerimiskontaktidele, või kasutada OTA meetodit, kui see on saadaval.

Kui Tasmota on seadmesse paigaldatud, hõlmab seadistamine selle ühendamist Wi-Fi võrku ja MQTT seadistuste määramist, et Home Assistant'iga suhelda. Eelisena suudab Home Assistant tänu Tasmota integratsioonile seadmed MQTT kaudu automaatselt tuvastada, mis muudab seadistuse peale püsivara vahetust suhteliselt lihtsaks [18]. Siiski, võrreldes lihtsa tavakasutaja kogemusega, on see sardsüsteemide ja elektroonika alusteadmisi vajav lähenemine. Tänapäeval on olemas ka müüjad, kes pakuvad

eelpaigaldatud Tasmotaga seadmeid, et pakkuda lokaalset juhtimist ka mitte-tehniliste oskustega kasutajatele, lihtsustades paigaldusprotsessi.

Üldiselt võib Wi-Fi-põhine ise koostatud süsteem tähendada mitme komponendi haldamist: MQTT vahendaja, Home Assistant server, vajadusel ka seadmete staatiliste IP aadresside määramist vms. Kõigi nende sammude jaoks on olemas rohkesti dokumentatsiooni ja kogukonna tuge, kuid teatud määral on siiski tegemist hobiprojektiga. Teisalt on tootja pilveteenuse kasutamine alguses lihtsam - piisab rakendusest, kuid hiljem keerukam, kui soovid seadmeid pilvest sõltumatult kasutada, sest tuleb seadistada ühendused või vahetada püsivara.

5.8.2 Matter süsteemid

Matter on loodud selleks, et lihtsustada nutiseadmete lisamist ja seadistamist, võttes arvesse varasemate süsteemide kitsaskohti. Matter-seadme installeerimine on mõeldud kui ühtne ja lihtne protsess: tavaliselt skaneeritakse seadmega kaasas oleva QR-koodi, või sisestad numbrilise koodi, kasutades enda valitud juhtseadet või rakendust.

CSA juhendi kohaselt saad seadistuse alustada nii seadme tootja rakendusest kui ka näiteks Apple Home või Google Home rakendusest - QR-koodi skaneerimise või NFC (*Near Field Communication*) puudutusega; mõnel platvormil tuvastatakse Matter-seade automaatselt ja seadistamine algab kohe. Pole enam vaja iga seadme jaoks eraldi äppi - saab lisada kõik Matter-seadmed ühe ja sama meetodiga. Pärast seadistamist võimaldab Matteri *multi-admin* funktsioon jagada seadet mõne teise rakenduse või ökosüsteemiga ilma vajaduseta uuesti siduda - kõik toimub läbi standardse protsessi [27]. *Multi-Admin* on Matteri protokoll funktsioon, mis võimaldab ühel ja samal seadmel samaaegselt kuuluda mitmesse ökosüsteemi või rakendusse, näiteks Google Home'i, Apple HomeKiti ja Home Assistanti [35] Tavakasutaja jaoks on see suur edasimineku. See muudab protsessi selgemaks ja elimineerib suure osa varasemast vaevast, nagu "kopeeri see võti, kinnita see pilveühendus" jne.

Matter pakub kasutajale *plug-and-play* tüüpi lahendust. Thread-põhiste seadmete puhul toimub taustal veel lisasamm - seadme liitmine Thread-*mesh*-võrku, kuid kasutaja ei pea kanaleid ega võrke käsitsi haldama. Selle eest hoolitsevad *border router* ja seadistamisprotsess. Niipea, kui kodus on olemas *Thread Border Router*, mis, võib olla juba olemas mõnes seadmes, toimub seadme lisamine sujuvalt. Mõnel platvormil saab

Android-telefon, millel on Thread-tugi, või iPhone, saab seadme isegi otse võrguga ühendada [28].

Arvestades, et Matter on uus standard, siis kasutajakogemuse lihtsus paraneb iga uue versiooniga. Esimesed kasutajad kogesid vahel väikeseid probleeme - näiteks ei olnud kõik juhtimisrakendused algversioonides piisavalt stabiilsed ja *multi-admin* funktsioon tekitas segadust. Matteri üldine lähenemine on hästi läbimõeldud ja palju kasutajasõbralikum kui varasemad meetodid. Erinevalt Tasmota protseduuridest ei eelda Matter tavakasutajalt midagi sellist nagu püsivara vahetamine või eraldi MQTT serveri seadistamine - kõik see keerukus on abstraheeritud standardi ja ökosüsteemi kontrollrite poolt.

5.9 Populaarsus ja kogukonna tugi

Siin võrreldakse Wi-Fi ja Matter oToWi süsteemide populaarsust ning kogukonna tuge. Tuuakse välja kasutajabaasi ulatus, tootjate toetus ning see, millist tuge ja arengut pakuvad entusiastide ja arendajate kogukonnad mõlemale lähenemisele.

5.9.1 Wi-Fi (Tasmota + Home Assistant)

Wi-Fi nutikodude lähenemine on olnud aastaid äärmiselt populaarne nii tavakasutajate kui ka entusiastide kogukondades. Tavakasutajate seas on praktiliselt igaüks, kellel on Alexa või Google Nest, kasutanud Wi-Fi nutipistikuid või -pirne. Wi-Fi IoT seadmete koguarv kodudes on tohutu, sadu miljoneid seadmeid üle kogu maailma. Platvormid nagu Tuya Smart Life uhkustavad kasutajaskonna ja suure seadmemudelite valikuga, mis näitab, kui laialdaselt levinud Wi-Fi seadmed on. Tuya Smart Life on ülemaailmne targa kodu platvorm, mis võimaldab juhtida nutiseadmeid nutitelefoniga kaudu, luua automatiseeringuid ilma programmeerimiseta ning ühendada erinevate tootjate seadmeid, mis töötavad Tuya platvormil [36].

DIY-seadmed ja avatud lähtekoodiga lahenduste kogukonnas on lahendused nagu Home Assistant ja Tasmota väga aktiivselt kasutusel. Home Assistant on põhineb ülemaailmsel *tinker*'ite ja DIY-entusiastide kogukonnal ja sellest on saanud vaikumisi platvorm Wi-Fi seadmete ja ka Zigbee, Z-wave jm kohaliku juhtimise jaoks [37]. Tasmota püsivara on avatud lähtekoodiga ja sellel on aktiivne kogukond, mis pakub seadmemalle, veaotsingut ja uusi funktsioone - aja jooksul on toetatud seadmete hulk märgatavalt kasvanud.

Tasmota kohta on olemas foorumid, kus vajadusel kiiresti abi saab. Lisaks, kuna Wi-Fi seadmed kasutavad standardset võrgutaristut, saab tihti tuge ka üldistest võrgufoorumitest probleemide puhul nagu Wi-Fi häired või ruuteri piirangud.

Wi-Fi-põhiste isetegemise lahenduste populaarsust võib kaudselt kajastada Home Assistant'i kasutajaskonna kasv, mis ületas 2023. aastaks miljoni piiri. Arvestatav osa kasutajatest kasutab Home Assistant'is just Wi-Fi seadmeid. Sonoff seadmed on olnud paljudele esimeseks sammuks kodu automatiseerimisel; juhendite ja blogide rohkus Sonoffi ja Home Assistant'i integreerimise kohta näitab, kui tavapärane see kooslus on [38].

Samas on Wi-Fi seadmete tooteseeriad brändide kaupa killustunud, need ei ühildu loomulikult omavahel, välja arvatud juhul, kui kasutada ühendajana nt Home Assistant'i. Just sellist killustatust soovib Matter kaotada.

5.9.2 Matter süsteemid

Matter on võrdlemisi uus, ametlikult käivitatud 2022. aasta lõpus, kuid sellel on enneolematu tööstuse toetus, mis sisuliselt tagab, et kasutajaskond aja jooksul kiiresti kasvab. Kõik suuremad nutikodu tegijad - Apple, Google, Amazon, Samsung ja kümned teised - on andnud Matterile toetuse ja juurutanud selle tuge oma toodetes. 2024. aasta keskpaigaks oli CSA-st saanud "rahvusvaheline kogukond, kuhu kuulub üle 700 tehnoloogiaettevõtte", mis toetavad Matteri-sarnaseid avatud IoT-standardeid [39].

See tähendab, et enamik suuremate brändide seadmeid tulevikus sisaldavad Matteri tuge, kui see on ajakohastatud. Juba 2025. aasta alguseks olid saadaval mitmed Matter-sertifitseeritud seadme - need on kas uued tooted või vanad, mis on saanud püsivarauuenduse, ulatudes pirnidest ja pistikutest ukسلukkude ja teleriteni [30]. See arv kasvab kiiresti, kui uued seadmekategooriad lisanduvad ja vanemad seadmed Matteriga ühilduvaks muudetakse.

Matteri tuntus tarbijate seas on alles algusjärgus - paljud ei pruugi isegi teada, et nende seade "räägib Matterit", vaid lihtsalt, et see "töötab Apple'i / Google'i / Alexa'ga". Kuid praktikas on miljonid seadmed juba saanud Matter toe tarkvarauuenduste kaudu. See pehme integreerimise lähenemine tähendab, et Matter on juba saavutanud märkimisväärse turuosa ilma vajaduseta, et kasutajad peaksid ostma uusi keskusi.

Kogukondliku toe osas on Matteril kaks tahku: kasutajakogukond, inimesed, kes jagavad oma kogemusi Matter seadmetega ja arendajakogukond, kes loovad integratsioone ja tööriistu. Kasutajate poolel toimub Matteri teemaline arutelu näiteks Home Assistant'i foorumis - inimesed katsetavad uut standardit, hindavad, kui hästi töötab mitme-ökosüsteemi tugi, tuvastavad praegused piirangud ja dokumenteerivad need. Arendajate poolel on Matteri SDK avatud lähtekoodiga, seega on selle arendus koostööpõhine - kaasalööjaid leidub nii suurtest ettevõtetest kui hobiarandajate seast. Näiteks Nabu Casa (Home Assistant'i arendajad) on CSA liikmed ja annavad panuse otse; Home Assistant ise sai Matter-sertifitseeritud kontrolleriiks juba 2025. aastal [40], mis näitab, et avatud lähtekoodiga kogukond on tihedalt kaasatud.

Arvestades, et peaaegu iga suurem tootja toetab Matteri standardit või on selle juba kasutusele võtnud, on tõenäoline, et mõne aasta pärast ei räägi tarbijad enam Matterist nimepidi - nad lihtsalt eeldavad, et seadmed töötavad koos, ja see eeldus tuleneb asjaolust, et Matter "töötab taustal". Populaarsuse mõttes katavad Wi-Fi seadmed tänaseks kodusid rohkem kui Matter, lihtsalt seetõttu, et need on kauem olnud olemas, kuid Matteri kasutuselevõtt on järsk ja tugevalt kasvav [41].

5.10 Võrdlustabel

Analüüsitud näitajate põhjal koostati võrdlustabel, mis aitab kokkuvõtlikult hinnata Wi-Fi-põhiste süsteemide (Tasmota + Home Assistant) ja Matter oToWi lahenduste tugevusi ja nõrkusi (vt Tabel 1). Tabel põhineb eelmistes alapeatükkides käsitletud teemadel ning annab kiire ülevaate sellest, kuidas kaks erinevat tehnoloogiat vastavad nutikodude võtmekriteeriumidele.

Tabel 1. Valiku aluseks olnud uuritud näitajate lühendatud kokkuvõte

Valik-võrdluse näitaja	Wi-Fi-põhised süsteemid, Tasmota + Home Assistant	Matter oToWi
Turvalisus	Väga hea, kui kasutatakse lokaalset kontrolli ja turvameetmeid.	Väga kõrge – krüpteeritud punktist-punkti suhtlus, seadmete sertifitseerimine, PKI-autentimine.
Lokaalne või pilvepõhine	Vaikimisi pilvepõhine, kuid saab seadistada täielikult lokaalseks.	Lokaalne vaikimisi, pilv on valikuline ja lisatakse ainult vajadusel.

Valik-võrdluse näitaja	Wi-Fi-põhised süsteemid, Tasmota + Home Assistant	Matter oToWi
Keskse kontrolleri-juhtseadme (huubi) vajadus	Vajalik Home Assistant või muu tarkvara, kuid pole vaja eraldi füüsilist huubi.	Vajalik kontrolleri, näiteks Home Assistant või telefon. Thread-võrgus peab olema <i>Border Router</i> .
Seadmete hind	Madal, eriti ESP8266/ESP32 baasil seadmed.	Keskmine kuni kõrge – uued seadmed vajavad sertifitseerimist ja paremat riistvara, hinnad langevad.
Seadmetüüpide mitmekesisus	Väga lai valik - pirnid, pistikud, andurid, kaamerad, kodumasinad, kuid killustatud protokollid.	Kiiresti kasvav tugi – alates anduritest kuni suurte kodumasinateni, ühtne standard tagab koostalitluse.
Tootjate ülene ühilduvus	Halb ilma kolmanda osapoole kontrolleri, näiteks Home Assistant.	Väga hea – erinevad brandid suhtlevad omavahel tänu Matter-standardile ja <i>multi-admin</i> toele.
Installatsiooni lihtsus	Algajale keerukas, vajab püsivara vahetust, MQTT seadistust, kogukonna tuge palju.	Väga lihtne – QR-koodiga sidumine, ühtne ja standardiseeritud protsess, <i>multi-admin</i> .
Populaarsus ja tugi	Väga populaarne, suur kogukond, näiteks Home Assistant, Tasmota, Tuya, foorumid.	Tõusev – tööstuse laialdane toetus, kasvav seadmevalik ja arendajate kogukond.
Energiasäästlikkus	Suhteliselt kõrge energiatarbimine, ei sobi hästi patareiseadmetele.	Väga energiatõhus – sobib ideaalselt akutoitel anduritele, pikk tööiga Thread-võrgus.

6 Wi-Fi ja Matter tehnoloogiate võrdlev kasutus Home Assistant'is

Käesolevas peatükis käsitletakse nutikodu lahenduste praktilist rakendamist kahe erineva tehnoloogilise lähenemise kaudu. Esiteks uuritakse, kuidas integreerida Wi-Fi põhiseid seadmeid, mis on varustatud avatud lähtekoodiga Tasmota püsivaraga, kasutades MQTT protokolliga ja Home Assistant platvormi. Seejärel keskendutakse Matter-protokolliga töötavate seadmete kasutamisele, mis suhtlevad Thread või Wi-Fi võrgu kaudu.

Mõlema süsteemi seadistamine ja kasutamine dokumenteeritakse samm-sammult ning lõpuks võrreldakse saadud kogemusi ja tuuakse välja kumb lahendus sobib paremini koduseks kasutamiseks.

6.1 Wi-Fi põhiste seadmete kasutamine

Selles osas kirjeldatakse Wi-Fi põhiste Sonoff seadmete kasutamist praktilises projektis. Sonoff'i aga ka mitmete teiste tootjate tooteseriates on soodsaid seadmeid, mida saab edukalt ümber programmeerida Tasmota püsivaraga. Töö käigus valiti mitu erineva funktsionaalsusega seadet, mis võimaldas katsetada nii lihtsat lülitust kui ka andurite käsitlemist.

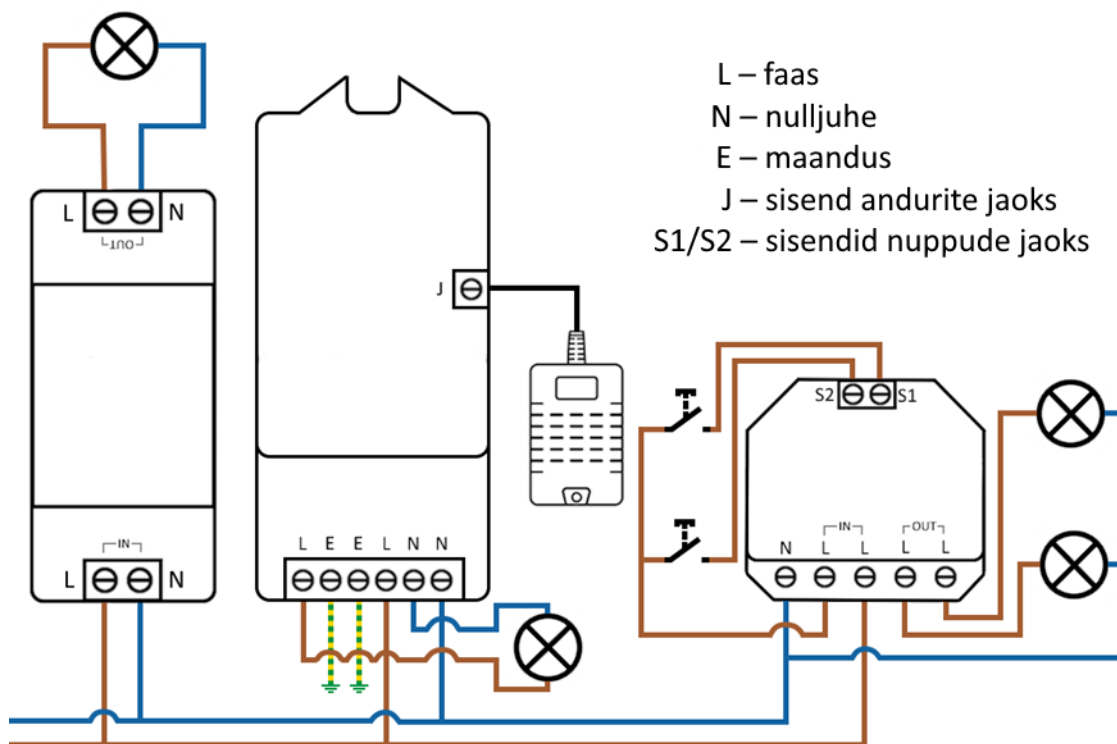
Siin kirjeldatakse detailsemalt ümberprogrammeerimise protsessi, sh ühendumist RX/TX kaudu, Tasmota püsivara üleslaadimist ning seadmete võrguseadistused. Samuti tuuakse välja MQTT protokolliga kasutuselevõtt ning seadmete integreerimine Home Assistant'i. Eraldi käsitletakse ka esinenud tehnilisi probleeme ja nende mõju praktilisele tööle.

6.1.1 Kasutatud seadmed

Ümberprogrammeerimiseks kasutati järgmised seadmed (vt Joonis 4):

- Sonoff Basic R2 – kuni 10A koormusega Wi-Fi lüliti;
- Sonoff Basic R3 – uuendatud versioon parema konstruktsiooni ja paigaldusvõimalustega;
- Sonoff TH10 koos välistemperatuuri ja -niiskuse anduriga – võimaldab saada keskkonnatingimuste andmeid;

- Sonoff SF-DUAL R3 – kahekanaliline lüliti, võimaldab iseseisvalt juhtida kahte elektritarvitit ja sisaldab energiatarbe jälgimist.



Joonis 4. Seadmed: Basic R2/R3 (vasakul), TH10 (keskel), SF-DUAL R3 (paremal)

Need seadmed on kergesti kättesaadavad ja mugavad ümberprogrammeerimiseks ning integreerimiseks Home Assistant'i, võimaldades lahendada valikut targa kodu automatiseerimise ülesandeid.

6.1.2 Ümberprogrammeerimise protsess

Seadmete püsivara muutmiseks on vaja, et tootja on jätnud seadme trükkplaadile juurdepääsu võimalused mikrokontrolleri ümber programmeerimiseks. Tasmota püsivara on üks populaarsemaid lahendusi ESP8266 ja ESP32 põhiste seadmete jaoks, tänu oma lihtsale seadistusele. Tasmota kasutamine võimaldab seadmeid hõlpsasti integreerida automatiseerimissüsteemi, vältides samas tootja pilvepõhiseid lahendusi.

Ümberprogrammeerimine viidi läbi standardmeetodil järgmiste komponentide abil:

- USB-UART adapter: DEV-15096 (FT232RL põhjal) (vt Joonis 5);
- Ühendusjuhtmed: standardsed Dupont "male-male" juhtmed;
- Tarkvara: ESP-Home-Flasher Windowsi jaoks.



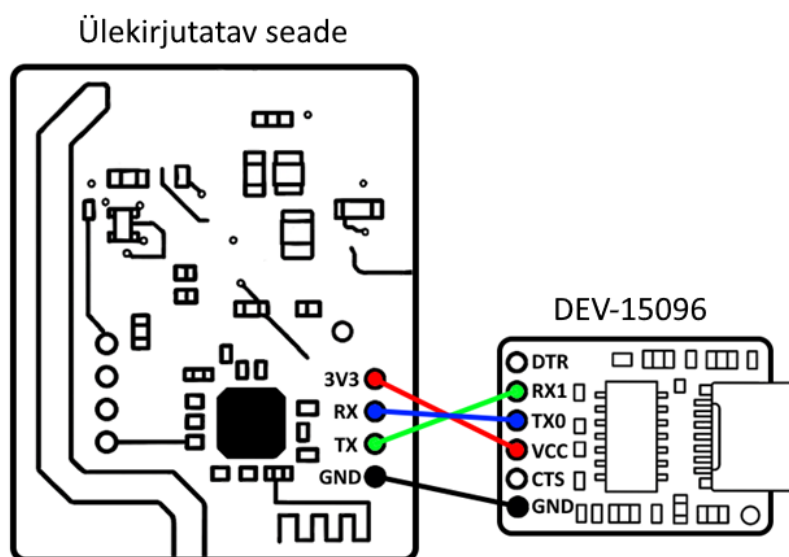
Joonis 5. USB-UART adapter DEV-15096 [42]

Ümberprogrammeerimise protsess toimus Tasmota ametliku veebilehe juhendi järgi, kus kogu ülekirjutuse ja esialgse seadistamise protsess on detailselt lahti kirjutatud [43], [44], [45], [46].

Protsess toimus järgmiste sammude kaupa. Esiteks, Tasmota ametlikult veebilehelt laaditi alla viimane stabiilne versioon püsivarast:

- ESP8266 kontrolleri seadmete puhul kasutati standardset püsivara tasmota.bin [47].
- Sonoff TH10 puhul kasutati spetsiaalset versiooni tasmota-sensors.bin, millel on andurite tugi [47].
- ESP32 kiibil põhinevate seadmete puhul kasutati tasmota32.bin versiooni [48].

Pärast vajaliku püsivara allalaadimist tuli kõigepealt õigesti ühendada juhtmed USB–UART adapteriga vastavalt ühendusskeemile: VCC, GND, RX, TX (vt Joonis 6). Seejärel ühendati vastavad juhtmed seadme vastavate kontaktidega (vt Joonis 7).

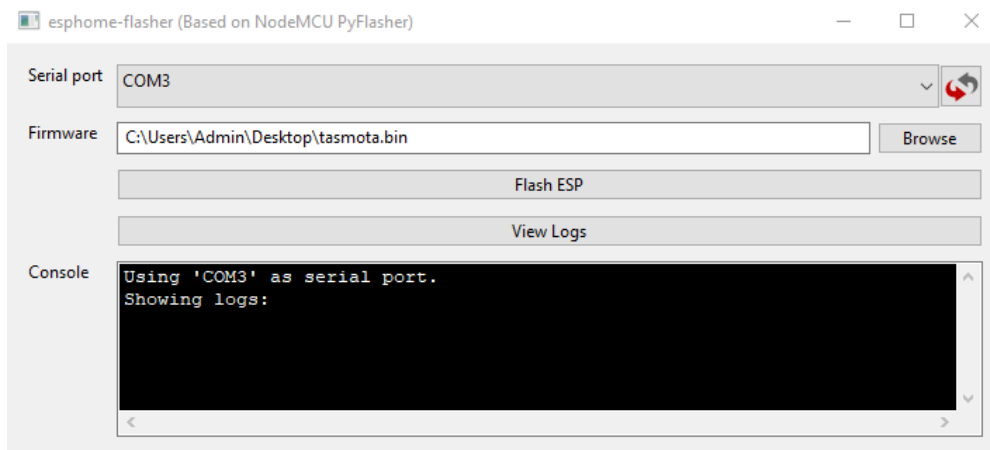


Joonis 6. Juhtmete ühendamine adapteriga DEV-15096



erimiseks oli vajalik sobiv tööriist. V

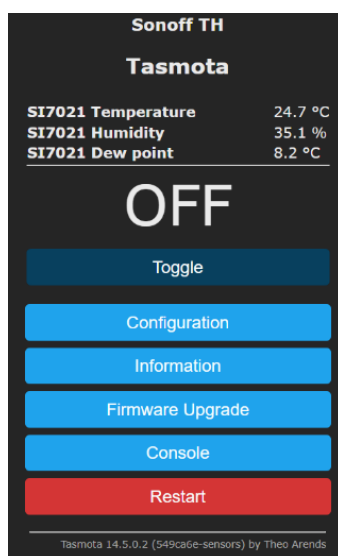
- Valiti sobiv COM-port, millega adapter DEV-15096 oli ühendatud;
- Määrati arvutist varem alla laaditud püsivara fail (nt tasmota.bin, tasmota-sensors.bin või tasmota32.bin);
- Vajutati nupule "Flash ESP", et alustada ülekirjutamist;
- Ülekirjutamise ajal jälgiti logi programmi alumises aknas — see võimaldas veenduda, et püsivara edastamine toimub korrektselt ja seade vastab.



Joonis 8. ESP Home Flasheri kasutajaliides

Edukalt õnnestus ümber programmeerida ja täielikult Wi-Fi võrku ühendada järgmised seadmed: Basic R2, Basic R3 ja TH10. Sonoff SF-DUAL R3 seadmel ei lülitunud Wi-Fi pärast ümberprogrammeerimist sisse, mistõttu ei olnud võimalik jätkata seadistamist ja ühendamist. See probleem võib olla seotud ESP32 kiibi eripäradega ning vajab täiendavat uurimist ja silumist.

Pärast edukalt ümberprogrammeeritud seadmete protsessi lõppu viidi läbi nende töö kontrollimine Tasmota veebiliidese kaudu. Iga seadme jaoks valiti korrektne moodulitüüp ning testiti seadme töövõimekust koormuse sisse- ja väljalülitamise teel veebiliidese kaudu. Sonoff TH10 seadme jaoks valiti ja testiti lisaks temperatuuri- ja niiskusandurit (vt Joonis 9).



Joonis 9. Temperatuuri ja niiskuse anduri TH10 andmed Tasmota veebiliidises

Seega olid kõik edukalt ülekirjutatud seadmed täielikult valmis edasiseks integreerimiseks Home Assistant'iga.

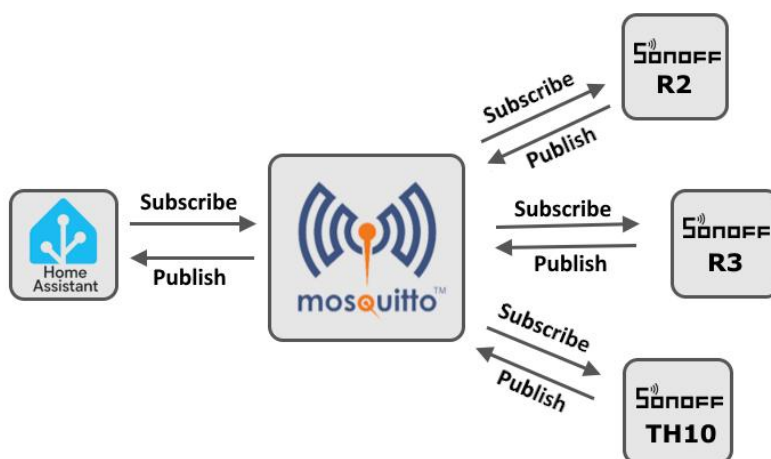
6.1.3 Home Assistant ja MQTT protokoll

Seadmete integreerimiseks Home Assistant'iga kasutati juba valmis serverit, mis oli paigaldatud õppelaboris üheplaadikompuutrile Raspberry Pi 3B (vt Joonis 10). Sellele oli eelnevalt paigaldatud operatsioonisüsteem Home Assistant OS, mis võimaldas kohe alustada komponentide seadistamisega.



Joonis 10. Raspberry Pi 3B, kus on paigaldatud Home Assistant OS server

Seadmete integreerimiseks kasutati protokoll MQTT, kuna see on lihtne, töökindel ja ressursisäästlik lahendus, mis sobib hästi nii Tasmota püsivaraga seadmete kui ka Home Assistant'i platvormiga [49]. Home Assistant ja Tasmota püsivaraga seadmed vahetavad andmeid MQTT protokollu kaudu, kasutades *publish-subscribe* mudelit. Nagu on näha Joonisel 11, iga Sonoff seade publitseerib oma oleku kindlasse MQTT-teemasse ja tellib käske teistest teemadest, mille kaudu Home Assistant saadab juhtimissignaale.



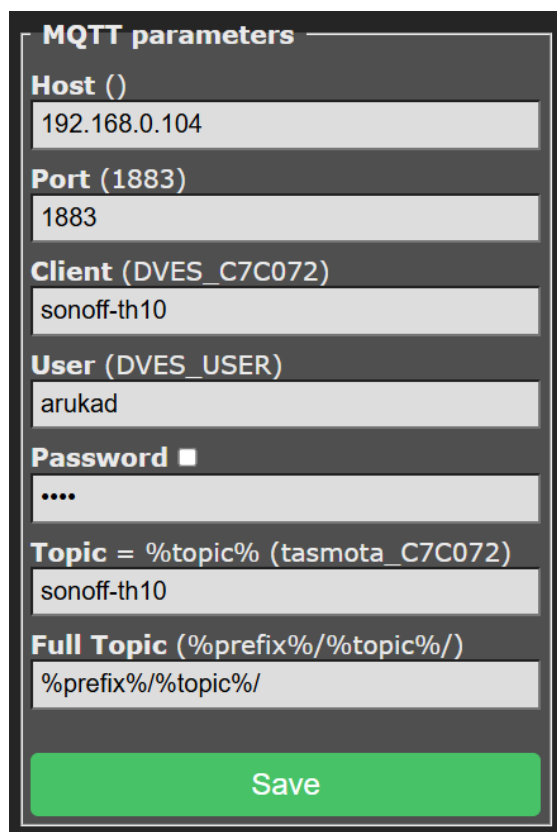
Joonis 11. Sonoff seadmete ja Home Assistant'i vaheline suhtlusskeem MQTT kaudu

MQTT-maakleriks (MQTT *broker*) valiti Home Assistant'i sisse ehitatud Mosquitto. Mosquitto *brokeri* seadistamiseks tuli Home Assistant'is integratsioonide menüü kaudu paigaldada lisamoodul Mosquitto *broker*.

6.1.4 MQTT seadistamine Tasmota püsivaras ja lisamine Home Assistant'i

Pärast Mosquitto MQTT-*brokeri* paigaldamist Home Assistant'i keskkonda tuli seadistada MQTT-protokolli tugi iga Tasmota seadme tasandil. Vastav seadistus viidi läbi seadmete sisseehitatud veebiliidese kaudu (vt Joonis 12). Konfigureerimisel kasutati alljärgnevat seadistusskeemi:

- *Host* – Home Assistant'i IP-aadress (Mosquitto *broker*'iga);
- *Port* – vaikesi port 1883;
- *Client ID* – iga seadme unikaalne nimi (näiteks sonoff-th10);
- *User/Password* – varem loodud Home Assistant kasutaja andmed;
- *Topic* – individuaalne teema iga seadme jaoks, et lihtsustada juhtimist ja identifitseerimist (näiteks sonoff-th10);



MQTT parameters

Host ()
192.168.0.104

Port (1883)
1883

Client (DVES_C7C072)
sonoff-th10

User (DVES_USER)
arukad

Password ■
....

Topic = %topic% (tasmota_C7C072)
sonoff-th10

Full Topic (%prefix%/%%topic%/)
%prefix%/%%topic%/

Save

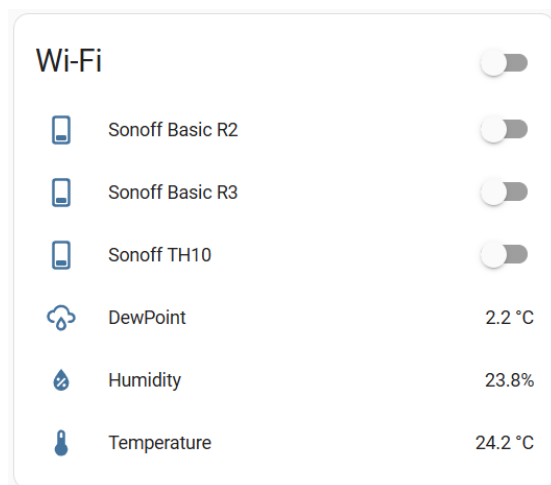
Joonis 12. MQTT seadistamine Tasmota veebiliideses

Pärast vastavate seadistuste salvestamist tuvastas Home Assistant seadmed automaatselt tänu Tasmota integratsiooni ja MQTT Discovery funktsiooni olemasolule. Seetõttu ei olnud vajadust seadmeid käsitsi lisada läbi YAML-konfiguratsioonifailide.

Järgmisena kontrolliti seadmete liidestamise õigsust ning nende funktsionaalset töökindlust Home Assistant'i keskkonnas. Testimisel hinnati järgmist:

- Iga seadme juhtimine läbi Home Assistant'i kasutajaliidese — lülitite puhul kontrolliti reaalajas reageerimist sisselülitus- ja väljalülituskäskudele;
- Sonoff TH10 seadme puhul jälgiti temperatuuri- ja niiskusandurilt edastatavaid väärtusi ning nende reaalajas uuendamist süsteemis (vt Joonis 13);
- Kontrolliti, et seadmed oleksid korrektselt nähtavad koondpaneelil ja et kõik MQTT kaudu edastatud andmed jõuaksid Home Assistant'ini ilma viivituse või tõrgeteta (vt Joonis 13).

Testimise tulemusel kinnitati, et kõik seadmed integreerusid edukalt ning töötasid ootuspäraselt Home Assistant'i süsteemis.



Joonis 13. Seadmete olek ja andmed Home Assistant'i koondpaneelil

6.2 Matter seadmete kasutamine

Koduses nutivõrgus rakendati Matter oToWi protokoll. Praktilise testimise eesmärgil kasutati Ledvance nutiseadmeid — pirnid ja pistikud — mis toetavad Matterit ja on varustatud QR-koodiga, et lihtsustada seadistamist.

Süsteemis kasutati olemasolevat Samsung SmartThings Hub'i, millel on *Thread Border Router*'i tugi, et võimaldada Matter-seadmete ühendamist Home Assistant platvormiga. Järgnevalt kirjeldatakse, kuidas seadistati Matter-server, kuidas seadmed lisati süsteemi ning kuidas testiti nende juhtimist Home Assistant'ist.

6.2.1 Kasutatud seadmed

Matter-protokolli praktiliseks katsetamiseks kasutati Ledvance'i nutiseadmeid, mis vastavad Matter-standardile ja sobivad targa kodu baasfunktsioonide testimiseks. Oli kasutatud Ledvance Smart+ Plug – nutipistik, mis võimaldab tavalise elektriseadme kaugjuhtimist ja automatiseerimist ja Ledvance Smart+ Bulb – E27 sokliga LED-lamp, mille valguse saab sisse ja välja lülitada, heledust reguleerida ja elektrikulu mõõta (vt Joonis 14).

Nii pistikutel kui ka pirnidel oli kaasas unikaalne QR-kood, mis on vajalik Matter-võrguga turvaliseks liitumiseks. Koodid olid trükitud kasutusjuhendi siseküljele. Seadmeid ei olnud vaja ümber programmeerida ega konfigureerida enne kasutuselevõttu – need olid tehases seadistatud töötama Matter-protokolli kaudu ja valmis lisamiseks vastavasse Home Assistanti.



Joonis 14. Ledvance Matter-seadmed: Smart+ Plug (paremal), Smart+ Bulb (vasakul)

Valitud seadmed võimaldasid testida Matteri seadistamise, ühendamise ja juhtimise põhiprotsesse Home Assistant'is.

6.2.2 Home Assistant'i ja Thread-võrgu seadistamine

Pärast seadmete valikut tuli need ühendada Home Assistant'iga. Nagu töö teoreetilises osas analüüsitud, vajab Matter-protokoll lokaalses võrgus töötamiseks *Thread Border Router*'it, mis tagab ühenduse Thread-mesh-võrgu ja koduse IP-võrgu vahel. Käesoleval juhul kasutati selleks Samsung SmartThings Hub'i, mis oli olemas praktikumiruumis (vt Joonis 15). Tegemist on kommertstoega seadmega, millel on tugi nii Zigbee, Z-Wave,

BLE kui ka Thread protokollile ning mis võimaldab Matter-seadmete ühendamist Home Assistant'iga ilma vajaduseta kasutada pilveteenuseid.

Lisaks kaaluti alternatiivina Sonoff Zigbee 3.0 USB Dongle E kasutamist, mis ühendatakse Raspberry Pi USB-pressa. Originaalseadistuses toetab see ainult Zigbee-protokolli, kuid tonglit sai üsna lihtsalt ümber programmeerida, et see töötaks ainult Thread-režiimis või samaaegselt nii Zigbee kui ka Thread protokollidega. Sellisel juhul võib Zigbee Dongle E toimida *Thread Border Router*'ina, mis võimaldab samuti Matter-seadmete ühendamist otse Home Assistanti. Siiski otsustati antud projekti raames kasutada Samsung SmartThings Hub'i, kuna see oli juba praktikumiklassis olemas ja võimaldas kohe alustada seadistamisega.



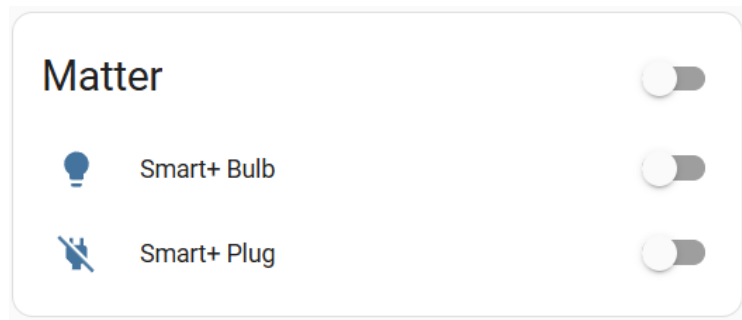
Joonis 15. Samsung SmartThings Hub Thread Border Router'ina

Selleks, et Home Assistant saaks Matter-seadmeid hallata, tuli esmalt seadistada Matter-protokolli tugi süsteemis.

Matter-serveri komponendiks valiti Home Assistant'i ametlik lisamoodul `matter_server`. Paigaldamiseks tuli avada Home Assistant'i seadistuste menüüst Integratsioonid ning lisada vastav moodul. Paigaldatud `matter_server` täidab Matter-kontrolleri funktsiooni ning võimaldab Home Assistant'il suhelda Matter-seadmetega vastavalt CSA Matter standardile. Integratsiooni lisamine toimus automaatselt — pärast `matter_server` komponendi paigaldamist tuvastas Home Assistant Matteri integratsiooni ise ning suunas kasutaja läbi esmase seadistusprotsessi.

Pärast Matter toe aktiveerimist tuli seadmed süsteemiga siduda. Selleks kasutati mobiilirakendust Home Assistant Companion, mis oli paigaldatud nutitelefonil. Rakendusesisese kaameraga skaneeriti QR-koodid, mis asusid Ledvance nutipirni ja

pistiku kasutusjuhenditel. Pärast koodi skaneerimist käivitus automaatselt seadmete lisamise protsess, mis kestis vaid mõned sekundid. Mõlemad seadmed lisandusid edukalt Home Assistanti liidesesse, kus neile määrati automaatselt nimed ja põhilised juhtimisvalikud (vt Joonis 16).



Joonis 16. Edukalt lisatud Matter-seadmed Home Assistant'i liideses

6.3 Loodud automatiseerimislahenduste testimine ja võrdlus

Antud töös loodi ja testiti automatiseerimisi mõlemat tüüpi seadmete jaoks: Wi-Fi seadmetele Tasmota püsivaraga ja Matter-protokolli seadmetele Thread-võrgu kaudu. Automatiseerimised loodi Home Assistanti platvormi sisseehitatud Automation UI kaudu.

6.3.1 Tasmota seadmete automatiseerimise loomine

Automation UI graafilise liidese abil loodi automatiseerimine, mis lülitab sisse ventilaatori, mis on ühendatud Sonoff Basic R2 seadmega ja lülitab välja õhukütteseadet, mis on ühendatud Sonoff Basic R3 seadmega, kui Sonoff TH10 temperatuurisensor mõõdab temperatuuri üle 25°C. Kui temperatuur langeb alla 20°C, siis lülitatakse välja ventilaator, mis on ühendatud Sonoff Basic R3 seadmega.

Esimene automatiseerimine koosnes järgmistest sammudest (vt Joonis 17):

- Päästik (*trigger*): Sonoff TH10 seadme temperatuurianduri olek;
- Tingimus (*condition*): temperatuur ületab 25°C;
- Tegevus 1 (*action*): Sonoff Basic R2 kaudu ühendatud ventilaatori sisselülitamine;
- Tegevus 2 (*action*): Sonoff Basic R3 kaudu ühendatud õhukütteseade väljalülitamine.

Teine automatiseerimine koosnes järgmistest sammudest (vt Joonis 17):

- Päästik (*trigger*): Sonoff TH10 seadme temperatuurianduri olek;
- Tingimus (*condition*): temperatuur langeb alla 20°C;
- Tegevus 1 (*action*): Sonoff Basic R2 kaudu ühendatud ventilaatori väljalülitamine;

The image shows two side-by-side automation rule configuration screens. Each screen has three main sections: 'When', 'And if (optional)', and 'Then do'. The left screen (labeled 'Esimene') has a trigger 'Sonoff TH SI7021 Temperature temperature changes', a condition 'Current Sonoff TH SI7021 Temperature temperature', and two actions: 'Turn on Sonoff R2' and 'Turn off Sonoff R3'. The right screen (labeled 'Teine') has the same trigger and condition, but the action is 'Turn off Sonoff R2'. Both screens have buttons to 'ADD TRIGGER', 'ADD CONDITION', 'ADD ACTION', and 'ADD BUILDING BLOCK'.

Joonis 17. Esimene (vasakul) ja teine (paremal) automatiseerimised Wi-Fi seadmetega

6.3.2 Matter-seadmete automatiseerimise loomine

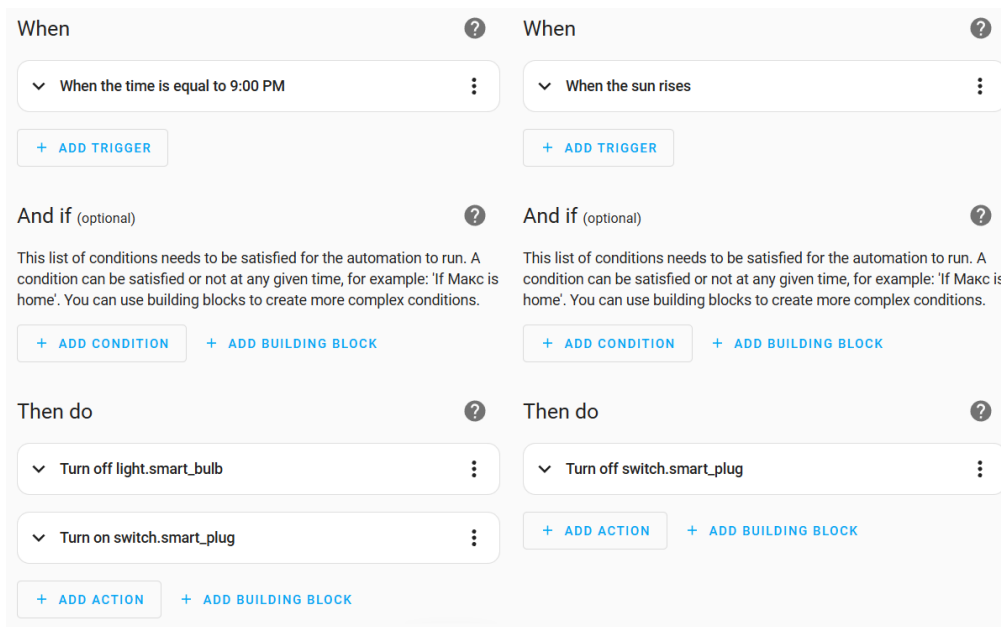
Matter seadmete jaoks realiseeriti näiteks automatiseerimine, mis igapäevaselt kell 21:00 lülitab sisse nutipistiku Ledvance Plug, millega on ühendatud näiteks öölamp, ning samal ajal lülitab välja nutipirni Ledvance Bulb, mis näiteks on toa peamine valgusallikas. Kui päike tõuseb, siis lülitub välja nutipistiku Ledvance Plug, kus on ühendatud öölamp.

Esimene automatiseerimine koosnes järgmistest sammudest (vt Joonis 18):

- Päästik (*trigger*): kellaeg – iga päev kell 21:00 (9 PM);
- Tegevus 1 (*action*): nutipistiku Ledvance Plug sisselülitamine;
- Tegevus 2 (*action*): nutipirni Ledvance Smart Bulb väljalülitamine.

Teine automatiseerimine koosnes järgmistest sammudest (vt Joonis 18):

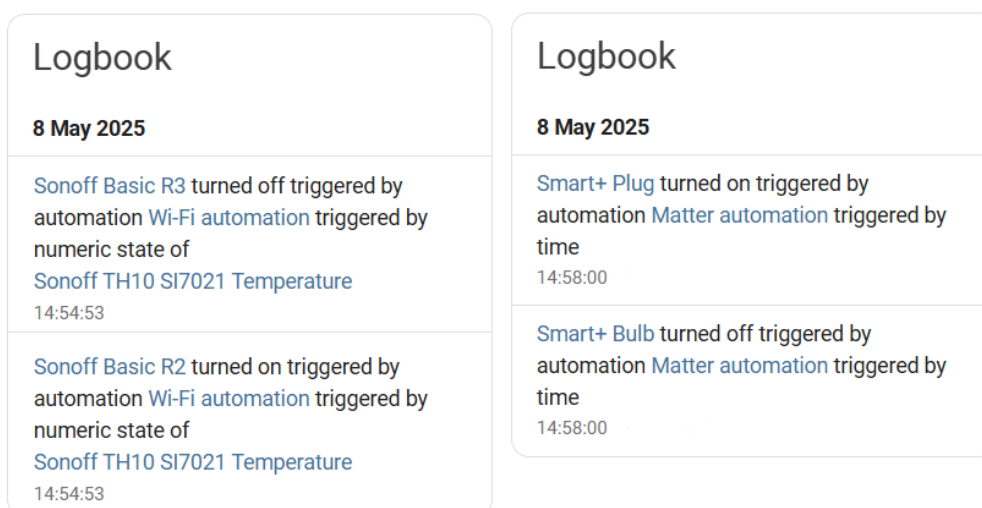
- Päästik (*trigger*): päikesetõus – iga päev kui päike tõuseb (arvutatakse geograafiliste koordinaatide ja jooksva kuupäeva alusel);
- Tegevus 1 (*action*): nutipistiku Ledvance Plug väljalülitamine.



Joonis 18. Esimene (vasakul) ja teine (paremal) automatiseerimised Matter seadmetega

6.3.3 Automatiseerimislahenduste testimise tulemused

Kõiki automatiseerimisi testiti praktilisel teststendil. Testimise tulemusel saadi järgmised järeldused, et kõik automatiseerimised töötasid korrektselt ja täitsid täpselt etteantud ülesandeid. Home Assistanti logid registreerisid kõik automatiseerimised, mis võimaldab jälgida seadmete seisundit ja sündmusi. Seadmed reageerivad praktiliselt hetkega automatiseerimistingimustele, märgatavaid viivitusi ei esinenud (vt Joonis 19). Automatiseerimised taastusid stabiilselt ja jätkasid korrektselt tööd ka pärast süsteemi taaskäivitamist.



Joonis 19. Seadmete välja ja sisse lülitava logid Home Assistanti'is

6.4 Praktilise kogemuse võrdlus

Töös kahe süsteemiga ilmneseid mitmed erinevused mugavuse ja keerukuse osas.

Wi-Fi seadmete kasutamisel koos Tasmota püsivaraga osutus peamiseks takistuseks vajadus seadmed füüsiliselt ümber programmeerida. See nõudis RX/TX kontaktide kaudu ühendamist adapteriga, püsivara laadimist ning MQTT-protokolli seadistamist. Lisaks oli vaja Home Assistant'i käsitsi konfigureerida, paigaldada MQTT *broker* ning omada teadmisi kohaliku võrgu tööpõhimõtetest. Kuigi protsess on hästi dokumenteeritud ja kogukonna poolt toetatud, eeldab see tehnilisi oskusi. Täiendavaks raskuseks oli asjaolu, et ühel seadmel lakkas pärast ümberprogrammeerimist töötamast Wi-Fi moodul, mistõttu ei saanud seda projekti raames edasi kasutada.

Matter-seadmed seevastu olid kasutamiseks valmis kohe karbist välja võttes. Tänu QR-koodile ja Thread toe olemasolule (SmartThings Hub'i kaudu) oli seadmete lisamise protsess kiire ja ei nõudnud sisuliselt mingit käsitsi seadistamist. Siiski esines esmakordsel lisamisel raskusi, kuna Matteri tugi Home Assistant'is on alles arenemisejärgus. Samuti ei ole kõik funktsioonid (nt keerukam automatiseerimine või täpsed seaded) koheselt kättesaadavad.

Automatiseerimise seisukohalt olid erinevused Wi-Fi (Tasmota) ja Matter seadmete vahel minimaalsed. Mõlemal juhul seadistatakse automatiseerimine otse Home Assistant'i liideses, kasutades sisseehitatud Automation UI tööriista, mis teeb protsessi arusaadavaks ja mugavaks igasuguse kogemustasemega kasutajale. Testimise käigus reageerisid automatiseerimised sündmustele kiiresti ega põhjustanud seadistamisel raskusi.

Üldiselt osutus Matter oToWi lähenemine kaasaegsemaks ja tavakasutaja jaoks mugavamaks: kiire seadistamine, sõltumatus pilvest, suur ühilduvus ja energiatõhusus. Samas pakuvad Tasmota püsivaraga Wi-Fi seadmed rohkem paindlikkust ja kontrolli neile, kes soovivad seadmete loogikat detailsemalt ise määrata ega pelga käsitsi seadistamist.

Õppetöö praktikumis kasutamiseks on vaja seadmete komplekti juurde lisada võimalikult lihtsalt lülituspõhjuseid anda võimaldavaid moduleid (nt lülituspulte, seinalüliteid vms), et vältida appi kasutamise ja hübriid lahendusena olemasolevate Zigbee pultide vajadust.

Seega sobib Matter paremini kasutajatele, kellel puuduvad sügavamad tehnilised teadmised, samas kui Wi-Fi + Tasmota lahendus on sobivam entusiastidele ja arendajatele tänu oma avatusele ja laiendatavusele.

7 Kokkuvõte

Töö käigus viidi läbi põhjalik teoreetiline ja praktiline hindamine kahe erineva lähenemisviisi kohta nutikodu ülesehitamisel: Tasmota püsivaraga Wi-Fi seadmete ning kaasaegsete Matter over Thread või over Wi-Fi standardil põhinevate seadmete kasutamine. Töö eesmärgiks oli võrrelda Tasmota püsivaraga Wi-Fi seadmete ja Matter oToWi seadmete võimalusi, hinnates nende seadistamise ja Home Assistant platvormiga integreerimise lihtsust.

Läbiviidud võrdlev analüüs näitas, et Tasmota püsivara pakub kõrget autonoomsust ja paindlikkust, eriti pilveteenustest loobumise ja lokaalse juhtimise realiseerimise kontekstis. Samas nõuab see lähenemine sügavamat tehnilist ettevalmistust ega pruugi olla sobiv algajatele kasutajatele. Matter over Thread või over Wi-Fi seadmed seevastu paistavad silma seadistamise lihtsuse, kõrge ühilduvuse ning perspektiivikusega masskasutuseks, eriti hariduslikes ja kodustes rakendustes.

Töö käigus teostati Wi-Fi seadmete püsivara vahetamine Tasmota vastu, integreeriti nii Tasmota- kui ka Matter-seadmed Home Assistant keskkonda, loodi automatiseeringud ilma programmeerimiseta kasutades sisseehitatud Automation UI liidest ning uuendati füüsiline õppe stand. Tänu sellele õnnestus mitte ainult analüüsida mõlema tehnoloogia peamisi omadusi, vaid ka demonstreerida neid reaalses olukorras.

Seega on õppetöö eesmärkidel optimaalne lähenemine mõlema tehnoloogia kombineerimine. Tasmota seadmed võimaldavad süvitsi uurida võrgusuhtlust, lokaalset juhtimist ja püsivara seadistamist, samal ajal kui Matter seadmed pakuvad kiiret ja visuaalset viisi nutikodu realiseerimiseks, rõhutades kaasaegseid tööstusstandardeid.

Edaspidi võiks tööd laiendada nutikodu süsteemi automatiseerimisloogika keerukuse kasvatamise ja erinevate juhtimisplatvormide, näiteks Node-RED või YAML-koodi kasutamine, võrdlemise suunas. Üheks paljulubavaks suunaks on ka masinõppe rakendamine, et kohandada seadmete käitumist automaatselt vastavalt kasutaja harjumustele ja keskkonnatingimustele.

Kasutatud kirjandus

- [1] S. S. Kinza Yasar, „Smart Home Definition “. Vaadatud: 5. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/smart-home-or-building>
- [2] Ruslan Diachenko, „Top 7 Smart Home Protocols Compared“. Vaadatud: 5. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://lembergsolutions.com/blog/smart-home-protocols-explained>
- [3] Adam Davidson, „What is Home Assistant, how does it work, and what do you need to get started?“ Vaadatud: 9. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.pocket-lint.com/what-is-home-assistant-how-does-it-work/>
- [4] „Which SONOFF smart switch should you choose?“ Vaadatud: 9. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.wbnet.eu/en/blog/which-sonoff-smart-switch-should-you-choose>
- [5] „DIY Smart Switch“. Vaadatud: 15. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sonoff.tech/product/diy-smart-switches/basicr2/>
- [6] „S26 Wi-Fi Smart Plug“. Vaadatud: 15. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sonoff.tech/product/smart-plugs/s26/>
- [7] „SONOFF MINIR2“. Vaadatud: 15. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sonoff.tech/product/diy-smart-switches/minir2/>
- [8] „SONOFF TH Elite“. Vaadatud: 15. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sonoff.tech/product/diy-smart-switches/th-elite/>
- [9] Mia.Ma, „What is eWeLink-Remote Control?“ Vaadatud: 20. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://sonoff.tech/news-and-events/what-is-ewelink-remote-control/>
- [10] „Tasmota and berry“. Vaadatud: 20. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://docs.lvgl.io/8/get-started/platforms/tasmota-berry.html>
- [11] „Getting Started“. Vaadatud: 27. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://tasmota.github.io/docs/Getting-Started/>
- [12] Carlos Gomes, „Flashing Tasmota firmware onto Sonoff devices over-the-air: “How-to” using just a terminal and web-browser“. Saadaval: 27. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://cgomesu.com/blog/ota-tasmota-sonoff/>
- [13] Simon Hill, „Here’s What the ‘Matter’ Smart Home Standard Is All About“. Vaadatud: 27. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.wired.com/story/what-is-matter/>
- [14] „Matter architecture“. Vaadatud: 30. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://docs.nordicsemi.com/bundle/ncs-3.0.0/page/nrf/protocols/matter/overview/architecture.html>
- [15] „Matter“. Vaadatud: 7. mai 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.silabs.com/documents/public/brochures/matter-pb.pdf>
- [16] „What Is Thread Protocol And How Does It Work?“ Vaadatud: 30. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.aqara.com/en/blog/what-is-thread-protocol-and-how-does-it-work/>

- [17] Wù Tóng, „Matter is about to launch — what surprises will it bring to the smart home market?“ Vaadatud: 30. märts 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.51cto.com/article/718229.html>
- [18] „Matter“. Vaadatud: 3. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.home-assistant.io/integrations/matter>
- [19] Marcel van der Veldt, „Home Assistant officially Matters“. Vaadatud: 8. mai 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.home-assistant.io/blog/2025/03/10/matter-certification/>
- [20] „Home Assistant“. Vaadatud: 4. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://tasmota.github.io/docs/Home-Assistant/>
- [21] Steve Ovens, „Cloud control vs local control: What to choose for your home automation“. Vaadatud: 5. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://opensource.com/article/20/11/cloud-vs-local-home-automation>
- [22] „How to Set Up Sonoff with Home Assistant“. Vaadatud: 7. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://blog.usro.net/2024/12/how-to-set-up-sonoff-with-home-assistant/>
- [23] „Matter Security & Privacy“. Vaadatud: 7. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://csa-iot.org/developer-resource/matter-security-privacy-video/>
- [24] „DigiCert Root CA First Approved for Matter Device Attestation by Connectivity Standards Alliance“. Vaadatud: 7. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.digicert.com/news/digicert-root-ca-first-approved-for-matter-device-attestation-by-connectivity-standards-alliance>
- [25] „Matter Certification“. Vaadatud: 7. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://docs.silabs.com/matter/latest/matter-certification/>
- [26] J. L. R. V. P. R.-B. Saeid Madadi Barough, „Matter: IoT Interoperability for Smart Homes“. Vaadatud: 10. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://www.researchgate.net/publication/386289805_Matter_IoT_Interoperability_for_Smart_Homes
- [27] „Matter FAQ“. Vaadatud: 10. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://csa-iot.org/all-solutions/matter/matter-faq/>
- [28] „Robust IoT Connectivity with Thread: How Thread Compliments Wi-Fi and Ethernet in a Matter Network“. Vaadatud: 13. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.threadgroup.org/news-events/blog/ID/705/Robust-IoT-Connectivity-with-Thread-How-Thread-Compliments-Wi-Fi-and-Ethernet-in-a-Matter-Network>
- [29] „How much does it cost to launch your own matter-connected device?“ Vaadatud: 13. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://wizzdev.com/blog/how-much-does-it-cost-to-launch-matter-device/>
- [30] Hunter Fenollol, „What’s the matter with Matter? After 2 years, this promising smart home protocol has stalled“. Vaadatud: 13. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.tomsguide.com/home/smart-home/whats-the-matter-with-matter-after-2-years-this-promising-smart-home-protocol-has-stalled>
- [31] „Introduction“. Vaadatud: 13. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://developer.tuya.com/en/docs/archived-documents/introduction-of-tuya-iot-platform?id=K960olyp3qas9>

- [32] „What is the Power Consumption of a WiFi Module, and How Can I Optimize It?“
Vaadatud: 13. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.trolinkiot.com/blog/2556.html>
- [33] Jacob Marsh, „How many watts does a wifi router use?“ Vaadatud: 14. aprill 2025.
[Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.energysage.com/electricity/house-watts/how-many-watts-does-a-wi-fi-router-use/>
- [34] „Smart Home“. Vaadatud: 14. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.threadgroup.org/BUILT-FOR-IOT/Smart-Home>
- [35] „Roles“. Vaadatud: 17. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://handbook.buildwithmatter.com/howitworks/roles/>
- [36] Rain Cai, „What Are the Key Differences Between Tuya Smart and Smart Life?“
Vaadatud: 17. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://besenledlight.com/tuya-smart-vs-smart-life/>
- [37] „Google Trends“. Vaadatud: 17. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
https://trends.google.com/trends/explore?q=%2Fg%2F11fzxlb_q4,%2Fg%2F11cn9xkmpf,Sonoff,Tasmota&hl=et
- [38] John White, „How to install Sonoff LAN on Home Assistant“. Vaadatud: 18. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://hometechtime.com/how-to-install-sonoff-lan-on-home-assistant/>
- [39] „The Connectivity Standards Alliance Establishes New Japan Interest Group“. Vaadatud: 20. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://csa-iot.org/newsroom/the-connectivity-standards-alliance-establishes-new-japan-interest-group/>
- [40] Marcel van der Veldt, „Home Assistant officially Matters“. Vaadatud: 20. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://www.home-assistant.io/blog/2025/03/10/matter-certification/>
- [41] „Google Trends“. Vaadatud: 20. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://trends.google.com/trends/explore?date=2020-01-01%202025-01-01&q=Matter%20smart%20home,Thread%20smart%20home&hl=en>
- [42] „DEV-15096“, Vaadatud: 28. aprill 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.mouser.co.uk/ProductDetail/SparkFun/DEV-15096?qs=l7cgNqFNU1ix43QyKol73A%3D%3D>
- [43] „Sonoff Basic R2 Switch Module (BASICR2)“. Vaadatud: 2. mai 2025.
[Võrgumaterjal]. Saadaval: https://templates.blakadder.com/sonoff_BASICR2.html
- [44] „Sonoff Basic“. Vaadatud: 2. mai 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://tasmota.github.io/docs/devices/Sonoff-Basic/>
- [45] „Sonoff TH10/TH16 Switch Module“. Vaadatud: 2. mai 2025. [Võrgumaterjal].
Saadaval: https://templates.blakadder.com/sonoff_TH.html
- [46] „Sonoff Dual R3 Power Monitoring Switch Module (DUALR3)“. Vaadatud: 2. mai 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: https://templates.blakadder.com/sonoff_DUALR3.html
- [47] „Release binaries for Tasmota firmware 14.6.0 Ryan on ESP8266“. Vaadatud: 5. mai 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ota.tasmota.com/tasmota/release/>
- [48] „Release binaries for Tasmota firmware 14.6.0 Ryan on ESP32“. Vaadatud: 5. mai 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval: <https://ota.tasmota.com/tasmota32/release/>
- [49] „MQTT Essentials“. Vaadatud: 7. mai 2025. [Võrgumaterjal]. Saadaval:
<https://www.hivemq.com/mqtt/>

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Maksim Voltškov

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose «Wi-Fi-põhiste Tasmota seadmete ja Matter lahenduste praktiline võrdlus Home Assistantis», mille juhendaja on Andres Rähni
 - 1.1. reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
 - 1.2. üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

12.05.2025

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtes tamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.