



TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Tartu kolledž

TARGA KODU LAHENDUS JA SELLE MÕJU ENERGIATARBIMISELE

A SMART HOME SOLUTION AND ITS IMPACT ON ENERGY CONSUMPTION

RAKENDUSKÕRGHARIDUSTÖÖ

Üliõpilane: Erki Laanemäe

Üliõpilaskood 207707EDTR

Juhendaja: Taavi Kase, insener

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"14." jaanuar 2024

Autor: Erki Laanemäe

/ allkirjastatud digitaalselt /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

"14." jaanuar 2024

Juhendaja: Taavi Kase

/ allkirjastatud digitaalselt /

Kaitsmisele lubatud

"....." jaanuar 2024

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Erki Laanemäe (sünnikuupäev: 22.05.2001),

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Targa kodu lahendus ja selle mõju energiatarbimisele“,

mille juhendaja on Taavi Kase,

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.

¹*Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil.*

/ allkirjastatud digitaalselt /

14.01.2024

Tartu kolledž

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Erki Laanemäe, 207707

Õppekava, peeriala: EDTR17/18, küberfüüsikalised süsteemid

Juhendaja(d): insener, Taavi Kase, +372 5398 9158

Lõputöö teema:

Targa kodu lahendus ja selle mõju energiatarbimisele

A smart home solution and its impact on energy consumption

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Targa kodu lahenduse koostamine ja integreerimine eluruumidesse
2. Rakendatud targa kodu lahenduse mõju energiatarbimisele uurimine ja hindamine
3. Rakendatud targa kodu lahenduse mõju kasutajate käitumisharjumustele hindamine

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Vajalike seadmete valimine, hankimine ja paigaldamine.	
2.	Andmete kogumine ja energiatarbimise muutuste jälgimine.	
3.	Tulemuste analüüs ning rakendatud seadmete ja tehnoloogiate mõju energiatarbimisele hindamine.	

Töö keel: eesti keel

Lõputöö esitamise tähtaeg:

"15." jaanuar 2024

Üliõpilane: Erki Laanemäe / allkirjastatud digitaalselt /

"14." jaanuar 2024

Juhendaja: Taavi Kase / allkirjastatud digitaalselt /

"14." jaanuar 2024

Programmijuht: Aime Ruus / allkirjastatud digitaalselt /

"....." jaanuar 2024

Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel

SISUKORD

EESSÕNA	6
SISSEJUHATUS	7
1. TARK KODU.....	9
1.1 Koduautomaatika seadmed ja rakendusala	9
1.2 Targa kodu tehnoloogiad	11
1.3 Ökosüsteemid	13
1.4 Tark kodu Eestis	14
1.5 Ohukohad - privaatsus ja turvalisus	14
2. TARGA KODU LAHENDUSE INTEGREERIMINE JA TEHNOLOOGIATE JUURUTAMINE	16
2.1 Platvorm (näidiskorter)	16
2.2 Targa kodu lahenduse eesmärk	17
2.3 Tehtud praktiline töö	18
2.4 Praktilise töö käigus ilmnenud probleemid ja takistused	22
3. MONITOOIMINE JA ANDMETE KOGUMINE	25
3.1 Metoodika	25
3.2 Tarbimise ajalugu	27
3.3 Tootelehed	28
4. HINNANG ENERGIATARBIMISE MUUTUSTELE	29
4.1 Analüüs.....	29
4.2 Rakendatud tehnoloogiate mõju kasutajate Kkäitumisharjumustele	32
4.3 Järeldus	33
KOKKUVÕTE	34
SUMMARY	35
KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	36
LISAD.....	41

EESSÕNA

Käesolev lõputöö on valminud koostöös Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledži inseneri Taavi Kasega. Lõputöö teema sõnastas töö autor, Tallinna Tehnikaülikooli Tartu kolledži tudeng, Erki Laanemäe.

Töös kirjeldatakse targa kodu lahenduse juurutamist korterelamus ning sellega kaasnevaid probleeme. Käesolev töö annab ülevaate korteri energiatarbimisest ja selle muutustest targa kodu lahenduse integreerimise vältel. Töö teostati Tartumaal Luunja vallas asuvas kortermajas. Antud lõputöö annab ülevaate nutikodu olemusest ning nutikodudes kasutatavatest tehnoloogiatest ja seadmetest. Töö käigus koostas autor targa kodu lahenduse, mis pakub kasutajatele mugavusi ning parandab korteri sisekliima tingimusi.

Käesolev lõputöö on suunatud majapidamise automatiseerimise peale mõtlevatele inimestele. Töö pakub mõtteainet eelkõige kortermajades elavatele inimestele.

Tark kodu, nutikodu, energiatarbimine, rakenduskõrgharidustöö

SISSEJUHATUS

Käesoleva lõputöö teema valik põhineb nutikodude kasvaval trendil ja autori isiklikul huvil antud teema vastu. Tark kodu on varustatud erinevate seadmete ja süsteemidega, mis võimaldavad koduomanikel oma majapidamist distantsilt juhtida, muutes läbi selle koduomaniku igapäevaelu mugavamaks. Ühtlasi võimaldab targa kodu lahendus rakendada automaatikasüsteeme, mis toovad kaasa potentsiaalse energiasäästu. Siiski tuleb tõdeda, et kõik elektroonikakomponendid tarbivad elektrienergiat, mis tekitab kahtluseid targa kodu säästlikkuse suhtes. Eestis on huvi targa kodu lahenduste vastu kasvav, kuid napib uuringuid nutikodude ja nende mõju kohta energiatarbimisele. Kuna Eesti eesmärk on vähendada oma süsinikujalajälge ja suurendada energiatõhusust, on oluline mõista targa kodu lahenduste kasutuselevõtu võimalikke eeliseid ja puuduseid. See teadmiste lünk tekitab uurimisprobleemi, millega tegeleda.

Töö eesmärgiks oli luua kasutajatele meelepärane targa kodu lahendus ning uurida selle mõju energiatarbimisele. Täpsemalt uuris autor, kuidas mõjutab nutikodu lahendus energiatarbimist korteris, millised tegurid mõjutavad targa kodu lahenduste tõhusust energiatarbimise vähendamisel, kuidas mõjutab kasutajate käitumine targa kodu energiatarbimist ning kuidas mõjutab targa kodu lahendus kasutajate käitumisharjumusi. Antud uuringu tulemused annavad väärtuslikku teavet peamiselt koduomanikele kortermajades, kuid ka poliitikakujundajatele ja energiapakkujatele Eestis ja mujal.

Käesoleva töö eesmärk ei ole tõestada konkreetset hüpoteesi, vaid anda terviklik arusaam sellest, milline on üks võimalikest targa kodu lahendustest korterelamus ning kuidas targa kodu lahendused võivad mõjutada energiatarbimist. Seda tehes on uuringu eesmärk selgitada välja nutikodu lahenduste kasutusele võtmise võimalikest eelised ja puudused.

Uurimaks, kuidas nutikodu lahendus mõjutab energiatarbimist, on uurimismetoodikaks kvalitatiivne uuring. Valimi moodustab kahetoaline näidiskorter, mille eluruumides targa kodu lahendusi rakendati. Andmeid koguti energiaseireseadmete kaudu, mis salvestavad energiatarbimist enne ja pärast targa kodu lahenduse rakendamist. Energiatarbimise andmete kogumise perioodil kasutas rakendatud targa kodu lahendust kaks kasutajat, kellest üks oli käesoleva töö autor. Valimi moodustamise meetodika on eesmärgipärane valim, mille moodustab uuringusse ajal targa kodu lahenduse paigaldanud majapidamine. Andmeid analüüsitakse statistilise analüüsi tarkvara abil ning tulemused esitatakse tabelite ja graafikutena, illustreerimaks targa kodu lahenduse rakendamisel saavutatud energiasäästu.

Töö esimene osa annab ülevaate targa kodu olemusest, erinevatest nutikatest seadmetest ning nende võimalikest kasutusvaldkondadest. Samuti saab töö esimesest peatükist ülevaate targa kodu lahendustes kasutatavatest tehnoloogiatest ning nutikodu lahendustega seonduvatest ohtudest. Käesoleva lõputöö teine peatükk annab ülevaate töö praktilisest osast ning sellega kaasnenud probleemidest. Kolmandas peatükis toob autor välja töö käigus kasutatud metoodika ning kogutud andmed. Viimasena analüüsib autor saadud tulemusi ning teeb nende põhjal järeldused.

1. TARK KODU

Koduautomaatika lahendused said alguse 20. sajandi lõpus. Üheks esimeseks koduautomaatika seadmeks peetakse Albert Butzi loodud termostaati, mis reguleeris temperatuuri põhjal tulekollet [1]. Peagi peale seda, algas nutikodude kiire areng, kui hakati tootma erinevaid mugavust pakkuvaid kodumasinaid nagu tolmuimejad, külmkapid ja pesumasinad. Targa kodu mõiste võttis esimesena kasutusele 1984. aastal Ameerika Majaehitajate Ühing (American Association of House Builders) [2]. Koduautomaatika tehnoloogiliste lahenduste järjepideva ja tempoka arengu tõttu ei leidu ühtset definitsiooni mõistele tark kodu. Lisaks ei ole nutikodudele seatud piire ega miinimumnõudeid. Tark kodu võib olla just nii tark, kui targaks koduomanik selle kujundab.

Targaks koduks võib pidada majapidamist, mis on varustatud omavahel ühendatud seadmetega, mida saab programmeerida ja juhtida kaugjuhtimise teel nutitelefoni või arvuti vahendusel. Näiteks võimaldab nutikodu distantsilt juhtida eluruumide valgustust, temperatuuri, multimeediat, valvet ning paljusid teisi funktsioone. Tänapäevaste nutikodude seadmeid ja süsteeme täiustavad tihtipeale internetiühendus, pilveteenused ja tehisintellekt. Koduautomaatika valdkond võtab üha rohkem suuna energiatõhususe, masinõppe ja küberturvalisuse poole, andes targa kodu mõistele uue tähenduse. [3], [4]

1.1 Koduautomaatika seadmed ja rakendusala

Nutikodud täidavad erinevaid eesmärke muutes kasutajate igapäevaelu lihtsamaks. Koduautomaatika üks peamisi rakendusvaldkondi seisneb kodude turvalisuse tugevdamises. Nutikad turvasüsteemid hõlmavad mitmeid erinevaid seadmeid, mis täiendavad traditsioonilisi turvameetmeid. Näiteks kasutatakse nutikodude turvasüsteemides liikumisandureid, nutikaid lukkusi, akna purunemist tuvastavaid andureid, valvekaameraid ja video-ukseellasid. Tuleohutuse tagamisel aitavad kaasa nutikad suitsu- ja vingugaasiandurid. Lekkedetektorite ja sulgeventiilidega varustatud automaatsed veeseiresüsteemid aitavad vältida veekahjustusi, tuvastades lekkeid ja teavitades kasutajaid. Mainitud seadmed pakuvad kaugjuurdepääsu ja reaalsajas monitoorimise võimalusi, tagades koduomanikel võimaluse oma kinnisvaral toimuvaga end pidevalt kursis hoida. Nutiseadmete pakutavad viivitamatud teavitused ja hoiatused

mis tahes ebatavalise tegevuse korral, suurendavad kasutajate üldist meelerahu ja ohutust.

Koduautomaatika mängib kesksel rollil ka energiatarbimise optimeerimisel. Nutikaid termostaate, valgustusüsteeme ja teisi seadmeid saab programmeerida ja juhtida distantsilt, mis soodustab energiasäästlikkust. Automaatsed kohandused, mis põhinevad kasutajate käitumisharjumustel või ajagraafikul, tagavad, et energiat kasutatakse mõistlikult, aidates kaasa energiatarbimise ja keskkonnajalajälgede vähenemisele. [5], [6]

Koduautomaatika tehnoloogiline areng on laienenud ka tervishoiu ja heaolu valdkonda. Anduritega varustatud nutiseadmed suudavad jälgida elutähtsaid näitajaid, kehalise võimekuse taset ja isegi meelde tuletada, millal kasutaja peaks ravimeid võtma. Targad seadmed on võimelised tuvastama kasutaja asukohta ruumis ning teavitama kolmandat isikut, kui kasutaja on kukkunud. Sellised rakendused mitte ainult ei edenda ennetavat tervisehaldust, vaid hõlbustavad ka eakate või ülalpeetavate pereliikmete kaughoolust. [7]

Mugavuse targa kodu lahenduste juhtimisel tagavad häälkäsklustega juhitavad seadmed ja targad keskseadmed. Nutikõlarid ja automatiseeritud rutiinid võimaldavad juhtida erinevaid majapidamistegevusi alates ruumitemperatuuri reguleerimisest kuni päevakava organiseerimise ja isegi toidukaupade tellimiseni, tagades kasutajale rohkem vaba aega. [8], [9]

Kasutajate mugavusi nutikodu lahenduste puhul täiustavad ka targad meelelahutussüsteemid, integreerides audiovisuaalsüsteeme, voogedastusseadmeid ja mängukonsoole. Nutikad kodukinosüsteemid, mitme ruumi heliseadmete võrgustik ja isikupärastatud sisusoovitused aitavad luua eluruumides kaasahaarava ja isikupärastatud meelelahutussüsteemi. [9]

Koduautomaatika seadmete kasutuselevõtt lihtsustab ka majapidamistöid. Lemmikloomade söötjad, robotmuruniidukid ja automatiseeritud puhastusseadmed leevendavad kasutajate koormust rutiinsete majapidamistöde teostamisel. Nutikate kodumasinade andurid ja ennetussüsteemid suudavad tuvastada võimalikud probleemid enne nende eskaleerumist, vähendades seeläbi hoolduskulusid ja rikkeid.

1.2 Targa kodu tehnoloogiad

Targa kodu tehnoloogiad on läbinud märkimisväärse arengu, pakkudes erinevaid protokolle ja standardeid, mis on loodud selleks, et võimaldada nutikodu ökosüsteemi ühendatud seadmete vahel sujuvat suhtlust ja koostalitlusvõimet. Selles valdkonnas on esile kerkinud mitu võtmetehnoloogiat, millest igaühel on oma ainulaadsed funktsioonid, võimalused ja rakendused. Peamiste targa kodu tehnoloogiate hulka kuuluvad Zigbee, Wi-Fi, Z-Wave, EnOcean, Thread ning Matter.

Zigbee paistab silma väikese energiatarbega ja väikese andmeedastuskiirusega traadita sideprotokollide poolest, mis on ideaalne tugevate värvõrkude loomiseks nutikodudes. Selle tõhusus paljude seadmete ühendamisel minimaalse energiatarbimisega muudab selle sobivaks andurite, lülitite ja teiste madala energiatarbega seadmete jaoks. Zigbee töötab IEEE 802.15.4 standardil, pakkudes töökindlust, mastaapsust ja märkimisväärset ulatust, muutes selle populaarseks valikuks koduautomaatikasüsteemides loomisel. [10]

Wi-Fi on tänapäevastes majapidamistes üldlevinud tehnoloogia. Selle laialdane kasutuselevõtt tuleneb Wi-Fi kõrgest andmeedastuskiirusest, töökindlusest ja ühilduvusest erinevate seadmetega. Mainitud tehnoloogia kasutamine ulatub kaugemale nutikatest kodumasinatelt, hõlmates sülearvuteid, nutitelefone ja teisi seadmeid. Wi-Fi negatiivseks omaduseks on aga suur energiatarbimine ja võrgu ülekoormuse võimalus tihedalt asustatud piirkondades. Nutikates kodudes leiab Wi-Fi kasutust seadmete ühendamisel, mis nõuavad suurt ribalaiust ja Interneti-juurdepääsu. Näiteks on sellisteks seadmed nutitelerid, kaamerad ja häälkäsklustega juhitavad seadmed. [11]

Z-Wave tehnoloogia on spetsialiseerunud koduautomaatika võrkude loomisele, pakkudes tugevat vähese energiatarbega sideplatvormi. Koostalitlusvõime ja väikese energiatarbimise poolest tuntud Z-Wave toetab suurt hulka tooteid ja võimaldab pikamaa sidet edastades signaale vahendusseadmete kaudu. Z-Wave töötab erineval sagedusribal võrreldes laialdaselt levinud Wi-Fi ja Bluetooth protokollidega, vähendades häireid ja suurendades töökindlust nutikodu keskkondades. [12]

EnOcean tehnoloogia eristub teistest tehnoloogiatest oma seadmete poolest, mis koguvad energiat ümbritsevast keskkonnast, välistades vajaduse akude või väliste toiteallikate järele. Need energiatarbivad seadmed kasutavad kineetilist-, päikese- või soojusenergiat, mistõttu on need ideaalsed rakendustes, kus toiteallikad ei ole saadaval

või osutuvad ebapraktilisteks. EnOceani traadita sideprotokoll võimaldab erinevatel anduritel ja lülititel töötada ilma traditsiooniliste toiteallikate piiranguteta. [13]

Thread on nutikate koduseadmete jaoks loodud tugev ja turvaline võrguprotokoll, mis keskendub töökindlusele ja madalale energiatarbimisele. Värkvõrgu topoloogial töötav Thread võimaldab seadmetel tõhusalt suhelda, säilitades samal ajal kõrge turvalisuse. Threadi IPv6 tugi võimaldab seadmetel ühenduda internetiga, mis parandab nende juurdepääsetavust ja juhitavust. [14]

Matter on uusim targa kodu tehnoloogia, mille eesmärk on luua nutikodu seadmetele ühtne standard, tagades erinevate platvormide ja ökosüsteemide koostalitlusvõime. Avatud lähtekoodiga tasuta standard kasutab IP-põhist ühenduvust, et hõlbustada sujuvat suhtlust erinevate tootjate seadmete vahel. Kuna koduautomaatika tehnoloogia areneb pidevalt edasi, on Matteri eesmärk ületada lõhe erinevate protokollide vahel, edendades tarbijate jaoks ühtsemat ja kasutajasõbralikumat kogemust. Koostalitlusvõime ja sujuv integratsioon jäävad targa kodu tehnoloogiate tuleviku kujundamise keskpunktideks, et erinevate tootjate seadmed saaksid probleemideta omavahel suhelda ja täiustada üldist targa kodu kogemust. [15]

Nende erinevate tehnoloogiate kooseksisteerimine peegeldab tööstuse jõupingutusi erinevate vajaduste rahuldamiseks, tasakaalustades selliseid tegureid nagu energiatarbimine, ulatus, koostalitlusvõime ja turvalisus. Tehnoloogia valik nutikodu lahenduste loomisel ja integreerimisel sõltub sageli konkreetsetest kasutusjuhtudest, seadmenüuetest ja integreerimisvõimalustest antud ökosüsteemis. Tabelis 1.1 on välja toodud erinevate nutikodu tehnoloogiate põhiparameetrid.

Tabel 1.1 Tehnoloogiate võrdlus [10], [13], [14], [16]–[20]

	ZigBee	Wi-Fi	Z-Wave	Thread	EnOcean
Töösagedus	868 MHz, 915 MHz, 2,4 GHz	2,4 GHz, 5 GHz	868 MHz	2,4 GHz	868 MHz
Energiatarve	100 mW	240–795 mW	1 mW	0,02 mW	0 W*
Ulatus	10-20 m	100 m	30 m	20-30 m	10-30 m
Läbilaskevõime	20-250 kbit/s	9,6 Gb/s	9,6 kbit/s, 40 kbit/s, 100 kbit/s	250 kbit/s	125 kbit/s

* EnOcean tehnoloogia kasutab töötamiseks keskkonnast saadavat energiat, nagu päikeseenergia, temperatuuride erinevused, vibratsioon või nupuvajutus.

1.3 Ökosüsteemid

Targa kodu ökosüsteemid esindavad riistvara, tarkvara ja tehisintellekti kooslust, mille eesmärk on luua ühtne keskkond seadmete omavaheliseks suhtluseks, parandades seeläbi kasutajate igapäevaelu. Enimlevinud nutikodu ökosüsteemideks on Amazon Alexa, Google Home ja Apple HomeKit. Need ökosüsteemid võimaldavad kasutajatel kaugjuhtida ja jälgida oma koduseadmeid, luua automatiseeritud rutiine või ajakavasid ning saada hoiatusi ja teavitusi, mis põhinevad konkreetsetel tingimustel ja seadmete olekul. Ökosüsteemide eesmärk on suurendada mugavust, tõhusust ja turvalisust nutikodu seadmete automatiseerimise ja ühendamise kaudu. Igal neist ökosüsteemidest on oma eripärad ja integratsioonid, mis vastavad kasutajate eelistustele ja tehnoloogilistele kalduvustele.

Amazon Alexa on targa kodu ökosüsteemide seas teed rajav tehnoloogiline saavutus, millel on häälkäsklustega juhitud assistent ja suur hulk ühilduvaid seadmeid. Echo seeria ja teiste nutiseadmete kaudu saavad kasutajad häälkäskluste abil hõlpsalt juhtida kodutehnikat, pääseda juurde teabele ja hallata oma igapäevaseid toiminguid. Amazon Alexa eripäraks on lai valik ühilduvaid seadmeid. [21]

Google'i nutikodu ökosüsteem, mis töötab Google'i assistendi abil, integreerub paljude erinevate seadmete ja teenustega. Google'i tütarettevõtte Nest pakub nutikate kodutoodete komplekti, sealhulgas termostaate, kaameraid ja kõlareid, mis on loodud ökosüsteemi ühtseks töötamiseks. Google'i rõhuasetus tehisintellektile ja masinõppele suurendab ökosüsteemi võimet mõista kasutajate eelistusi ja nendega kohaneda. [22]

Apple'i HomeKiti ökosüsteem seab esikohale privaatsuse ja turvalisuse, pakkudes samas kasutajasõbralikku liidest. HomeKiti toega seadmed, alates tuledest kuni lukkude ja kaamerateni, tagavad Apple'i ökosüsteemis ühilduvuse ja kasutuslihtsuse. Siri integreerimine hääleassistendiks suurendab veelgi Apple'i ökosüsteemi investeeritud kasutajate juhtimisvõimalusi ja juurdepääsetavust. HomeKiti omapäraks võrreldes teiste ökosüsteemidega on seadmete ühilduvuse piirang. Apple HomeKit ökosüsteemiga ühilduvaid seadmeid leidub oluliselt vähem kui Google'i või Amazoni ökosüsteemidega ühilduvaid seadmeid, mis on tingitud peamiselt Apple'i eesmärgist tagada ühilduvate seadmete vahel turvaline ja töökindel ühendus. [23]

1.4 Tark kodu Eestis

Nagu ka mujal maailmas, on targa kodu lahendused Eestis kiiresti arenenud, võttes omaks tipptehnoloogia integreerimise igapäevaellu, muutes nutikad kodud elanike jaoks käegakatsutavaks reaalsuseks. Alates tõhusast energiahaldusest kuni täiustatud turvameetmeteni on targa kodu lahendused kogu Eesti maastikul üha enam levinud. Riigi digitaalse infrastruktuuri üks aluseid on täiustatud ja töökindel internetiühendus, mis võimaldab erinevatel nutiseadmetel omavahel sujuvalt suhelda. See on sillutanud teed paljude nutikate kodude ja teenuste õitsengule.

Energiatõhusus on Eestis targa kodu lahenduste oluline fookus. Nutikate termostaatide, energiaseiresüsteemide ja nutika valgustuse integreerimine võimaldab majaomanikel optimeerida energiatarbimist ja vähendada kommunaalkulusid. Sellised ettevõtted nagu Schneider Electric ja Airobot Technologies AS, pakuvad lahendusi, mis võimaldavad kasutajatel nutitelefonirakenduste kaudu kaugjuhtida ja jälgida oma kodu energiakasutust. [24], [25]

Turvalisust kodudes aitavad edendada kohalikud ettevõtted nagu Veriff ja Cleveron, pakkudes uuenduslikke lahendusi täiustatud valvesüsteemide, nutikate uksekellade ja video-uksekellade näol. [26], [27]

1.5 Ohukohad - privaatsus ja turvalisus

Paljud targa kodu seadmed tagavad kaugjuhtimise ja automatiseerimise võimaluse kasutades internetiühendust ja pilveteenuseid. Seadmed kasutavad enamasti väikesemõõtmelisi elektroonikakomponente, mille tõttu kannatab ka andmete krüpteeringu keerukus ning kaitse rünnakute ja andmelekete vastu. See toob endaga kaasa turvariske ja privaatsusprobleeme. Omavahel ühendatud seadmete levik kodudes nõuab igakülgset arusaamist ja jõulisi meetmeid isikuandmete kaitsmiseks võimalike turvarikkumiste eest. [28], [29]

Nutika kodu seadmed koguvad sageli tundlikke isikuandmeid, alates igapäevasest rutiinist ja käitumisharjumustest kuni kasutajate heli- ja videosalvestusteni. Nende andmete võimalik väärkasutus või volitamata juurdepääs kujutab endast olulisi privaatsusriske, mistõttu on kasutajate konfidentsiaalsuse tagamiseks vaja rangeid protokolle. Riskide maandamiseks peavad targa kodu tööstuse sidusrühmad seadma

esikohale kasutajate privaatsuse, rakendades läbipaistvaid andmete kogumise tavasid, hankides kasutajatelt selgesõnalise nõusoleku andmete kogumiseks ja töötlemiseks ning pakkudes andmete kasutamise poliitika avalikustamist. Euroopa Liidus on tarbijate ja nutikodu tehnoloogiate pakkujate vahelise usalduse suurendamiseks kehtestatud privaatsuseeskirjad, isikuandmete kaitse üldmäärus. [30], [31]

Nutika kodu seadmete omavahel seotud olemus loob keeruka võrgu, mis võib olla vastuvõtlik turvaaukudele. Küberrünnakud, sealhulgas pahavara ja volitamata juurdepääs, kujutavad endast märkimisväärset ohtu arukate kodude terviklikkusele ja turvalisusele. Nõrgad paroolid, krüptimata sidekanalid ja aegunud tarkvara pakuvad potentsiaalseid sisenemispunkte pahatahtlikele inimestele, kes soovivad ohtu seada süsteemi või kasutaja enda. Turvahaavatavustega tegelemine nõuab mitmekihilist lähenemist. Tootjad peavad eelistama tugevaid krüpteerimisprotokolle, regulaarseid tarkvaravärskendusi ja tööstusharu standardsete turbetavade järgimist. Lisaks mängivad kasutajad kesksel rollil turvalisuse suurendamisel, rakendades raskesti arvatavaid unikaalseid paroole ja võimaldades võimaluse korral mitmeastmelist autentimist. Lisaks aitab turvalisuse tagamisele kaasa kasutajate teadlikkus riskidest ning oskus olla valvsad andmepüügikatsete või muu kahtlaste tegevuste suhtes. [32]

2. TARGA KODU LAHENDUSE INTEGREERIMINE JA TEHNOLOOGIATE JUURUTAMINE

Rahvusvahelise energiaagentuuri andmetel moodustavad hooned 30% ülemaailmsest energiatarbimisest ning olulise osa selle energiatarbimise eest vastutab elamusektor. Targa kodu lahendused pakuvad automatiseerimise, optimeerimise ja jälgimise kaudu potentsiaali vähendada elamusektori energiatarbimist. Nende lahenduste tõhusus energiatarbimise vähendamisel sõltub aga suuresti kasutajate käitumisest, süsteemi konfiguratsioonist ja seadme efektiivsusest. [33]

Targa kodu lahenduse puhul aitab energiatarbimist vähendada energiajuhtimissüsteemi rakendamine. Energiajuhtimissüsteem on tark- ja riistvaral põhinev süsteem, mis võimaldab kasutajal jälgida, analüüsida ja optimeerida energiatarbimist [5]. Austraalias ja Iraagis läbiviidud uuringute põhjal on lihtsama arhitektuuriga nutikodu süsteemide abil võimalik energiatarbimist vähendada ligi 18% [6], [34]. Ameerika Ühendriikide näitel kulub 26% ühe majapidamise energiatarbimisest küttesüsteemide, 21% kodumasinade, 13% vee soojendamise, 11% elupinna jahutusseadmete, 6% valgustusseadmete ning 23% muude elektroonikaseadmete kasutamisele [35].

Uuringute põhjal vähendab Google Nest iseõppivate termostaatide kasutamine eluruumide kütte reguleerimiseks keskmiselt 10-12% energiakulu [36]–[38]. Käesoleva töö raames on kokkuhoid küttekulult hüpoteetiline. Reaalset küttekulu on keeruline jälgida, kuna ruumide soojendamine toimub keskkütte näol.

2.1 Platvorm (näidiskorter)

Vaatluse all oli kahe elanikuga korter 2017. aastal valminud C energiaklassi hoones. Töö alustamise hetkel oli korteris olemas 2 nutikat seadet, neist üheks on LG GBB60NSYFE külmkapp ning teiseks LG F2J7HY1W pesumasin. Mõlemad seadmed on LG ThinQ mobiilirakenduse kaudu juhitavad, kuid kasutust need lahendused ei leidnud. Ülejäänud kõnealuses korteris kasutatavad elektroonikaseadmed ei olnud nutikad.

Ruumide valgustus on tagatud 20 valgusallika näol, mille juhtimiseks on kasutuses kaks veksellülitit, neli lihtlülitina toimivat veksellülitit ning üks grupilülitit.

Korteri kütteallikaks on kolmetsooniline põrandaküte maagaasil toimiva keskkütte näol. Erinevateks küttesoonideks on korteri põrandapind jagatud ruumide järgi. Ühe tsooni moodustab magamistuba, teise vannituba ning kolmanda elutuba ning köök. Köögi ning elutoa põrandakütet on võimalik eraldi tsoonidena reguleerida, kuid kuna elutuba ja köök ei ole teineteisest eraldatud, moodustades ühe avara ruumi, on need kaks tsooni üheks liidetud. Töö alustamise hetkel oli korteri kütet võimalik reguleerida kolme Tece RT-A termostaadi vahendusel.

Lisaks põrandaküttele mõjutab eelmainitud korteri sisekliimat ventilatsiooniseade. Ventilatsiooniseade on korteripõhine ning tänu sellele oli võimalik selle käitumist ja tööviisi optimeerida. Seadmeks on Domekt Komfovent R200V soojustagastiga ventagregaat, mida juhtisid Komfovent C4 kontrolleri ning C4.1 juhtpaneel. Algselt ei olnud ventagregaat automatiseeritud ja töötas manuaalselt. Seade töötas vastavalt sellele, kuidas kasutajad seda sisse ja välja lülitasid. Sellest lähtuvalt ei olnud korteri sisekliima stabiilne.

2.2 Targa kodu lahenduse eesmärk

Käesoleva töö raames loodud targa kodu lahenduse kasutuselevõttuga kaasnes mitu eesmärki. Üheks neist oli eluruumide sisekliima tingimuste optimeerimine ning olukorra säilitamise automatiseerimine. Soovitud olukorra kohaselt peaks peale nutikodu lahenduse rakendamist olema täidetud järgmised sisekliima tingimused:

1. Siseõhu temperatuur kõrgem kui 18 °C (magamistoas 22 °C ja teistes ruumides 23-24 °C).
2. Siseõhu suhteline niiskus vahemikus 40-60%.
3. Siseõhu CO₂ tase madalam kui 1000 ppm.

Eelmainitud sisekliima tingimused tulenevad kasutajate isiklikust soovist. Vaatluse all olnud eluruumide kasutajad eelistavad pisut soojemat kliimat, millest tuleneb ka valik ruumide siseõhu temperatuuri osas. Siseõhu suhtelise niiskuse vahemiku valikul lähtus autor töö teostamise hetkel kehtinud eluruumidele esitatavate nõuetest [39]. Kasutajate eelistus eluruumide suhtelise õhuniiskuse osas jääb vahemikku 40-50%, kuid võttes arvesse vaatluse all olnud eluruumide suhtelise õhuniiskuse sõltuvust kasutajate tegevustest, otsustas autor püstitada eesmärgiks pisut suurema vahemiku, jäädes endiselt vastavate nõuete piiridesse. Näiteks märkas autor enne käesoleva töö alustamist, et pesu kuivatamisel eluruumides, võis vaatluse all olnud korteri suhteline õhuniiskus tõusta ligi 20% võrra.

Teine suur eesmärk oli muuta olemasolevad igapäevaselt kasutust leidvad elektroonikaseadmed nutikaks või asendada need uute seadmetega. Autor soovis rakendada koduautomaatika lahendusi majapidamistöde lihtsustamiseks, kasutades selleks robottolmuimejat. Lisaks soovis autor täiendada vaatluse all olnud eluruumide meelelahutussüsteemi ning valgustuse juhtimist. Autor võttis ka eesmärgiks koondada kõikide lisatud seadmete juhtimine ühte kohta kokku, kasutades selleks häälkäsklustega juhitavat keskseadet ning nutitelefoni.

2.3 Tehtud praktiline töö

Käesoleva lõputöö raames eemaldas autor kasutuses olnud Tece RT-A termostaadid ning asendas need Google Nest Learning Thermostat kolmanda põlvkonna seadmetega. Google Nest iseõppiv termostaat on tänasel päeval üks paljulubavamaid eluaseme kütte reguleerimise seadmeid. Mainitud seade võimaldab kasutajal seadistada nädalagraafiku, juhtida kütte reguleerimist nutiseadmest ning kasutada tehisintellekti optimaalse tööstsenariumi loomiseks. Nest termostaat on suuteline tehisintellekti abil automatiseerima ja optimeerima eluaseme kütte reguleerimist võttes arvesse kasutajate tavasid ja käitumismustreid. Näiteks on mainitud termostaat võimeline tuvastama ja reguleerima kütmise perioode vastavalt kasutajate kodus viibimise harjumustele. Mainitud termostaat muutub nutikaks, kui on üle Wi-Fi ühendatud Google Nest pilvteenusega. Põrandakütte kollektori täitureid juhivad Google'i termostaadid joonisel 2.1 kujutatud Heat Link lisaseadmete vahendusel. [36]



Joonis 2.1 Nutikate termostaatide paigaldamise tööprotsess

Lisaks Google'i termostaatidele olid valikus ka Ecobee Smart Thermostat, Netatmo Smart Thermostat ning Airobot TE1-B-AQ nutikad termostaadid. Ecobee seadmed langesid valikust välja nende vähese saadavuse tõttu. Autoril ei õnnestunud leida ühtegi Ecobee termostaatide edasimüüjat Eesti turul. Netatmo kaubamärgi tooted langesid termostaatide valikust välja, kuna need ei toeta ühilduvust Android operatsioonisüsteemil töötavate seadmetega. Mainitud asjaolude tõttu sooritas autor valiku Eestimaise tootja Airoboti ning suuretevõtte Google'i nutikate termostaatide vahel. Valik Google Nest termostaatide kasuks tulenes nende võimest kasutada automatiseerimisel tehisintellekti abi. Valitud termostaatide negatiivseks küljeks on teistest kõrgem hind. Seetõttu võttis autor vastu otsuse soetada seadmed järelturult, mis tagas autorile enam kui viiekordse hinnavõidu. [40]–[42]

Meelelahutussüsteemi täiendamiseks ning seadmete juhtimiseks võttis autor kasutusele Google Home ökosüsteemi koos Google Nest Audio ja kahe Google Nest Mini nutikõlariga. Google Nest Audio kõlari paigaldas autor vaatlusaluse korteri elutuppa ning väiksemad Nest Mini nutikõlarid magamistuppa, võimaldades sel moel kõikides põhilistes eluruumides voogedastuse abil muusikat kuulata. Kõnealused seadmed võimaldavad kasutajatel paigaldatud kõlaritest luua erinevaid seadmete gruppe, võimaldades sel moel mitme ruumi meelelahutuse sünkroniseerimise. Ühtlasi käituvad Google Nest nutikõlarid juhtseadmetena, kuna võimaldavad kasutada häälkäskluste abil Google Assistanti. Kuna tegemist on korteriga, mis tähendab, et seadmeid ja erinevaid koduautomaatika lahendusi ei ole kuigivõrd palju, kaob ka vajadus võimekama keskseadme või lokaalse serveri kasutamiseks. Valik Google'i ökosüsteemi kasuks osutus kahel põhjusel. Neist üheks on asjaolu, et Google Nest termostaatide kõikide funktsionaalsuste kasutamiseks on vajalik Google'i enda ökosüsteem. Teiseks otsustavaks asjaoluks sai Google'i ökosüsteemi võime ühilduda nii Androidi kui iOS'i seadmetega.

Lisaks nutikõlaritele, täiendas autor meelelahutussüsteemi, lisades varasemalt kasutuses olevale telerile Android TV toe. soovitud täienduse teostamiseks asendas autor kasutuses olnud Arris VIP4302 digiboksi Xiaomi Mi TV Stick 4K seadmega. Lisatud seade muudab kasutuses oleva teleri nutikaks, luues võimaluse Miracasti abil nutitelefoni ekraanipildi kuvamiseks teleri ekraanile ning teleri juhtimiseks Google Assistant häälkäskluste kaudu. Antud seadme valis autor kasutajamugavuse lisamiseks ning digiboksist loobumiseks. Teiste sarnaste toodete seast osutus Xiaomi Mi TV Stick 4K valituks selle hinna-kvaliteedi suhte tõttu. Kõnealune seade omab, sarnaselt teistele

valikus olnud seadmetele, kõiki tabelis 2.1 välja toodud funktsionaalsuseid ning on seejuures saadav turu madalaima hinnaga.

Tabel 2.1 Voogedastusseadmete võrdlus [43]–[47]

Seade	Voogedastus- rakenduste kasutamise tugi	Seadmete vaheline voogedastus	Hääl- käsklustega juhtimine	Hind (€)
Xiaomi Mi Tv Stick 4K	Jah	Jah	Jah	56
Xiaomi Mi TV Box S	Jah	Jah	Jah	60
Google Chromecast 4K	Jah	Jah	Jah	80
Apple TV 4K	Jah (v.a Eesti rakendused)	iOS	Jah	180
Amazon Fire TV Stick 4K	Jah	Jah	Jah	76

Kodumasinatate automatiseerimisel lisas autor eluruumidesse ühe uue seadme. Lisatud seadmeks on Schbot S8 robottolmuimeja. Valiku robottolmuimeja kasuks langetas autor kasutajate mugavuste tõstmiseks. Robottolmuimeja vähendab kasutajate kohustusi igapäevatoimetuste seas võimaldades seadistada automaatseid töötsükleid. Mudeli valik sõltus autori varasemast kokkupuutest seadme maaletoojaga. Rohkem kui üks aasta enne praktilise töö alustamist soetas autor eluruumidesse robottolmuimeja Mamibot PreVac 670XBR. Seadme kasutusele võtmise ning käesoleva töö alustamise vahelise ajaperioodi jooksul ilmnis mainitud robottolmuimeja juures mitmeid puuduseid, mille tõttu teostati seadmele mitmel korral garantiiremonti. Autori ja kaupleja vahelisel suhtlemisel ning seadme remontimisel tekkinud komplikatsioonide tõttu otsustas autor käesoleva töö praktilise osa tegemiseks soetada töökindlama seadme. Peale pikalt kestnud vaidlust autori ning kaupleja vahel, oli autor sunnitud uueks seadmeks valima sama kaupleja poolt pakutava uuema toote, kuna kaupleja ei nõustunud autorile kui kliendile raha tagastama. Seetõttu valis autor töös kasutatavaks robottolmuimejaks Schbot S8 seadme.

Olemasolevatest kodumasinatatest muutis autor kolme seadme töövoogu. Neis üheks on LG GBB60NSYFE külmkapp, teiseks LG F2J7HY1W pesumasin ning kolmandaks Komfovent Domekt R200V ventilatsiooniseade. Mõlema LG seadme puhul rakendas autor võimalust ühendada seade Wi-Fi võrguga. Antud lahendus võimaldab seadistada külmkapi ja sügavkülmiku temperatuuri ning hallata pesumasina töötsükleid. Peale muudatuste teostamist saab kasutaja nutiseadme vahendusel teostada regulaarseid seadme heaolukontrolle. Lisaks saadavad mõlemad seadmed rikke korral kasutaja nutiseadmele teavituse. Pesumasin teavitab kasutajat ka töötsükli lõppemisest.

Ventilatsiooniseadme töövoogu muutmisel rakendas autor programmeeritavat nädalaprogrammi, mille alusel seade erinevatel ajahetkedel erinevatel töökiirustel töötas. Autor seadistas ventagregaadi töötama elanike käitumismustrite järgi kiiremini perioodidel, mil elanikud viibisid kodust eemal ning aeglasemalt perioodil, mil elanikud viibisid eluruumides. Seade alustas tööd 30% töökiirusel igal hommikul kell 6:30 ning muutis kiirust keskpäeval. Vahemikus 12:00 kuni 16:30 töötas ventilatsiooniseade 50% töökiirusel. Öhtusel ajal töötas seade taas 30% töökiirusel ning lõpetas töö kell 23:30. Programmeeritud nädalaprogrammi kasutamisel lülitas ventilatsiooniseade end öötundideks välja. Autor seadistas ventagregaadi töötama mainitud töögraafiku alusel, et vähendada kasutajate häiringuid müra näol.

Eluruumide valgustuse nutikaks muutmisel võttis autor kasutusse 6 nutilüliti. Valik nutilülite kasuks osutus asjaolul, et targad valgusallikad muutuvad kasutuks, kui kasutaja harjumusest lülitist vooluühenduse katkestab. Kasutusse lisandusid 5 SonOff ZBMINI ning 1 SonOff Dual R3 lüliti. Need seadmed on pisikesed moodulid, mille saab paigaldada olemasoleva lüliti süvistoosi. ZBMINI mudelid töötavad ZigBee protokolliga vahendusel. Dual R3 lüliti on aga Wi-Fi lüliti, mille kasuks autor otsustas, kuna kahe kanaliga ZigBee lülite saadavus Eesti turult on kesine. Otsus ZigBee protokolliga vahendusel töötavate seadmete kasuks tuli madala energiakulu arvelt. Nimelt tarbivad ZigBee seadmed vähem elektrienergiat kui näiteks Wi-Fi seadmed [17]. Lisaks on ZigBee seadmed saadaval soodsama hinnaga kui mõnda teist tehnoloogiat kasutavad seadmed. Samal põhjusel langetas autor valiku integreeritavate lisamoodulite ja traditsiooniliste klahvlülite vahel. Olemasolevate klahvlülite asendamine nutikate klahvlülituutega on küll lihtsam, kuid hinnavahe modulaarsete lülititega on mitmekordne. Tabelis 2.2 toob autor välja mõningad nutilülid ja nende peamised omadused.

Tabel 2.2 Nutilülite võrdlus

Seade	Tüüp	Kanalite arv	Tehnoloogia	Hind (€/tk)
SonOff ZBMINI	Lisamoodul	1	ZigBee	9
SonOff Dual R3	Lisamoodul	2	Wi-Fi	14
Nedis Smart Switch Module	Lisamoodul	2	Wi-Fi	16
Fibaro Single Switch 2	Lisamoodul	1	Z-Wave	54
Shelly Qubino Wave PM1	Lisamoodul	1	Z-Wave	40
Sonoff M5 Smart Wall Switch	Traditsiooniline	1-3	Wi-Fi	22
Aqara Smart Wall Switch H1	Traditsiooniline	1-2	ZigBee	43

ZigBee tehnoloogial töötavate seadmete kasuks otsustamisele aitas kaasa ka autori soov kasutusele võtta akna avatust jälgivaid andureid. Üks peamisi ZigBee seadmete eeliseid on nende energiatõhusus, mis pikendab kasutatava toiteallika kasutusiga. Zigbee protokoll tagab ka usaldusväärse ja turvalise side seadmete vahel, edendades tugevat ja omavahel ühendatud targa kodu ökosüsteemi. ZigBee seadmete kasuks otsustamisel võttis autor arvesse ka seadmete maksumust.

Korterisse lisatud nutilülite juhtimiseks ning akna avamise andurite oleku lugemiseks on vajalik ZigBee protokolliga toetatav ühendussild. Valitud ühendussillaks osutus SonOff ZigBee Bridge Pro. Antud seade on käesoleva targa kodu lahenduse üks võtmekomponente, võimaldades luua ühenduse ZigBee ja Wi-Fi seadmete vahel. Seadmete ühendussilla mudeli valikul langetas autor otsuse SonOff tootemargi kasuks varasemalt sooritatud nutilülite ning akna avamise andurite valiku põhjal.

Eluruumide siseõhu näitajate monitoorimiseks paigaldas autor korterisse Heiman Smart Air Quality Monitor seadme, mis mõõdab suhtelist õhuniiskust, temperatuuri ning süsihappegaasi sisaldust õhus. Autor kasutas Heiman seadet peamiselt ruumide siseõhu CO₂ sisalduse mõõtmiseks. Lisaks mainitud seadmele mõõdavad siseõhu suhtelist niiskust ja temperatuuri ka peatüki alguses mainitud Google Nest tootesarja termomeetrid.

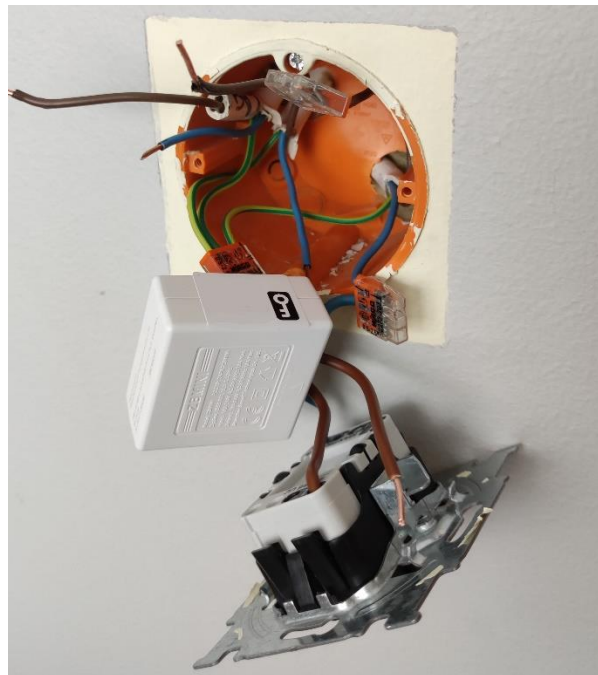
2.4 Praktilise töö käigus ilmnenuid probleeme ja takistused

Enne töö praktilise osa sooritamist jäi autor hätta targa kodu lahenduste, mida vaatlusaluse korteri eluruumides rakendada, leidmisel. Autori hinnangul on korterelamus võrreldes eramajaga oluliselt vähem potentsiaalseid rakenduskohti erinevate targa kodu seadmetele. Näiteks ei saa kortermajas rakendada targa kodu lahendusi, mis hõlmavad nutikaid uksekellasid, robotmuruniidukeid või automatiseeritud kastmissüsteeme.

Suurimaks praktilise töö käigus ilmnenuid probleemiks osutus eluruumide sisekliimat mõjutava Komfovent Domekt R200V ventilatsiooniseadme rike. Seadme vooluvõrgust lahti ja hiljem tagasi vooluvõrku ühendamisel riknes agregaadiga juhtseade, mistõttu muutus seadme juhtpaneel kasutuks. See juhtum tõi endaga kaasa ajakulu, mis kulus

seadme remontimise või alternatiivse juhtseadme otsimisele. Kuna ühegi teise seadmega antud ventagregaati juhtida ei ole võimalik, kasutas autor samaaegselt võimalust koguda andmeid elektrienergia kulu kohta ilma ventilatsiooniseadmeta. Probleemi ja võimalike lahenduskäikude uurimisel leidis autor, et mainitud ventagregaati on võimalik juhtida ka ModBus protokolliga ning Wi-Fi võrguühenduse abil, kuid selle jaoks on vajalik Ping 2 lisamoodul, mille saab soetada vaid ametliku maaletooja käest. Uuemad Komfovent seadmed võrguühenduse loomiseks lisamoodulit ei vaja. Seadme juhtimisega tekkinud probleem õnnestus autoril lahendada uue juhtseadme paigaldamise näol.

Väljakutseid praktilise töö käigus pakkus ka elektritööde teostamine. Korteris, milles autor targa kodu seadmeid ja tehnoloogiaid rakendas, elektrikilbi kaanele oli valesti märgitud pörandakütte rikkevoolukaitse. Ettevaatlikuse tulemusena avastas autor vea elektritöödega alustamise algfaasis. Avastus võimaldas autoril tuvastada õige kaitsme ning teostada elektritööd ohutult, katkestades vooluühenduse. Elektritööde puhul osutus keerukaks ka nutilülite mahutamise harutoosidesse. Joonis 2.2 illustreerib Sonoff ZBMINI nutilüliti mooduli paigaldamise tööprotsessi.



Joonis 2.2 Nutilüliti moodulite paigaldamise tööprotsess

Tööle lisas keerukust erinevate seadmete saadavus Eesti turul. Mitmete seadmete puhul oli edasimüüjate käest võimalik osta vaid piiratud koguse seadmeid. Näiteks oli autor sunnitud hankima töös kasutatud Google Nest nutikad termostaadid kahe erineva kaupleja käest. Sama nähtus esines ka teiste seadmete puhul, kuid sellest olenemata

õnnestus töö autoril soovitud seadmed hankida. Lisaks piiratud kogustele leidub ka seadmeid, mis ei ole Eesti turul saadaval. Näiteks on üheks neist seadmetest Ecobee kaubamärgi nutikad termostaadid.

Lisaks seadmete saadavusele osutus probleemiks, millega autor enne töö alustamist arvestada ei osanud, ka seadmete maksumus. Töös kasutatud seadmete hinnad osutusid oodatust oluliselt kõrgemaks. Autor lahendas probleemi, soetades mõned töös kasutatud seadmed järelturult. Tabelis 2.3 on välja toodud järelturult ostetud seadmed, nende maksumus järelturul ning turuhind. Samuti on tabelis välja toodud järelturult soetatud seadmete ostmiseks kulunud summa ning seadmete turuhindade summa.

Tabel 2.3 Järelturult soetatud seadmete maksumus ja turuhind

Seade	Hind järelturul (€)	Turuhind (€)
Google Nest Learning Thermostat	55.00	265.10
Google Nest Learning Thermostat	30.00	265.10
Google Nest Learning Thermostat	32.50	265.10
Google Nest Audio	60.00	164.00
Google Nest Mini	13.75	45.35
Google Nest Mini	17.75	45.35
Xiaomi Mi Stick 4K	35.25	55.99
Heiman Smart Air Quality Monitor	11.50	59.90
Kokku	255.75	1165.89

3. MONITOOIMINE JA ANDMETE KOGUMINE

3.1 Metoodika

Käesoleva töö raames lisas autor vaatluse all olnud eluruumidesse 17 uut seadet, eemaldas 4 seadet ning muutis 3 seadme töövoogu. Kõik lisatud seadmed on välja toodud tabelis 3.1 ning muudatuse läbinud seadmed tabelis 3.2. Autor lisas seadmeid, eemaldas neid ning muutis nende tööfunktsioone valdkonniti.

Tabel 3.1 Lisatud seadmed

Tootenimetus	Valdkond	Kasutuseesmärk	Kogus (tk)
Google Nest Learning Thermostat	Küte	Termostaat	3
Google Nest Audio	Meelelahutus	Juhtseade, audio	1
Google Nest Mini	Meelelahutus	Juhtseade, audio	2
Xiaomi Mi Stick 4K	Meelelahutus	Digiboks	1
Heiman Smart Air Quality Monitor	Ventilatsioon	Monitoorimine	1
SONOFF SNZB-04 ZigBee Wireless Door/Window Sensor	Ventilatsioon	Monitoorimine	1
SONOFF ZBMINI ZigBee Smart Switch	Valgustus	Nutilüliti	5
SONOFF DUALR3 Wi-Fi Smart Switch	Valgustus	Nutilüliti	1
SONOFF Zigbee Bridge Pro	Valgustus	Ühendussild	1
Schbot S8	Kodumasinad	Robottolmuimeja	1

Tabel 3.2 Muudatuse läbinud seadmed

Tootenimetus	Valdkond	Kasutuseemärk	Muudatus
Komfovent Domekt R200V	Kodumasinad	Ventilatsiooniseade	Muudatud tööfunktsioonides
LG GBB60NSYFE	Kodumasinad	Külmkapp	Wi-Fi liidestuse kasutuselevõtt
LG F2J7HY1W	Kodumasinad	Pesumasin	Wi-Fi liidestuse kasutuselevõtt
Arris VIP4302	Meelelahutus	Digiboks	Asendatud seadmega Xiaomi Mi Stick 4K
Tece RT-A (3tk)	Küte	Termostaat	Asendatud seadmega Google Nest Learning Thermostat
Kõlar	Meelelahutus	Meelelahutus	Asendatud seadmega Google Nest Audio

Eluruumide soojendamiseks kasutatava gaasienergia tarbimine ja selle muutumine targa kodu lahenduse rakendamisel on hinnanguline ja põhineb kirjandusallikatest kogutud andmetel. Vaatluse all olnud korteri kütmine toimub keskkütte näol, kasutades kõikide hoones kasutavate korterite kütmiseks ühte katelt. Katla töötamisest tekkiv

gaasikulu jagatakse korterite vahel ära ruutmeetripõhiselt, mistõttu ei saa autor korteri kommunaalkulude väljavõtete põhjal ega muul moel hinnata korteri gaasienergia tarbimise kulu ja muutuseid selles.

Elektrienergia tarbimise mõõtmine ja kaardistamine toimus Eesti Energia iseteenindusportaali andmete põhjal. Portaal võimaldab kaugseire vahendusel koguda tunnipõhiseid andmeid elektrienergia tarbimise kohta erinevatel ajaperioodidel. Vaatluse all oli energiatarbimise ajalugu enne ja pärast erinevate seadmete lisamist. Seadmete lisamine toimus etappidena, et jälgida muutuseid, mis kaasnevad erinevate seadmete ja seadmegruppide kasutusele võtmisega. Tarbimise ajaloo lugemise lihtsustamiseks töötas andmete kogumise ajal ventagregaat, elamu suurim tarbija, konstantselt fikseeritud kiirusega töörežiimis, et vähendada eksimisvõimalusi. Erandiks mainitud tegevuse juures oli ventagregaadi enda automatiseerimise mõju uurimine, mis leidis aset enne teiste käesoleva töö raames rakendatud seadmete lisamist.

Ventilatsiooniseadme energiatarbimise mõõtmise viis autor läbi mitmes etapis, muutes korteris kasutuses oleva Komfovent ventagregaadi tööfunktsioone ning jälgides tegevuse mõju elektrienergia kulule. Enne uuringu alustamist töötas ventilatsiooniseade vastavalt kasutajate harjumustele seade sisse ja välja lülitada. Esimese etapi käigus seadistas autor ventagregaadi töötama nädalagraafiku alusel. Programmeeritud nädalagraafik hõlmas endas erinevaid tööintervalle ja seadme töökiiruseid, et tagada soovitud sisekliima tingimused ja kasutajate heaolu eluruumides viibimise ajal. Eluruumidele esitatavate nõuete määrase kohaselt peab eluruumide siseõhu niiskus jääma vahemikku 40-60%. Siseõhu temperatuur ei tohi langeda alla 18 °C. [39] Teise etapina uuris autor ventilatsiooniseadme konstantse tööfunktsiooni mõju energiatarbimisele. Viimasena jälgis autor elektrienergia kulu perioodil, mil ventilatsiooniseade oli välja lülitatud, et anda hinnang seadme elektrienergia tarbimisele. Lisaks andis viimane etapp võimaluse hinnata teiste eluruumides kasutuses olnud seadmete tarbimise suurusjärku.

Töö käigus lisatud seadmete mõju elektrienergia tarbimisele hindas autor seadmete lisamisele eelnenud ning järgnenud ajaperioodide mõõtmistulemuste põhjal. Autor lisas seadmeid gruppina, et kiirendada tööprotsessi ning saada parem ülevaade energiatarbimises toimunud muutustest. Keskmine mõõteperiood enne ja pärast seadmete grupi lisamist oli 270 tundi. Erinevateks lisatud seadmegruppideks olid termostaadid, nutikõlarid, nutilülitid ja robottolmuimeja.

Säärase meetodika ja mõõtmistehnika kasutamisel tuleb arvestada mõõteveaga, mis on tingitud lühikese kestvusega mõõteperioodidest, kasutaja häiringutest ning mõõteseadme enda mõõteveast. Seetõttu võttis autor vaatluse alla ka seadmete tootelehed ning nende poolt kasutatavate tehnoloogiate kirjandusülevaated.

Töös kasutatud seadmete tootelehtede põhjal arvutas autor seadmete hinnangulise energiakulu erinevatel mõõtmise perioodidel. Autor võrdles arvutatud suuruseid mõõdetud tulemustega ning analüüsis kogutud andmeid.

3.2 Tarbimise ajalugu

Järgnevas tabelis on välja toodud elektrienergia tarbimine vaatluse all olnud eluruumides ventilatsiooniseadme erinevate tööfunktsioonide kasutamisel. Autor kogus andmeid 240 tunni pikkuste mõõteperioodide vältel, mil autor seadistas seadme töötama programmeeritud nädalagraafiku alusel ning perioodil, mil seadme töö sõltus kasutajate harjumusest seadet sisse ja välja lülitada. Lisaks jälgis autor korteri energiakulu perioodil, mil ventagregaat töötas konstantsel töökiirusel ning perioodil, mil seade oli välja lülitatud. Tabelis 3.3 kajastuvad andmed mõõtmisperioodide kestvuste, elektrienergia kulu ning arvutatud keskmise elektrienergia kulu kohta.

Tabel 3.3 Elektrienergia tarbimine ventilatsiooniseadme erinevate tööfunktsioonide kasutamisel

Tööfunktsioon	Perioodi pikkus (h)	Elektrienergia kogukulu (kWh)	Keskmine elektrienergia kulu (kWh/h)
Kasutajate häiringutega	240	35,611	0,1484
Programmeeritud tööfunktsioon	240	36,495	0,1521
Konstantne tööfunktsioon	240	42,608	0,1775
Välja lülitatud	240	19,832	0,0826

Tabel 3.4 kirjeldab elektrienergia tarbimist vaatluse all olnud korteris enne ja pärast erinevate seadmete lisamist. Tabelis on välja toodud mõõtmisperioodide kestvused, elektrienergia kogukulu ning keskmine elektrienergia kulu enne ja pärast seadmete lisamist. Mõõtmisperioodid enne seadmete lisamist ja pärast seadmete lisamist olid võrdse kestvusega.

Tabel 3.4 Elektrienergia tarbimine enne ja pärast uute seadmete lisamist

Lisatud seadmed	Perioodi pikkus (h)	Kogukulu enne (kWh)	Keskmine kulu enne (kWh/h)	Kogukulu pärast (kWh)	Keskmine kulu pärast (kWh/h)
Termostaadid	384	69,703	0,1815	64,015	0,1667
Nutikõlarid	384	64,015	0,1667	50,539	0,1316
Robottolmuimeja	216	20,125	0,0932	34,053	0,1577
Nutilülitid	96	13,189	0,1374	16,206	0,1688

3.3 Tootelehed

Lisaks elektrienergia tarbimisajaloo põhjal andmete kogumisele uuris autor praktilises töös kasutatud seadmete potentsiaalset energiakulu ka seadmete tootelehtedelt kogutud andmete põhjal. Tabelis 3.5 on välja toodud erinevad töös kasutatud seadmed ning nende voolutarve toote tehniliste andmete põhjal. Seadmed, mille toote tehniliste andmete hulgas ei leidunud informatsiooni energiatarbimise kohta, jättis autor tabelist välja. Näiteks jäid vaatluse alt välja nutilülitid, mille energiatarve on tavapäraste mõõtevahenditega tuvastamatu.

Tabel 3.5 Seadmete energiatarve tootelehtede põhjal [48]–[52]

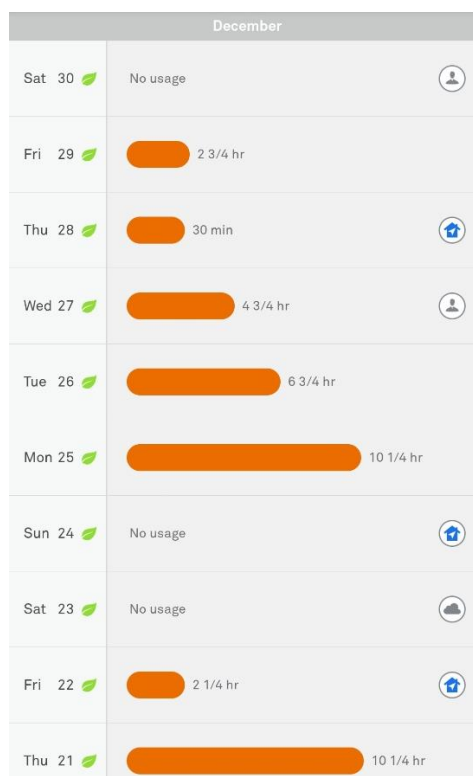
Seade	Voolutarve töörežiimis	Voolutarve ooterežiimis
Arris VIP4302	4 Wh	0,37 Wh
Xiaomi Mi Stick 4K	2,5 Wh	0,6 Wh
Komfovent Domekt R 200 V	27-66 Wh	
Google Nest Learning Thermostat	< 1,5 Wh	
Google Nest Audio	2,2-13 Wh	1,4-1,9 Wh
Google Nest Mini	1,7 Wh	1,4 Wh
Heiman Smart Air Quality Monitor	5 Wh	
LG F2J7HY1W	0,54-0,89 kWh	0,45 Wh
LG GBB60NSYFE	178 kWh aastas	

4. HINNANG ENERGIATARBIMISE MUUTUSTELE

4.1 Analüüs

Autor leidis, et optimaalsete sisekliima tingimuste loomiseks peab olema täidetud kaks tingimust. Kasutajasõbraliku ja tervisliku siseõhu suhtelise niiskuse ning süsihappegaasi sisalduse tagamiseks peab eluruumides toimuma õhu pidev ringlemine. Ventilatsiooniseadme pikaajalisel seiskamisel tõusis siseõhu suhteline niiskus eluruumides kohati üle 60% ning süsihappegaasi sisaldus õhus kohati üle 1200 ppm. Kasutajate tervisele ohtliku olukorra vältimiseks tuulutas autor eluruume, avades selleks aknad. Ventagregaadi töö lühiajalisel peatamisel sisekliima tingimustes suuri muutuseid ei toimunud. Seetõttu sai autor peatükis 2.3 mainitud nädalagraafiku seadistamisel jätta ventilatsiooniseadme ööseks välja lülitatuks, et tagada eluruumides vaikus. Koos õhu pideva ringlusega peab tagatud olema ka optimaalne kütte reguleerimine, mis mõjutab samuti siseõhu suhtelise niiskuse taset.

Praktilise töö käigus korterisse lisatud Google Nest termostaadid võimaldavad kasutajal jälgida, kui pika ajaperioodi vältel on viimase seitsme päeva jooksul olnud kütte sisse lülitatud. Joonisel 4.1 on kuvatud korteri elutuppa lisatud termostaadi küttejaloost väljavõtte perioodil 2023. aasta detsembrikuu viimasest nädalast.

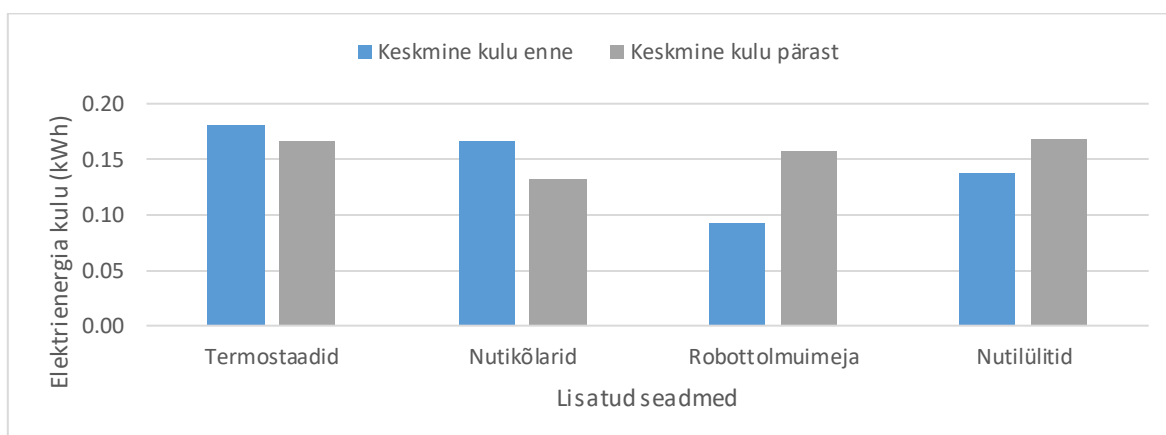


Joonis 4.1 Kuvatõmmis Nest nutirakenduses kuvatud kütmise ajaloost

Autori hinnangul kirjeldab väljavõtte kütmise ajaloost hästi kõnealuse seadme potentsiaali hoida kütmisele kuluva energia arvelt kokku kuni 12% [38]. Vaatlusaluse korteri 2023. aasta detsembrikuu kommunaalkulude väljavõtte põhjal arvutades, võis kokkuhoid eluruumidele kütmiseks kasutatava energia arvelt olla kuni 113 kWh.

Uurides elektrienergia kulu ventilatsiooniseadme erinevate tööfunktsioonide kasutamisel selgus, et kasutuses oleva Komfovent Domekt R200V ventagregaadi energiatarve moodustab ligi pool kogu näidiskorteri elektrienergia kulust. Autori kogutud andmetest tabelis 3.1 kajastub, et võrreldes konstantsel kiirusel töötamisega, vähenes ventilatsiooniseadme seiskamisel elektrienergia kulu 22,776 kWh ehk 54% võrra. Seadme tootelehe tehniliste andmete põhjal on seadme hinnanguline energiakulu kuni 15,840 kWh. Autori hinnangul võib suur tulemuste erinevus olla tingitud kasutajate käitumisharjumuste muutustest mõõtmisperiodide jooksul, kuna mõõtmistulemustes kajastub kõikide korteris kasutuses olevate seadmete energiakulu korruga.

Käesoleva töö praktilise osa jooksul kogutud andmete põhjal toimus töö esimeses osas energiakulu langus, mida illustreerib joonis 4.2. Peale robotolmuimeja kasutusele võtmist oli märgata energiakulu hüppelist kasvu. Analüüsisid väljavõtet tunnipõhisest energiatarbimisest vaatluse all olnud ajavahemikul, järeldas autor, et hüppeline muutus ei ole tingitud vaid robotolmuimeja lisamisest. Kuna väljavõttest avaldus, et energiakulu oli algsest suurem ka neil tundidel, mil robotolmuimeja ei olnud laadimisalusel, on autori hinnangul tõus energiatarbimises tingitud kasutajate käitumisharjumuste muutumisest. Samuti leiab autor, et mõõtmistulemused võivad olla mõjutatud ka lühemast mõõtmisperiodist.



Joonis 4.2 Keskmine elektrienergia kulu enne ja pärast seadmete lisamist

Võrreldes energiatarbimist kasutusest eemaldatud seadme Arris VIP4302 ning kasutusele võetud seadme Xiaomi Mi TV Stick 4K tootelehtedelt leitavate tehniliste parameetrite põhjal, järeltas autor, et lisatud seadme voolutarve tööfunktsioonis on hinnanguliselt 37,5% madalam. Ooterežiimis on aga lisatud seadme voolutarve eemaldatud seadme tarbimisest hinnanguliselt 62% kõrgem. Võttes näiteks olukorra, kus seade on ööpäeva jooksul töörežiimi lülitatud umbes kaks tundi ning ülejäänud ööpäeva jooksul on seade lülitatud ooterežiimi, tarbib uus seade hinnanguliselt 18,2 Wh elektrienergiat päevas. Eemaldatud seade tarbis samas stsenaariumis hinnanguliselt 16,14 Wh elektrienergiat. Kui pikendada näites kasutatud seadmete töörežiimi lülitatud aega 12 h pikkuseks perioodiks ning vähendada vastavalt sellele ooterežiimi lülitatud perioodi kestvust, on tulemused 37,2 Wh Xiaomi seadme puhul ning Arris digiboksi kasutamisel 52,44 Wh ööpäevas. Mainitud näite põhjal järeltas autor, et lisatud seadme tõhusus energiatarbimise vähendamisel tuleb välja vaid seadme pikaajalisel kasutamisel.

Võttes vaatluse alla kronoloogilises järjestuses teisenä esineva, termostaatide paigaldamisele järgnenud mõõtmisperioodi ning viimase, nutilülite paigaldamisele järgnenud Kajaperioodi, võib märgata sarnasust mõõdetud tulemustes. Mainitud ajaperioodidel mõõdetud keskmine elektrienergia tarbimine ühes tunnis vastavalt 0,1667 kWh ja 0,1688 kWh. Märgatavast sarnasusest järeltas autor, et töö käigus rakendatud targa kodu lahendus ning selle raames paigaldatud seadmed mõjutavad energiatarbimist minimaalselt. Teisalt võib mõõtmistulemuste sarnasus olla ka tingitud seadmete madalama energiakulu ning muutunud kasutajate käitumisharjumuste kooslusest.

Autori hinnangul on antud töö näitel keeruline määratleda targa kodu lahenduste rakendamise otsest mõju energiatarbimisele. Energiatarbimine on mõjutatud mitmest erinevast tegurist, millest suurimate mõjuteguritena võib välja tuua kasutajate käitumisharjumused ning ilmastikuolud. Kuna mainitud mõjutegurid on ajas muutuvad, ei saa erinevatel ajaperioodidel mõõdetud tulemuste võrdlemisel olla kindel, et kõik energiatarbimist mõjutavad tegurid olid mõõtmisperioodidel ühesugused. Näiteks on suure tõenäosusega külmal talveperioodil eluruumide soojendamise energiakulu suurem kui soojal suveperioodil. Käesoleva töö põhjal saab anda hinnangu vaid konkreetse eluaseme elektrienergia kulule ja selle muutusele, mis leidsid aset töö teostamise ajal.

4.2 Rakendatud tehnoloogiate mõju kasutajate käitumisharjumustele

Käesoleva töö raames rakendatud targa kodu lahendused tõid endaga kaasa ka mõningad muutused kasutajate käitumisharjumustes. Peale nutikodu lahenduste ja tehnoloogiate rakendamist oli märgata kasutajate suurenenud huvi sisekliima olude vastu. Autor hakkas rohkem tähelepanu pöörama siseõhu suhtelise niiskuse ja süsihappegaasi sisalduse monitoorimisele ja reguleerimisele, kasutades selleks erinevaid praktilise töö käigus rakendatud seadmeid.

Käesolev töö mõjutas otseselt ka kasutajate harjumusi, mis puudutavad erinevate seadmete juhtimist. Praktilise töö teostamise ajal hakkasid vaatluse all olnud korteri elanikud seadmete mugavamaks juhtimiseks aktiivselt kasutama nutitelefone ning häälkäskluseid. Häälkäsklustega hakkasid nutikodu elanikud juhtima peamiselt valgustust, helisüsteemi ning teleri sisse ja välja lülitamist. Kasutajad esitasid Google'i tehisintellektil põhinevale assistendile küsimusi ning lihtsamaid ülesandeid, nagu näiteks äratuskella seadistamine ja eluruumides valgustuse lülitamine.

Kasutaja käitumisharjumusi majapidamistöode teostamisel mõjutas robottolmuimeja paigaldamine eluruumidesse ning varasemalt kasutuses olnud pesumasina ühendamine nutiseadmega. Pesumasina ühendamisega nutiseadmega, hakkasid kasutajad saama nutitelefoni meeldetuletusi, kui on aeg tavaliste pesutsüklite vahel käivitada masina puhastussükkel. Robottolmuimeja muutis puhastustööd automatiseerituks, pakkudes varasemalt puhastustööd käsitsi teostanud kasutajatele rohkem vaba aega. See andis omakorda kasutajale võimaluse veeta rohkem aega kasutades teisi, töö käigus lisatud seadmeid.

Olemasolevale telerile Android TV funktsionaalsuse lisamise tagajärjena veetsid kasutajad rohkem aega telerit vaadates. Harjumus veeta rohkem aega teleri ees, käivitada tavapärasest rohkem pesumasina töotsükleid ning kõik teised käitumisharjumuste muutused, avaldavad omakorda mõju energiatarbimisele.

4.3 Järeldus

Autor saavutas käesoleva töö raames püstitatud eesmärgid. Praktilise töö käigus valmis targa kodu lahendus, luues vaatluse all olnud eluruumides soovitud optimaalsed sisekliima tingimused ning muutes elanike igapäevelu mugavamaks läbi kasutusele võetud nutiseadmete.

Antud töö raames rakendatud targa kodu lahendus põhjustas vaatluse all olnud korteri energiatarbimises nii positiivseid kui ka negatiivseid muutuseid. Tarbimine vähenes võttes kasutusele väiksema energiakuluga seadmeid ning automatiseerides kasutusse jäänud seadmete töövooge. Teisest küljest oli märgata energiatarbimise suurenemist, mille põhjustas mitu tegurit. Tarbimise kasvule aitas kaasa nii suurenenud tarbijate hulk eluruumides kui kasutajate käitumisharjumuste muutumine. Töö teostamise perioodil vähenes keskmine tunnipõhine energiatarbimine 7% võrra.

Autori hinnangul on targa kodu lahendusi rakendades võimalik energiatarbimist vähendada, kuid seda vaid selleks sobivatel tingimustel. Muutus energiatarbimise vähenemise näol võivad olla märgatavam nende eluruumide puhul, milles on kasutusel vanemad, suurema energiakuluga seadmed. Sellest hoolimata on energiatarbimise vähendamise suurim mõjutegur kasutajate käitumisharjumuste muutmine. Madala võimsusega seadme pidev kasutamine või kokkuvõttes tekitada suurema energiakulu kui suure võimsusega seadme harv kasutamine.

KOKKUVÕTE

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli luua kasutajatele meelepärane targa kodu lahendus ning uurida selle mõju energiatarbimisele ja kasutajate käitumisharjumustele. Ühtlasi soovis autor uurida, kuidas mõjutavad kasutajate käitumisharjumused energiatarbimist nutikodu rakendamisel ning kuidas mõjutab targa kodu lahendus kasutajate käitumisharjumusi.

Töö esimeses osas annab autor ülevaate erinevatest nutikodudes kasutatavatest tehnoloogiatest ning seadmetest ja nende potentsiaalsetest kasutuskohtadest. Lisaks on esimeses peatükis juttu nutikodude ökosüsteemidest, targast kodust Eestis ning koduautomaatika süsteemide rakendamisega kaasnevatest ohukohtadest. Teises peatükis annab autor ülevaate käesoleva töö raames vaatluse all olnud korterist ja otsitava targa kodu lahenduse eesmärkidest. Teine peatükk tutvustab lugejale ka töö käigus valminud targa kodu lahenduses kasutatud seadmeid, tööprotsessi nende integreerimisel eluruumidesse ning töö käigus ilmnenu probleeme. Kolmandas osas tutvustab autor käesoleva töö uurimuse metoodikat, andmekogumismeetodit ja kogutud andmeid ning viimasena analüüsib autor kogutud andmeid ja targa kodu lahenduse rakendamisel läbitud tööprotsessi. Autor annab hinnangu töö praktilises osas rakendatud targa kodu lahenduse mõjule kasutajate käitumisharjumuste muutustele.

Autor võttis targa kodu lahenduse koostamisel ja integreerimisel ülesandeks saavutada vaatluse all olnud eluruumides kasutajate soovitud sisekliima tingimused, milleks on siseõhu suhteline niiskus vahemikus 40-60%, siseõhu temperatuur vahemikus 22-24 °C ning süsihappegaasis sisaldus õhus alla 1000 ppm. Lisaks soovitud sisekliima tingimustel saavutamisele, soovis autor lisada eluruumidesse nutikaid seadmeid, mis muudavad kasutajate igapäevased toimetused lihtsamaks.

Töö praktilise osa käigus valmis targa kodu lahendus kahetoalise korteri näitel täites selleks varasemalt seatud eesmärgid ja nõuded. Praktilise töö käigus lisas autor vaatluse all olnud korterisse 17 uut seaded, eemaldas 2 seadet ning muutis 3 seadme töövoogu. Töö käigus kogutud energiatarbimise andmete põhjal on märgata nii tarbimise vähenemist kui suurenemist. Võrreldes andmeid mõõtmistulemuste kohta töö algusfaasis ning töö lõpetamise hetkel, leidis autor, et energiatarbimises, ei ole toimunud olulisi muutuseid. Autori hinnangul on keeruline hinnata targa kodu lahenduste otsest mõju energiatarbimisele, kuna see on mõjutatud mitmest erinevast mõjutegurist, millest üheks on kasutaja käitumisharjumused ning nende muutusest ajas.

SUMMARY

The aim of this thesis was to create a smart home solution based on users needs and to study its impact on energy consumption and user behavior. At the same time, the author wanted to investigate how the user's behavioral habits affect the energy consumption when implementing a smart home and how the smart home solution affects the user's behavioral habits.

In the first part of the work, the author provides an overview of the various technologies and devices and their potential uses in smart homes. In addition, the first chapter talks about the ecosystem of smart homes, the smart home in Estonia and the dangers associated with the implementation of home automation systems. In the second chapter the author provides an overview of the apartment that was modified and the goals of the smart home solution. The second chapter also introduces the reader to the devices used in the smart home solution that were implemented during the process, the work process when integrating them, and the problems encountered during the process. In the third chapter, the author introduces the research methodology, data collection method and collected data of this work. Lastly, the author analyzes the collected data and the work process carried out during the implementation of the smart home solution. The author evaluates the impact of the smart home solution implemented in the practical part of the work on the changes in user behavior.

The author took the task of creating and integrating a smart home solution to achieve the indoor climate conditions desired by the users. In addition to achieving the desired indoor climate conditions, the author wanted to add smart devices to the living spaces that make the users' daily tasks easier.

During the practical part of the work, a smart home solution was designed and implemented on a two-room apartment, fulfilling the previously set goals and requirements. During the practical work, the author added 17 new devices to the apartment under observation, removed 2 devices and changed the workflow of 3 devices. Based on the energy consumption data collected during the work, both a decrease and an increase in consumption can be noticed. Comparing the data on the measurement results at the beginning of the work and at the end of the work, the author found that there have been no significant changes in energy consumption. According to the author, it is difficult to assess the direct impact of smart home solutions on energy consumption, as it is affected by several different influencing factors, one of which is the user's behavioral habits and their change over time.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] „Our History“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.honeywell.com/us/en/company/our-history>. Kasutatud: 13. jaanuar 2024.
- [2] A. Dingli ja D. Seychell, „Smart Homes“, *The New Digital Natives: Cutting the Chord*, A. Dingli ja D. Seychell, Toim, Berlin, Heidelberg: Springer, 2015, lk 85–101. doi: 10.1007/978-3-662-46590-5_7.
- [3] „What is a Smart Home?“, Smart Home Energy. [Online]. Loetud aadressil: <https://smarthomeenergy.co.uk/what-smart-home/>. Kasutatud: 5. detsember 2023.
- [4] Y. Sun ja S. Li, „A systematic review of the research framework and evolution of smart homes based on the internet of things“, *Telecommun Syst*, kd 77, nr 3, lk 597–623, juuli 2021, doi: 10.1007/s11235-021-00787-w.
- [5] B. Zhou *et al.*, „Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies“, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, kd 61, lk 30–40, aug 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.03.047.
- [6] B. Mubdir, A. Al-Hindawi, ja N. Hadi, „Design of Smart Home Energy Management System for Saving Energy“, *ESJ*, kd 12, nr 33, lk 521, nov 2016, doi: 10.19044/esj.2016.v12n33p521.
- [7] J. Bennett, O. Rokas, ja L. Chen, „Healthcare in the Smart Home: A Study of Past, Present and Future“, *Sustainability*, kd 9, nr 5, Art. nr 5, mai 2017, doi: 10.3390/su9050840.
- [8] A. J. Obaid, „Assessment of Smart Home Assistants as an IoT“, *International Journal of Computations, Information and Manufacturing (IJCIM)*, kd 1, nr 1, Art. nr 1, dets 2021, doi: 10.54489/ijcim.v1i1.34.
- [9] Z. Wan, „Smart Home Entertainment System with Personalized Recommendation and Speech Emotion Recognition Support“, *IJSH*, kd 10, nr 8, lk 129–142, aug 2016, doi: 10.14257/ijsh.2016.10.8.14.
- [10] W. Wang, G. He, ja J. Wan, „Research on Zigbee wireless communication technology“, *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering*, sept 2011, lk 1245–1249. doi: 10.1109/ICECENG.2011.6057961.
- [11] „What is Intel WiDi vs WiFi | Difference between WiDi and WiFi“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/WiDi-vs-WiFi.html>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [12] „z-wave tutorial | z-wave basics“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/z-wave-tutorial.html>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.

- [13] J. Ploennigs, U. Ryssel, ja K. Kabitzsch, „Performance analysis of the EnOcean wireless sensor network protocol“, *2010 IEEE 15th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETFA 2010)*, sept 2010, lk 1–9. doi: 10.1109/ETFA.2010.5641313.
- [14] „Advantages of Thread Protocol | disadvantages of Thread Protocol“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/Advantages-and-Disadvantages-of-Thread-Protocol-for-Home-Automation.html>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [15] W. Zegeye, A. Jemal, ja K. Kornegay, „Connected Smart Home over Matter Protocol“, *2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE)*, jaan 2023, lk 1–7. doi: 10.1109/ICCE56470.2023.10043520.
- [16] „Bluetooth Mesh, Thread, and Zigbee Network Performance Benchmarking - Silicon Labs“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.silabs.com/wireless/multiprotocol/mesh-performance>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [17] „Comparison of Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, and Bluetooth Wireless Technologies Used in Home Automation | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore“. [Online]. Available at: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8757472>. Kasutatud: 9. jaanuar 2024.
- [18] M. Μπαλκωνής ja M. Balkonis, „WIFI evolution “beyond WIFI 6”“, Master Thesis, Πανεπιστήμιο Πειραιώς, 2021. doi: 10.26267/unipi_dione/985.
- [19] L. Oliveira, J. J. P. C. Rodrigues, S. A. Kozlov, R. A. L. Rabêlo, ja V. H. C. de Albuquerque, „MAC Layer Protocols for Internet of Things: A Survey“, *Future Internet*, kd 11, nr 1, Art. nr 1, jaan 2019, doi: 10.3390/fi11010016.
- [20] L. Sun, R. K. Sheshadri, W. Zheng, ja D. Koutsonikolas, „Modeling WiFi Active Power/Energy Consumption in Smartphones“, *2014 IEEE 34th International Conference on Distributed Computing Systems*, juuni 2014, lk 41–51. doi: 10.1109/ICDCS.2014.13.
- [21] I. Lopatovska *et al.*, „Talk to me: Exploring user interactions with the Amazon Alexa“, *Journal of Librarianship and Information Science*, kd 51, nr 4, lk 984–997, dets 2019, doi: 10.1177/0961000618759414.
- [22] C. White ja J. N. Gilmore, „Imagining the thoughtful home: Google Nest and logics of domestic recording“, *Critical Studies in Media Communication*, kd 40, nr 1, lk 6–19, jaan 2023, doi: 10.1080/15295036.2022.2143838.
- [23] N. Fifield, „Apple HomeKit Application and Cost Breakdown“, *Construction Management*, juuni 2020, [Online]. Loetud aadressil: <https://digitalcommons.calpoly.edu/cmosp/377>

- [24] „Ettevõtte tutvustus”. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.se.com/ee/et/about-us/company-profile/>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [25] „Meist”, Airobot. [Online]. Loetud aadressil: <https://airobothome.com/meist/>. Vaadatud: 8. jaanuar 2024.
- [26] Veriff, „AI-powered Identity Verification Software”, Veriff. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.veriff.com/company>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [27] NEWAY, „Meie lugu”, Cleveron. [Online]. Loetud aadressil: <https://cleveron.com/ettevottest/meielugu>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [28] J. Bugeja, A. Jacobsson, ja P. Davidsson, „On Privacy and Security Challenges in Smart Connected Homes”, *2016 European Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC)*, aug 2016, lk 172–175. doi: 10.1109/EISIC.2016.044.
- [29] N. Apthorpe, D. Reisman, ja N. Feamster, „A Smart Home is No Castle: Privacy Vulnerabilities of Encrypted IoT Traffic”. arXiv, 18. mai 2017. doi: 10.48550/arXiv.1705.06805.
- [30] C. Debes, A. Merentitis, S. Sukhanov, M. Niessen, N. Frangiadakis, ja A. Bauer, „Monitoring Activities of Daily Living in Smart Homes: Understanding human behavior”, *IEEE Signal Processing Magazine*, kd 33, nr 2, lk 81–94, märts 2016, doi: 10.1109/MSP.2015.2503881.
- [31] „EUR-Lex - 310401_2 - EN - EUR-Lex”. [Online]. Loetud aadressil: <https://eur-lex.europa.eu/ET/legal-content/summary/general-data-protection-regulation-gdpr.html>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [32] Z. Ling, J. Luo, Y. Xu, C. Gao, K. Wu, ja X. Fu, „Security Vulnerabilities of Internet of Things: A Case Study of the Smart Plug System”, *IEEE Internet of Things Journal*, kd 4, nr 6, lk 1899–1909, dets 2017, doi: 10.1109/JIOT.2017.2707465.
- [33] „Buildings - Energy System”, IEA. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.iea.org/energy-system/buildings>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [34] D. Tejani, A. M. A. H. Al-Kuwari, ja V. Potdar, „Energy conservation in a smart home”, *5th IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies (IEEE DEST 2011)*, Daejeon, Korea (South): IEEE, mai 2011, lk 241–246. doi: 10.1109/DEST.2011.5936632.
- [35] J. King, „Energy Impacts of Smart Home Technologies”.
- [36] „Save energy and live comfortably with Nest thermostat savings”, Google Store. [Online]. Loetud aadressil: <https://store.google.com/intl/en/ideas/articles/nest-thermostat-savings/>. Kasutatud: 5. detsember 2023.
- [37] M. Blasnik, „Extending the Impact of Smart Thermostats: measured impacts from automated set point schedule tune-ups”.

- [38] C. Mchugh, „EVALUATION OF THE NEST LEARNING THERMOSTAT IN A MULTIFAMILY APARTMENT SETTING“.
- [39] „Eluruumile esitatavad nõuded–Riigi Teataja“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.riigiteataja.ee/akt/109072020017>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [40] „Airobot nutikas pörandakütte termostaat“, Airobot. [Online]. Loetud aadressil: <https://airobothome.com/toode/airobot-nutikas-termostaat-porandakutte-juhtimiseks/>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [41] „Wi-Fi-enabled smart thermostats | ecobee“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.ecobee.com/en-ca/smart-thermostats/>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [42] „Smart Thermostat“, Netatmo. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.netatmo.com/en-gb/smart-thermostat>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [43] „Xiaomi TV Stick 4K | Mi-home.ee“, Mi-Home.EE | Xiaomi Ametlik Pood. [Online]. Loetud aadressil: <https://mi-home.ee/video/xiaomi-tv-stick-4k>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [44] „Xiaomi TV Box S (2nd Gen) | Mi-home.ee“, Mi-Home.EE | Xiaomi Ametlik Pood. [Online]. Loetud aadressil: <https://mi-home.ee/video/xiaomi-tv-box-s-2nd-gen>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [45] „Chromecast with Google TV“, Google Store. [Online]. Loetud aadressil: https://store.google.com/us/product/chromecast_google_tv?hl=en-US. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [46] „Fire TV Stick 4K with Dolby Atmos & Dolby Vision - Dolby“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.dolby.com/experience/set-top-box/fire-tv-stick-4k/>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [47] „Apple TV 4K“, Apple. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.apple.com/apple-tv-4k/>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024.
- [48] „arris-datasheet-vip4302w.pdf“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.telia.se/dam/jcr:017f662e-0191-4301-8abf-41be3289716a/arris-datasheet-vip4302w.pdf>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [49] „How much power does your smart home use?“, The Ambient. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.the-ambient.com/features/smart-home-energy-use-costs-bills-2778>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [50] „The Energy Impacts of Smart Speakers and Video Streaming Devices“. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.nrdc.org/resources/energy-impacts-smart-speakers-and-video-streaming-devices>. Kasutatud: 8. jaanuar 2024.
- [51] „LG GBB60NSYFE“, LG Eesti.. [Online]. Loetud aadressil: <https://www.lg.com/ee/kulmikud/lg-GBB60NSYFE>. Kasutatud: 11. jaanuar 2024

[52] „LG F2J7HY1W Tootetugi:Juhendid, garantii & veel | LG Estonia“, LG USA. [Online].
Loetud aadressil: <https://www.lg.com/ee/toetus/toote/lg-F2J7HY1W>. Kasutatud:
11. jaanuar 2024.

ENERGIAARVUTUSEL PÕHINEV ENERGIAMÄRGIS

Energiamärgise nr : 1611569/02662
 Hoone kategooria: elamu
 Hoone kasutamise otstarve: 11222 Muu kolme või enama korteriga elamu
 Aadress: Tartu maakond, Luunja vald, Veibri küla, Koidutähe tee 60
 Ehitisregistri kood:
 Ehitusaasta: 2017
 Kõetav pind: 1810.1 m²
 Kortrite arv: 27
 Soojusvarustus: lokaalküte
 Energiaallikas: kütus, maagaas

Tellija: OÜ Kapitalin

Energiamärgise algandmete allikas: Projektdokumentatsioon



Energiatõhususarv (ETA): 128 kWh/m²·a
 Märgise väljaandmise kuupäev: 19.10.2016
 Märgis kehtib kuni: kaks aastat hoone valmimisest alates

Märgise väljaandja:

Äriühing/FIE: OÜ Prosolar
 Registrikood: 12109860
 Vastutav spetsialist: Olga Saar

Märgise väljaandja kinnitab, et projekteeritud/rekonstrueeritud hoone vastab energiatõhususe miinimumnõuetele.