

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
Infotehnoloogia teaduskond

Einar Velpler 031641IABB

"Tark Maja" kaasaegsete tehnoloogiate võrdlusanalüüs

Bakalaureusetöö

Juhendaja: Sergei Pavlov

Vastab
magistrikraadile

Tallinn 2021

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: Einar Velpler

31.05.2021

Annotatsioon

Antud töös on teostatud kaasaagsete Tark Maja tehnoloogiate võrdlusanalüüs, selleks et selgetada kuidas arenevad Tarka maja tehnoloogiat ja millised võimalused ja teenused nimetatud süsteemid saavad pakkuvad. Analüüsi käigus vaadatakse üle käsitleva uuringu raames tehnoloogiate puudused ja eelised, mille abil tehakse järeldused süsteemide otstarve, paindlikkuste, turvalisuste ja kasulikkuste kohta.

Lõputöö on kirjutatud eesti keeles ning sisaldab teksti 32 leheküljel, 6 peatükki, 12 joonist, 6 tabelit.

Abstract

Comparative Analysis of Modern "Smart Home" Technologies

This work has been carried out as a benchmark for smart house technologies, in order to explain how smart house technologies are evolving and what kind of capabilities and services these systems can provide. The analysis will review the shortcomings and advantages of the technologies in the framework of the study, which will draw conclusions about the purpose, availability, security and benefits of the systems.

The thesis is in Estonian and contains 32 pages of text, 6 chapters, 12 figures, 6 tables.

Lühendite ja mõistete sõnastik

GFSK	Direct-sequence spread spectrum
BPSK	Binary pahase shif keying
OQPSK	Offset quadrature phase-shift keying
QAM	Quadrature amplitude modulation
DSSS	Direct-sequence spread spectrum
QAM	Quadrature amplitude modulation
DSSS	Direct-sequence spread spectrum
FHSS	Frequency-hopping spread spectrum
OFDM	Orthogonal frequency-division multiplexin
ASK	Amplitude-shift keyin
FSK	Frequency-shift keying
LED	Light-emitting diode
IP	Internet Protocol

Sisukord

1 Sissejuhatus	10
2 Tark Maja kirjeldus ja süsteemide põhimõte.....	12
2.1 Tark Maja arengu ajalugu.....	12
2.1.1 Juhtimine	14
2.1.2 Energiavarustus	14
2.1.3 Kliimakontroll	15
2.1.4 Multimedia	15
2.1.5 Valve.....	16
2.1.6 Tuleohutus	16
2.2 Tark Majasüsteemide töökindlus.....	16
2.3 Tark Maja süsteemide puudused	17
3 Tark Maja süsteemides kasutatavate tehnoloogiate ülevaade	18
3.1 Juhtmevabad tehnoloogiad	18
3.1.1 Z-wave	18
3.1.2 ZigBee	19
3.1.3 Wi-Fi.....	20
3.1.4 EnOcean	20
3.1.5 Bluetooth	21
3.1.6 Thread.....	21
3.2 Juhtmega tehnoloogia	22
3.2.1 LonWorks	22
3.2.2 ModBus	23
3.2.3 KNX	24
3.2.4 BACnet.....	25
4 Targa Maja tarkvara süsteemide ülevaade.....	26
4.1 Amazon Echo	26
4.2 Google Home.....	27
4.3 Apple Siri.....	27

4.4 Fibaro.....	28
4.5 Zipato.....	29
4.6 ComfortClick.....	30
5 Võrdlusanalüüs ja järeldused.....	31
5.1 Juhtmevaba tehnoloogiatega võrdlusanalüüs	31
5.2 Juhtmega tehnoloogiatega võrdlusanalüüs.....	32
5.3 Tark Maja tarkvarade võrdlusanalüüs	34
5.4 Tark Maja süsteemide ühiste omaduste ja võimaluste analüüs.....	36
6 Kokkuvõtte	41
Kasutatud kirjandus	43
Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	48

Jooniste loetelu

Joonis 1- Kortermajade renoveerimise plaan Tartus	11
Joonis 2 - Z-Wave protokolli virna	18
Joonis 3 - ZigBee protokolli virna	19
Joonis 4 - LonTalk protokolli virna	23
Joonis 5 - Modbus protokolli virna	24
Joonis 6 - KNX protokolli virna	24
Joonis 7 - Bacnet-protokolli virna	25
Joonis 8 - Amazon Echo Show 8	26
Joonis 9 - Google Home Hub nutiekraan	27
Joonis 10 - Apple HomeKit	28
Joonis 11 - Fibaro home Center 3	29
Joonis 12- Kontroller Zipato Zipabox	30

Tabelite loetelu

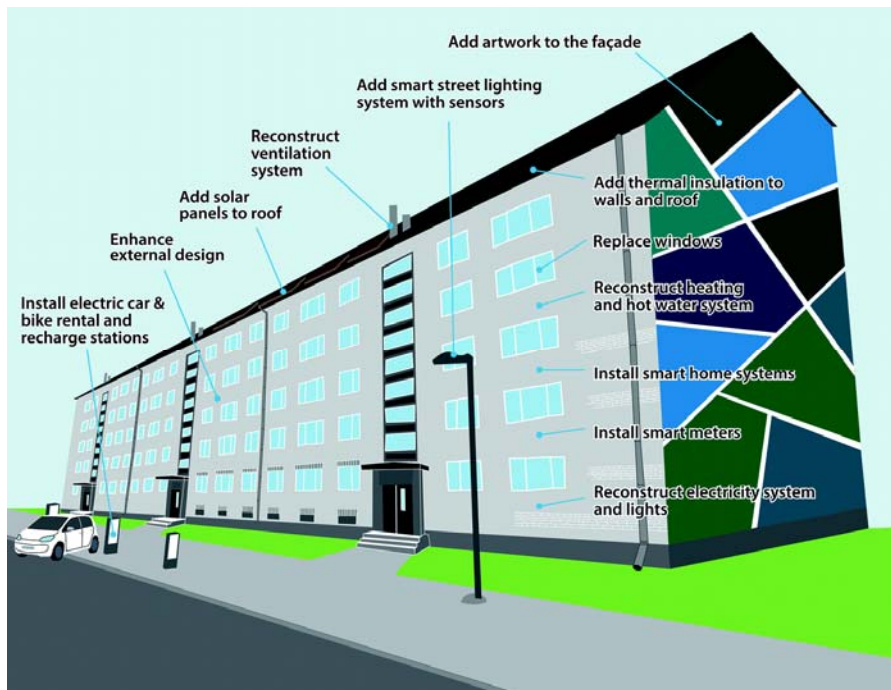
Tabel 1 - Jutnevaba tehnoloogiate võrdlevad omadused.....	31
Tabel 2 - Juhtmegatehnoloogiate peamised eelised ja puudused.	32
Tabel 3 - Juhtmega tehnoloogiate võrdlevad omadused	33
Tabel 4 - Juhtmega tehnoloogiate peamised eelised ja puudused.	34
Tabel 5 - Tarkvara süsteemide eelised ja puudused	35
Tabel 6 - Targa Maja tarkvara süsteemide võrdlevad omadused	36

1 Sissejuhatus

Targa Maja mõistet võib tõlgendada kui „Intellektuaalsete tehnoloogiate abil ehitatud maja“. See tähendab, et hoone peab olema projekteeritud nii, et kõiki maja elutähtsaid teenuseid saab omavahel integreerida minimaalsete kuludega (rahalisel, turvalisuse, aja ja töömahukuse osas) ning nende hooldus on korraldatud parimal võimalikul viisil. Isegi esmapilgul Targal Majal on mitmeid vaieldamatuid eeliseid, mis suurendavad oluliselt elanike mugavust.

Praegu on olemas üsna lai valik tehnoloogiaid, süsteeme ja riistvaravahendeid, et rakendada neid kontseptsiooni Tark Maja raames. Ameerika Ühendriikide, Euroopa Liidu, Jaapani ja teiste riikide juhtivad äriühingud juba hoonete projekteerimisel rakendavad peaaegu tingimata eluasemeinfrastruktuuris intellektuaalseid tehnoloogiaid. See suundumus on seotud riiklike reguleerivate asutuste rangete nõuetega parandada projektide keskkonnatõhusust ja vähendada kasvuhoonegaaside heidet atmosfääri. Eesti ettevõtted püüavad pakkuda samuti kaasaegseid ja tõhusaid lahendusi ning intellektuaalseid tehnoloogiaid nii uute hoonete ehituse puhul kui ka juba ehitatud hoonete renoveerimisel. Teine suund on eriti oluline seoses vajadusega moderniseerida Nõukogude Liidu ajal ehitatud elamute infrastruktuuri.

Näiteks Euroopa Liidu fondidest rahastatud Projektis SmartEnCity on kavas uuendada 1960ndatel ehitatud „hrushjovkasid“. Vanade hoonete renoveerimiseks on planeeritud mitte ainult fassaadide täielikku uuendamist, päikesepaneelide paigaldamist hoonete katustele, uusi aknaid, soojustagastusega ventilatsiooni, küttesüsteeme, vaid ka rakendada Targa Maja süsteemi paigaldamine. See projekt on äratanud huvi naaberriikides - eriti Lätis, Poolas ja Bulgaarias, kus on säilinud ja kasutusel ka nõukogudeaegsed eluruumid. [1] Joonisel 1 on kujutatud kortermajade renoveerimise plaan Tartus (Eesti).



Joonis 1- Kortermajade renoveerimise plaan Tartus [44].

Seega peetakse asjakohaseks ja oluliseks viia läbi teadusuuringud Tark Maja kontseptsiooni rakendamisel kasutatavate kaasaegsete tehnoloogiate loetelu, tuginedes uutele teaduslikele artiklitele, kommertstootjate andmetele ja rakendatud projektidele.

Uuritud töö teema mitmekülgsus eeldab haridus- ja teadusressursside kasutamist intellektuaalsete süsteemide valdkonnas, samuti ka teaduskirjandust juhtmevaba ja juhtmega süsteemide üldpõhimõtete kohta, Eesti juhtivate seadmete tootjate veebilehti, mida kasutatakse Targa Maja projektis ning muid teemasid, mis näitavad uuritavate küsimuste teoreetilist ja praktilist tähtsust.

Selle töö eesmärk on viia läbi Targa Maja kaasaegsete tehnoloogiate võrdlev analüüs.

Töö ülesanded on järgmised:

- Targa Maja süsteemide ehitamise ja tööpõhimõtte kirjeldus;
- Targa Maja süsteemide jaoks kasutatavate juhtmevaba ja juhtmega tehnoloogiate ülevaade;
- Targa Maja tarkvarasüsteemide ülevaade ;
- Targa Maja juhtmevaba ja juhtmega tehnoloogiate ning tarkvarasüsteemide võrdlusanalüüs;

2 Tark Maja kirjeldus ja süsteemide põhimõte

2.1 Tark Maja arengu ajalugu

Juba aastakümneid on inimesed automatiseerinud mitte ainult tehaseid ja vabrikuid, kuid ka oma kodusid. Tark Maja on intellektuaalne juhtimissüsteem, mis ühendab kõik seadmed ühte kompleksi, mis on oluline erinevate ülesannete täitmiseks turvalisuse, eluliselt vajalike funktsioonide, meelelahutuse ja kommunikatsiooni valdkonnas. Tegelikult võib mistahes igapäevane seade töötada automaatselt, ilma inimese osaluseta. Antud töös määratletakse mõistet Tark Maja (inglise keeles - smart house) kui kaasaegset tüüpi elumaja, mis on korraldatud inimestele, et nad saaksid elada automatiseerimise ja kõrgtehnoloogiliste seadmete maksimaalse kasutamisega, mis pakuvad kõigile selle kasutajatele turvalisust, ressursisäästlikke ja mugavaid elufunktsioone. [3]

Targa Maja mõiste sõnastati esmakordselt 1970.aastatel Washingtonis (Columbia ringkond) Intellektuaalse hoone Instituudis. Targa Maja ajalugu pärineb 1961. aastast, kui vennad Joel ja Ruth Spira löid ja patenteerisid spetsiaalse seadme valguse sujuvaks reguleerimiseks – drimmer.[2]

Järgmine suurem areng Tark Maja tehnoloogia edendamisel oli 1975.aastal Rootsi ettevõtte Pico Electronics koduautomaatika arendamine, mida kasutati esmakordselt muusikamängijate juhtimiseks. Ameeriklased Scott ja Rosslyn Miller on täiustanud koduautomaatikat. [3]

Kaasaegse Tark Maja sünniaastaks peetakse 1978.aastat, kui USA ettevõttes X10 USA ja Leviton loodi X10 tehnoloogia, mis tagab majapidamises kasutatavate elektriseadmete kasutamist juhtmete võrgu kaudu. Selle lahenduse peamine rakendamine oli seotud elektrivalgustusega ja põhifunktsioonid võimaldasid täita ainult kuut toitehalduse käsku. [4]

Täiustades X10, suuremad ühinesid elektroonikatootjad Elektroonikatööstuse Liiduga (EIA) ja võtsid 1992.aastal vastu uue standardi GEBus (Consumer Electronic Bus). Nüüd

saab juhtsignaali edastada majapidamise elektrivõrgu (110 vatti) juhtmete, keerdpaaari või koaksiaalkaabli kaudu, samuti raadiosageduse või infrapuna vahemikus. [4]

Praegu on mõiste Targa Maja lahutamatu seotud asjade interneti kontseptsiooniga (inglise keeles – Internet of Things (IoT)), mis viitab füüsiliste objektide-seadmete, sõidukite, hoonete ja muude üksuste võrgustikule, mis sisaldab mikroprotsessori elemente, spetsiaalset tarkvara, nutikaid andureid ja interneti-ühenduse kanaleid, mis võimaldavad neil objektidel andmeid koguda ja jagada[5]. Esimest interneti-ühendusega rõsterit esitleti konverentsil 1989.aastal ja ekspertide hinnangul 2025.aastaks koosneb IoT-võrk enam kui 30 miljardist objektist.[6]

1980.aastate lõpus kasutas Jaapan Targa Maja kontseptsiooni esimest täielikku rakendamist, kus Tokyos ehitati nn „TRON“, mille autor on professor Ken Sakamura. Nutitehnoloogiad avavad iseseisvalt aknad ja lülitavad sisse õhu jahutamist palavuse saabumisega ning kui ühes korteris liiga valju mängib muusika, siis sulguvad aknad automaatselt naabrite müra vähendamiseks. [7]

Microsofti asutaja Bill Gates ehitas “nutikate süsteemidega“ ühe kallima maja. Projektis on kasutatud kõige arenenumad tehnoloogiad, mis käitavad inseneritehnilise süsteemi ja kontrollivad mikrokliimat igas ruumis. Lisaks Bill Gatesi majale kuuluvad suurimate Tarkmajade projektide hulka näiteks ÜRO peakorter ja Rockefeller Center New Yorgis, kaubanduskeskus Mall of America Bloomingtonis (Minnesota ringkonnas) ja paljud teised. [8]

Praegu on enam kui 20% Euroopa hoonetest varustatud nutisüsteemidega. Nende hulgas on palju kõrghooneid kliimakontrolliga ja kaugjuhtimisega, mis võimaldab kontrollida peaaegu kõiki struktuure. [6]

Üks maailma juhtivama statistilise ressursi www.statista.com hinnangul moodustab Eestis Targa Maja turumaht aastal 2021 umbes 150 miljonit USA dollarit ja see jõuab 2025.aastaks 285 miljoni USA dollarini (keskmise aasta kasv 17,3%) [9]. Targa Maja süsteemide ülesanded ja võimalused Targa Maja süsteem on ühtne automatiseeritud elutoe süsteemi juhtimiskompleks. Igas Targa Maja toas asuvad erinevad andurid ja sensorid, mis loevad vajalikku kodusisendi teavet ja moodustavad juhtimissüsteemi

sisendi. Seejuures Targa Maja ülesanded ja võimalused määravad selle allsüsteemid, kuhu kuuluvad : [10,11]

- Juhtimise allsüsteem;
- Energiavarustuse allsüsteem;
- Kliimakontrolli allsüsteem;
- Multimeedia allsüsteem;
- Ohutus-ja turvalisuse allsüsteem;
- Tuleohutuse allsüsteemi

Vaatame lähemalt kõiki allsüsteeme

2.1.1 Juhtimine

Juhtimissüsteem sisaldab keskkontrollerit, puutepaneele, kaugjuhtimispulte erinevates versioonides, seinajuhtseadmeid erinevates versioonides, termostaate, nutitelefone, tahvelarvuteid ja personaalarvuteid, millel on installitud spetsiaalne nutikas Targa Kodu tarkvara, juhtmevaba ja juhtmega kanalid, sündmusesalvestid, mis on paigutatud kõvaketastele või pilvesalvestusse. [10-12]

Juhtimissüsteemi oluline nõue on ühe infosiini olemasolu, mille kaudu kõik turva-, inseneri ja telekommunikatsioonisüsteemid töötavad kooskõlastatult. Näiteks ruumi paigutamisel valve alla viivitusega lülitakse välja teatud pistikupesade rühmade võimsus ja kogu kaitseala valgustus. [10-12]

Targa Maja juhtimise allsüsteemi erinevate skeemide töötlemisele on pühendatud valdav osa teadustöödest. Näiteks H.Mao ja muud Artiklis «Design and implementation of a new smart home control system based on Internet of Things» üksikasjalikult käsitletakse juhtmevaba ZigBee tehnoloogial põhinevate nutikate andurite kasutamise aspekte koduandmevõrgu-ja halduse korraldamiseks. Kaugjälgimise -ja juhtimise nutisüsteem sisaldab sisseehitatud veebilüüsi, pilveserverit ja nutitelefoni rakendusi. [12].

2.1.2 Energiavarustus

Energiavarustuse allsüsteemi kuuluvad vee-, elektri-, gaasi- ja küttesüsteemid.

Energiavarustuse allsüsteemi ülesanded on järgmised:

- Valgustuse kontroll ja valgustuse stsenaariumide juhtimine. Hõõg- luminofoor-, energiatõhusate ja LED lampide juhtimise saab teostada liikumisandurite vaheldusel lokaalselt või tsentraliseeritud laua -või juhtmevabade (nutitelefonid, tahvelarvutid) seadmete kaudu.
- Elektriseadmete ja vahendite juhitav lülitus: määratud ajal, elektritariifi, liikumise, päikesetõusu ja -loojangu, ilmajaamade mõõdetud andmetest lähtudes.
- Pimendamine: rulood, luugid, rullid, varikatused, projektsiooniekraanid – sõltuvalt päikesevalgustuse intensiivsusest, päikesetõusu ja -loojangu ajast, vastavalt jahutamisele – päikese varjustamine, vastavalt kuumenemisele – varjamine otsese päikesevalguse eest.
- Energiahaldus: ajalugu, graafikud, arvestus, arhiveerimine, päikesepaneelide, tuuleturbiinide integreerimine ja neilt energia ümberjaotamine.
- Ilmajaamade juhtimine: temperatuuri, niiskuse, rõhu, tuule suuna ja tugevuse mõõtmine ruloode või klaasitud raamide sulgemiseks ilmastikutingimuste halvenemisel. [10-12]

2.1.3 Kliimakontroll

Kliimakontrolli allsüsteem hõlmab kliima-, kütte- ja ventilatsiooniseadmeid. Kliimakontrolli allsüsteemi eraldi elemendid on katlad, soojuspumbad, päikesepaneelid, radiaatorid, konvektorid, fancoils, elektri-ja veeküttega põrandad, soojustagastuse seadmed, jäätumise vastased süsteemid ja sulamissüsteemid. Sissepuhke- ja väljatõmbe ventilatsiooni süsteem vastab sissevoolava õhu analüüsi eest ja järgnev ventilatsiooni juhtimine teostatakse asjakohaste niiskus-, suitsu-, CO-gaaside ja temperatuuri andurite abil. [10-12]

2.1.4 Multimedia

Multimeedia allsüsteem hõlmab telekommunikatsioonisüsteeme, nagu telefon, heliseadmed, videokaamerad, televisioon ja Internet. Multimeedia allsüsteem vastutab Targa Kodu meelelahutuse infrastruktuuri ja multimeediaseadmete eest. Meedia allsüsteemi üksikelemendid võivad hõlmata järgmist:

- Mitmetsoonilised helisüsteemid. Lisaks meelelahutusfunktsioonile täidab ohutusfunktsiooni ja hoiatab elanikke hädaolukordades (tulekahju, suits jne).

- Nutikad telerid ja koduvideosüsteemid. Samal ajal on ka monitorid veebiressursside ja videomängude vaatamiseks, kodukino ekraan ja erinevate videoallikate juhtimiskeskus. [10-12]

2.1.5 Valve

Valve allsüsteem on turva-, videovalve ja juurdepääsu kontrollisüsteemide kogum.

Valve allsüsteemi ülesanded on järgmised:

- Juurdepääs ruumidesse: kontaktivabad kaardid, kesklukud, elektroonilised kaameratelefonolukud, video-fonolukud, integreeritud biomeetriliste andmete skaneerimismoodulid.
- Videovalve: salvestamine IP-kaameratele serverisse või reaalajas vaatamine nutitelefonides, tahvelarvutites, sülearvutites.
- Turvasüsteemi korraldus: liikumisandurid, ukse- ja aknakontaktid; klaasipurunemisandurid, suitsu- ja gaasiandurid köögi- ja katlaruumidele, nurk- ja põranda veelekke andurid, territooriumi perimeetri kaitse. [10-12]

2.1.6 Tuleohutus

Tuleohutuse allsüsteem on tulehäireandurite, suitsu, tuletõrje, häirenuppude jms kogum.

Tuleohutuse allsüsteemi ülesanded on järgmised:

- Tulekahjude ennetamine. Juhtmestiku, õhu koostise ja muu pidev kontroll. Selleks paigaldatakse tundlikud keemilised, termilised ja spektraalandurid.
- Tulekahju fikseerimine suitsuanduri või muu seadmete käivitamisel. Antud juhul rakendatakse meetmeid tulekahju lokaliseerimiseks, lülitatakse välja gaas ja elekter (mis ei ole seotud tuletõrjesüsteemi tööga), peatatakse õhu vool ruumi (blokeeritakse ventilatsioonikanalid). Edasi automaatika teavitab elanikke ja saadab päästeteenistusse signaali.
- Tulekahju otsene kasutamine ruumide lagedel asuvate automaattulekustutite ja veepihustite abil. [10-12]

2.2 Tark Majasüsteemide töökindlus

Enamik kaasaegsetest seadmetest, mida erinevad ettevõtted toodavad Targa Maja automatiseeritud juhtimissüsteemide jaoks, saab integreerida ühte võrku. Integreerimisele aga võivad esineda omad puudused, mis tulenevad asjaolust, et erinevate tehnoloogiate

kombineerimine ühe automatiseeritud süsteemi ehitamisel suurendab süsteemi võimalike turvaaukude arvu ja vähendab Targa Maja töökindlust. [12].

Kaks peamist valdkonda, millest Targa Maja töökindlus sõltub, on järgmised:

- Seadmete ja tarkvara kvaliteet. Juhtmega süsteemid, tööstuslikud kontrollid, tuntud tootjate nutikad andurid on üsna kõrge arengu- ja töökindluse kvaliteediga, mida kinnitavad asjakohased litsentsid ja sertifikaadid. Käsitööseadmete või varem tundmatute ettevõtete poolt töödeldud seadmete puhul on üksikute seade- ja tarkvaraelementide rikete tõenäosus suur. [12].
- Projekteerimise ja paigaldamise kvaliteet. Isegi kõige töökindlamad ja tõestatud seadmed kvalifitseerimata paigalduses võivad langeda rivist välja ja mõjutada kogu Targa Maja süsteemi toimimist. Antud juhul elektriliini koormuse arvutused ja kaitse pingetõusu eest on väga olulised. [12].

Juhtimissüsteemi töökindlust võivad mõjutada tarkvara nõrgad kohad, mille kaudu kurjategijad saavad rakendada asjakohaseid ohte, näiteks viiruste ja muu pahavara kasutuselevõttu. Teaduskirjanduses Targa Maja töö usaldusvääruse arvutamine peamiselt põhineb töökindluse teorial ja Markovi ahelatel. Näiteks Zhao G. ja muu. «A hierarchical combinatorial reliability model for smart home systems» töös kaalutakse hierarhiliste ja kombinatoorsete lähenemisviiside rakendamist Targa Maja modelleerimisel ja töökindluse hindamisel [13.]

2.3 Tark Maja süsteemide puudused

Lisaks Targa Maja süsteemide vaieldamatutele eelistele esinevad puudused, millest peamisi võib seostada:

- Seadmete maksumus. Uute kõrgtehnoloogiliste seadmete kasutuselevõtt toob paratamatult kaasa elamute maksumuse suurenemise. Näiteks varem mainitud SmartEnCity projektis, mida rakendatakse Eestis, iga kortermaja moderniseerimise maksumus on umbes 1 miljon eurot ning ressursisäästust tingitud keskmine tasuvusaeg on üle 20-30 aasta [1].
- Üksikute seadmete kui ka terviku süsteemi keerukus. Ükski riistvaraseade pole katkiminekust või kokkujooksmisest kindlustatud. Lisaks vajavad nutisüsteemid paigaldamiseks ja käitamiseks veidi koolitusaega ja erioskusi, mis võib olla probleemiks vanemate elanike jaoks.

- Inimestele kahjuliku mõju tegurid. Tarka Maja juhitakse juhtseadmete (tahvelarvuti, personaalarvuti, nutitelefon) ühendamise peamise juhtplokiga, milline rakendab vajalikke seadmeid. Teoreetiliselt võib suur hulk väikse võimsusega juhtmevaba andureid pika aja jooksul inimesi mõjutada. Üksikasjalikud uuringud Targa Maja süsteemide üldiste puuduste ja eelkõige inimeste kahjutegurite kohta sisalduvad A.Benlain ja «Mitigating the intrusive effects of smart home assistants by using anthropomorphic design features: A multimethod investigation» ja Heartfield R. ja «A taxonomy of cyber-physical threats and impact in the smart home» töödes. [14-15]

3 Tark Maja süsteemides kasutatavate tehnoloogiate ülevaade

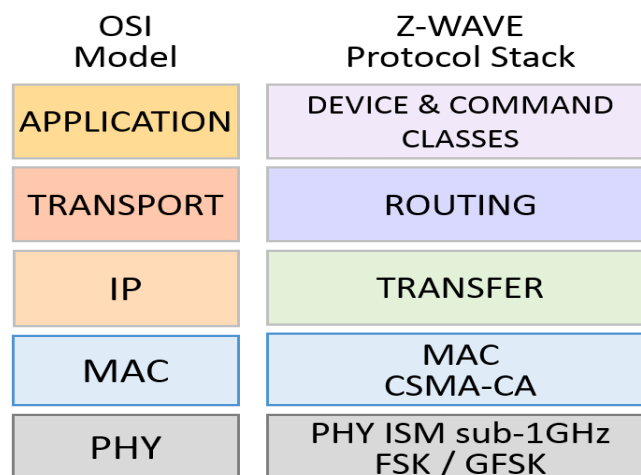
3.1 Juhtmevabad tehnoloogiad

Tarka Maja süsteemides kasutatavate juhtmevaba sidetehnoloogiate hulka kuuluvad Z-Wave, Zig-Bee, Wi-Fi, EnOcean, Bluetooth ja Thread. Vaatame neid kõiki lähemalt.

3.1.1 Z-wave

Z-Wave protokoll on mõeldud spetsiaalselt elamute ja väikeste ärihoonete juhtimiseks, jälgimiseks ja lugemiseks. Antud ajal Z-Wave on üks populaarsemaid protokolle Tarka Maja seadmete juhtmevaba süsteemide turul. [16]

Joonisel 2 on kujutatud Z-Wave protokolliviirna OSI mudeli suhtes.



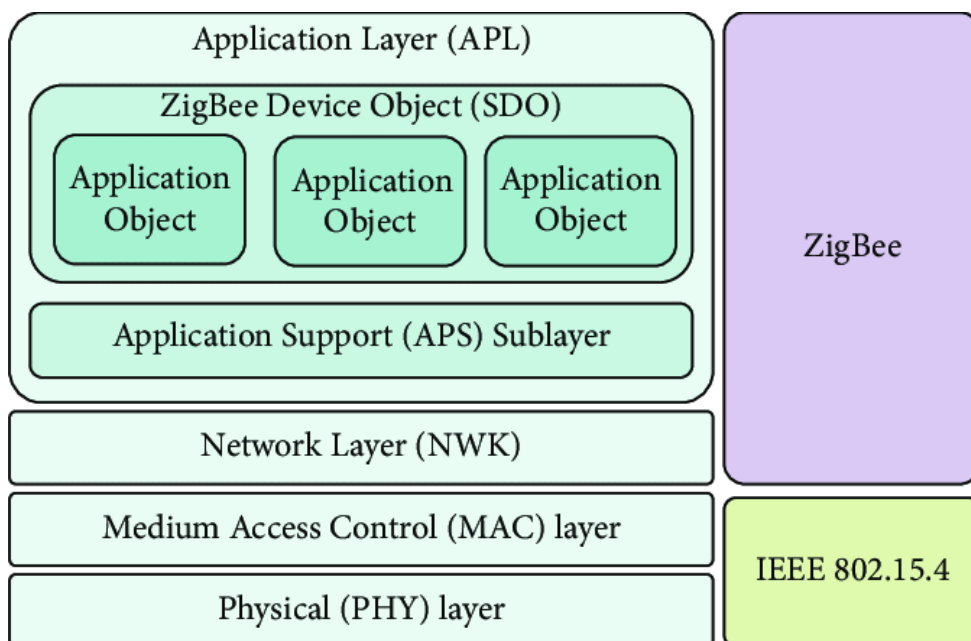
Joonis 2 - Z-Wave protokolliviirna. [45]

Z-Wave tehnoloogial nutiandurite projekteerimisel kasutatakse äriühingu Sigma Desings (USA) raadiokomponente. Z-Wave alusel on võimalik ehitada väikse võimsusega võrgusilma topoloogiavõrke sagedusega 900 MHz. Lisaks Z-Wave on sertifitseerimisprogramm, mis tagab kõigi toodete ühilduvuse, sealhulgas pöördühilduvuse tulevikus.

Peamine omadus, mis eristab Z-Wave'i teistest sarnastest tehnoloogiatest, on võrgu sõlmede vahelise side töötlemine rakenduste tasandil. Targa Maja Z-Wave ökosüsteem omab rohkem kui 1000 toodet, mis on täielikult ühilduvad, olenemata tootemargist või rakendusest. See pakub tarbijatele ja teenuseosutajatele laia valiku tooteid tüübi, stiili ja rakenduse järgi. [16]

3.1.2 ZigBee

ZigBee protokoll on avatud standard, väikese võimsusega, iseorganiseeruvate ja isetaastavate juhtmevaba võrkude jaoks, millel on võrgusilma topoloogia ja väike tegevuse raadius (kuni 75 meetrit). Esialgu keskendus see tööstuses kasutamisele, kuid tänapäeval kasutatakse seda mitmesuguste ülesannete lahendamiseks Targa Maja süsteemide koduautomatiseerimises. ZigBee energiatarbimine on väiksem (võrreldes Wi-Fi-ga) ja see toimib füüsilise taseme spetsifikatsiooni IEEE 802.15.4 (joonis 3) alusel. [17]



Joonis 3 - ZigBee protokoll viirna [46]

ZigBee protokollide eelised on järgmised:

- Töökindlus- ZigBee seadmed võivad üksteisega tegutseda isegi siis, kui lüüs on lahti ühendatud või puudub.
- Mastaapsus - ZigBee ja teised protokollid 802.15.4 baasil on võimelised toetama piiramatut arvu seadmeid.
- Võrgu automaattaastamise võime- kui võrguadministraator pole kätte saadav, lülitub võrguelement võrguühenduseta režiimi ja jätkab tööd.

ZigBee puuduseks on mitmete rakendustaseme standardide olemasolu (neli spetsifikatsiooni ja rohkem kui 10 standardit), mis raskendab erinevate riistvarade tööd ja põhjustab kokkusobimatuse probleeme. [17].

3.1.3 Wi-Fi

Wi-Fi 802.11 b/g/n/ac on praegu kõige kuulsam juhtmevaba protokollide grupp [18]. Wi-Fi peamine eelis on see, et Wi-Fi seadmed on kõigile tarbijatele tuttavad. Wi-Fi standard tuvastab ainult nutiseadmete madala kihi koostalitlusvõime, näiteks binaarsed andmeedastusmeetodid ja veakontrolli. Suhtluse tagamiseks tuleks samas keeles standardiseerida protokollide ülemist rakenduse kihti. Ja kuna iga tootja saab iseseisvalt määrata rakenduse kihti, siis sidet seadmete vahel on raske või võimatu tagada. See piirab Wi-Fi kasutamist Targa Maja seadmetes. Wi-Fi eeldab ka võrgu keskse juurdepääsupunkti olemasolu, mille rikke korral võrk lakkab töötamast. [18]

Wi-Fi tarbib teiste protokollidega võrreldes suhteliselt palju energiat, seega sobib see kasutamiseks elektritoitega riistvaras ja sellepärast ei sobi autonoomsetele seadmetele. Lisaks on Wi-Fi'l probleeme mastaapsuse osas. Näiteks toetavad mõned ruuterid kuni 15 seadme ühendamist ja Targa Maja süsteemidel võib olla neid sadu. [18]

3.1.4 EnOcean

EnOcean on IoT subgigaherts diapsooniga juhtmevaba tehnoloogia, mis on loodud töötama ilma akuta. Seadmeid toidab vaba energia, selleks kasutab EnOcean ülimadalat saatja võimsust ja madalat andmeedastuskiirust kuni 125 kbit/s amplituudi-impulssmodulatsiooniga (AIM, inglise terminoloogias Pulse Amplitude Modulation,

PAM), mis on sarnane sellele, kuidas töötab jutmevaba süsteemid, mis avavad auto uste lukud, või garaaživärvate kaugjuhtimissüsteemides. EnOceani saatjate võimsus on umbes 50 mikrovatti. EnOceani seadmete signaalid edastatakse kuni 300 m kaugusele avatud ruumis ja kuni 30 m siseruumides. [19]

EnOcean tehnoloogial on mitmeid eeliseid: võime kasutada "tasuta" energiat; lihtne hooldada (toiteallikaid ei ole vaja vahetada); paigaldamise ja vajaduse korral demonteerimise mugavus; süsteemide konfigureerimise paindlikkus, võime integreerida teiste protokollide alusel töötavate seadmetega ühtsesse Targa Maja süsteemide seire- ja haldusvõrku. [19]

3.1.5 Bluetooth

Bluetooth 4.0 Low Energy (BLE) tehnoloogia on käivitatud 2009. aastal äriühingu Bluetooth Special Interest Group (Bluetooth SIG) poolt. Selle peamine erinevus eelmistest Bluetooth SIG (2.0, 3.0 jne) standardidest on väiksem (10-20 korda) energiatarbimine, mis võimaldab BLE kasutamist autonoomsetoidega andmekogumissüsteemides. Kuid Bluetooth 4.0 üldiselt ei ühildu Bluetooth varasemate versioonidega. Erinevalt teistest tehnoloogiatest, nagu ZigBee, mis võimaldavad rakendada hajusvõrke, kus on mitu võimalust side üleandmiseks, toetab BLE ainult kahte Tüüpi topoloogiat: „punkt-punkt“ ja „täht“. BLE rakenduste hulka kuuluvad ohutusseadmed, koduautomaatika, elektriseadmete juhtimine, spordi treeningseadmed, meditsiiniseadmed jne. Bluetooth toetab standardseid rakenduskihi protokolle, mis on mõeldud nutitelefonide ja arvutite ühendamiseks, mis on puuduseks Targa Maja seadmetes kasutamisel. [20]

3.1.6 Thread

Thread – on üks viimastest Targa Maja süsteemide kasutatavatest protokollidest, see on avatud protokoll, võrgu seadmete adresseerimine IP aadressiga. Seadmed Thread baasil võivad tegutseda ilma luusita, mis oluliselt parandab nutiseadmete võrgu töökindlust. Thread põhineb standardil 802.15.4 ja on mõeldud seadmetele litsentseerimata sagedusvahemik 2,4 Ghz.

Thread eelised on järgmised:

- Mastaapsus: Targa Maja süsteemiga saab ühendada sadu seadmeid.

- Ühilduvus: arvestades seadmete suurt arvu ühes võrgus, tekib nende tõhusa koostöö vajadus.
- Suhteliselt odav ja lihtne varustus. Lisaks IP-põhise *stacke* protokollide kasutamine muudab kaasatud seadmete seadistamise lihtsaks.

3.2 Juhtmega tehnoloogia

Targa Maja süsteemide projekteerimisel kasutatakse uute hoonete puhul kõige sagedamini nutiseadmete kogumit, mis on ehitatud nii juhtmega kui ka juhtmeta tehnoloogiate baasil. Nende põhjal ehitatud juhtmega tehnoloogiaid ja koduautomaatikasüsteeme saab tavapäraselt jagada: avatud ja suletud.

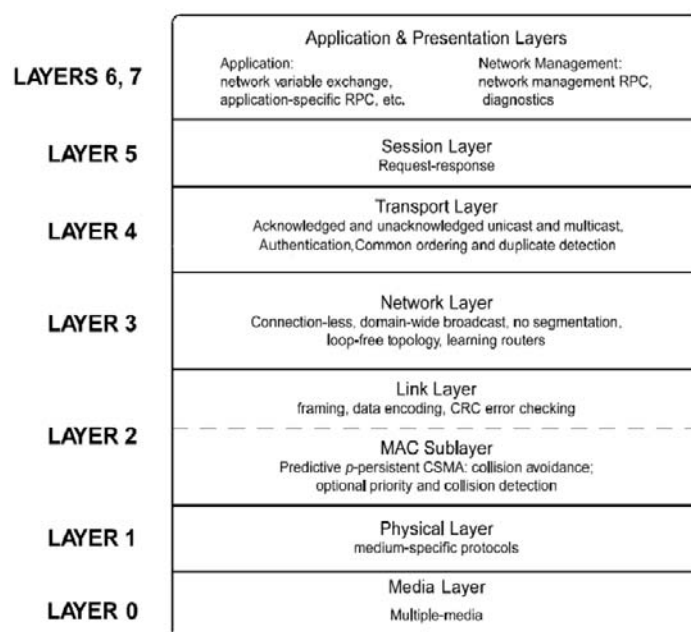
Suletud süsteeme kasutatakse siis, kui piisab kohaliku probleemi lahendamiseks, ning pole vaja tulevikus moderniseerimist ja ühendamist teiste tootjate automaatseadmetega. Selliste süsteemide hulka kuuluvad näiteks, Domintell (Belgia), Clipsall (Austraalia), AMX, Crestron (mõlemad USA) ja muud[22-25].

Avatud arhitektuur pakub laia valikut seadmeid erinevatelt tootjatelt, mis on korralikult integreeritud Targa Maja insenerikompleksi ilma üleminekuseadmeteta - lüüsideta. Lisaks on avatud süsteemide integreerijaettevõtete turg juba piisavalt suur, mis võimaldab valida teostaja automaatsüsteemi projekteerimise, paigaldamise ja seadistamise etapil. Kõige populaarsemad avatud süsteemid on LonWorks, KNX/EIB, MODbus, BACnet ja mõned teised. Antud töös on avatud arhitektuuriga süsteemide võrdlev analüüs, mis on Targa Maja süsteemide jaoks perspektiivne. [22-25].

3.2.1 LonWorks

Local Operation Networks (LonWorks) platvormi töötas välja Echelon Corporation (USA) 1991.aastal Targa Maja süsteemide ühtse arhitektuuri loomiseks. Selle tehnoloogia peamine ülesanne on luua arukas võrk, mis hõlmab seadmete jagamist intellektuaalelementide (sõlmede) rühmadeks, mis on ühendatud andmeedastuse seadmetega (keerdpaar, Ethernet). LonWorks platvorm kasutab OSI mudelit ja andmed edastakse kõigil seitsmel tasandil LonTalk protokollide kaudu. [26]

LonTalk protokoll on avatud ja seda saab „manustada“ mistahes sobivasse mikroprotsessorisse. Samuti LonWorks lahenduste eelised hõlmavad ka mitmesuguste võrguadapterite olemasolu, näiteks Ethernet, PCI, USB jne. [26] Joonisel 4 on kujutatud LonTalk'i protokollide virna.



Joonis 4 - LonTalk protokolliviirna [47]

3.2.2 ModBus

Modbus-protokoll ja ModBus-võrk on praegu kõige laialt levinud maailmas.

Vaatamata märkimisväärsele ajavahemikule (alates 1979. aastast) ModBus mitte ainult ei vanane, vaid ka jätkab moderniseerimist tänapäevases infotehnoloogiates, kasvab organisatsiooniline tugi ja oluliselt kasvab uute arenduste arv. Modbus oluliseks eeliseks on spetsiaalsete liideskontrollerite puudumine, programmi rakendamise lihtsus ja töö põhimõtte loogika. Antud eelised lubavad vähendada standardi omandamise kulusid nii süsteemiadministraatoritele kui ka kontrollseadmete arendajatele. Protokolliviirna suur avatus on samuti täielikult tagatud tasuta standardide spetsifikatsioonidega. [26]

Modbus on avatud kommunikatsiooniprotokoll, mis põhineb master-slave põhimõttel. Standardsel ModBus võrgul on üks Master ja kuni 247 Slaves, millest igaühel on ainulaadne alluv aadress. Modbus kasutatakse tööstusautomaatikas elektrooniliste seadmete ühendamiseks. Protokoll on ette nähtud ka andmete edastamiseks järjestikuste sideliinide kaudu, nagu RS-232, RS-422, RS-485 ja TCP/IP (Modbus TCP) võrgud. [26]

Modbus on OSI võrgumudeli rakenduskihi protokoll. Modbus protokolliviirna kontrollerid suhtlevad kliendi-serveri mudeli abil, mis põhineb päringutest ja vastustest tehingutel.

Joonisel 5 on kujutatud Modbus protokolliviirna OSI mudeli suhtes.

OSI 7 Layers	Modbus RTU / ASCII	Modbus TCP/IP
Application	Modbus AP	Modbus TCP
Presentation		
Session		
Transportation		TCP
Network		IP
MAC	Modbus RTU / ASCII	Ethernet 802.2 / 802.3
Physical	RS-232 / 485	10/100 BaseT

Joonis 5 - Modbus protokolliviir [54]

Modbus põhinevate lahenduste puudused on järgmised:

- Piiratud arv seadmeid (kuni 248);
- Keskmise töökindlus;
- Puudub võimalus luua hajutatud Targa Maja süsteemi. [26]

3.2.3 KNX

KNX praegu on üks kõige arenenumaid avatud standardidest, mida kasutatakse Targa Maja süsteemide ehitamisel. KNX kasutab peaaegu kõike kodusides kasutatavate juhtmehaanika tehnoloogiate eeliseid (keerpaar, elektriliin, IP-protokollil põhinev Ethernet-liin). KNX ühendab ühises sidesiinis erinevaid seadmeid, olenemata füüsilisest ülekandekeskkonnast, mida KNX kasutab teabe jagamiseks ettenähtud standardis. KNX standard põhineb OSI võrdlusmudelil, kuid kolm ülemist kihti on ühendatud üheks. Selle tulemusena KNX toimub viiel kihtidel: füüsiline-, andmete -, võrgu-, transpordi- ja rakenduskiht. [28-29].

Joonisel 6 on kujutatud KNX protokolliviira OSI mudeli suhtes.

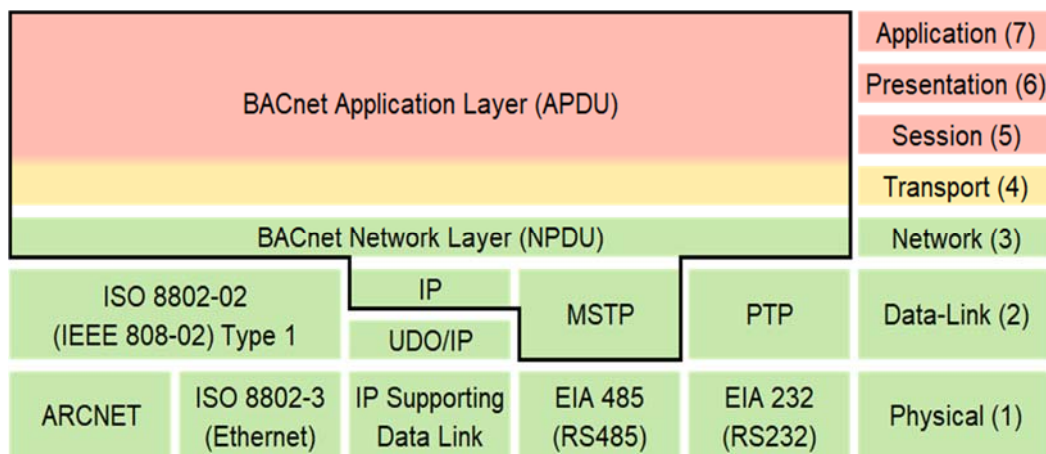
	OSI Model	KNX /EIB
7	Application Layer	Application Layer
6	Presentation Layer	-
5	Session Layer	-
4	Transport Layer	Transport Layer
3	Network Layer	Network Layer
2	Data Link Layer	Data Link Layer
1	Physical Layer	Physical Layer

Joonis 6 - KNX protokolliviira

KNX kaubanduslikke tooteid algselt reklaamiti Instabus seadmete liinil (välja töötatud äriühinguga Siemens ja sertifitseeritud EIBA), seejuures peamised jõupingutused on suunatud siseruumide energiatarbimise minimeerimisele ja ohutuse järgimisele [30]. KNX-põhine süsteem on keskkontrollerita hajussüsteem, kus kasutajal on võimalus konfigureerida, programmeerida ja juhtida nutiseadmeid Arvuti ja RS-232 liide kaudu ning EIB tarkvara kaudu. [28-29].

3.2.4 BACnet

BACnet on hoonete automatiseerimise ja Targa Maja haldusvõrkude loomise protokoll, mis on välja töötatud American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) spetsiaalse komitee poolt. [31-32] Joonisel 7 on kujutatud Bacnet-protokolli viina.



Joonis 7 - Bacnet-protokolli viina [48]

BACnet'i spetsifikatsioon koosneb kolmest põhiosast, millest igaüks vastutab:

- Hooneautomaatika seadmete standardimise küsimused;
- Sõnumivormingute tuvastamine, mida saab Targa Maja seadmete jälgimiseks arvutivõrku edastada;
- Seadmete ja juhtme võrkudega ühilduvuse kontroll, mida saab BACnet'i kasutamisel sideks kasutada. [31-32].

Kokku on 35 erinevat tüüpi sõnumeid (teenuseid), mis on jagatud viide klassi, mille eest nad vastutavad:

- objektide omadustele juurdepääs ja nende haldamine;

- signalisatsioon ja sündmuste registreerimine;
- failide laadimine ja tõmbamine;
- kaugnutiseadmete juhtimine;
- virtuaalterminali funktsioonid. [31-32].

4 Targa Maja tarkvara süsteemide ülevaade

Targa Maja süsteemide tarkvara sisaldab mobiilirakendusi nutitelefonidele, tahvelarvutitele, personaalarvutite desktop-rakendusi ja hääleassistendi rakendusi. Selles osas vaatame üle mitu varianti Targa Maja koduautomaatika süsteemi, mis hõlmavad nii tarkvara- kui ka riistvaramooduleid.

4.1 Amazon Echo

Amazon Echo on äriühingu Amazoni poolt välja töötatud nutiseadmete seeria, millel on oma häältuvastustehnoloogia Alexa. Selle liini esimese põlvkonna seadmed ilmusid 2014. aastal Bluetooth-kõlari Amazon Echo väljalaskmisega. Amazon Echo on seade, mis on mõeldud häälassistentideks, mis töötab režiimis "AlwaysOn", millel on ainult häälega interaktsioonid ilma nuppe kasutamata. [33] Joonisel 8 on Amazon Echo Show 5 nutiseadme versioon.



Joonis 8 - Amazon Echo Show 8 [49]

Amazon Echo võimaldab juhtida näiteks tootjate Philips, LIFX, GE, TP-Link, Lutron, SYLVANIA, Insteon, YEELIGHT valgustusseadmetega, erinevate multimeediaseadmetega. 2019. aasta seisuga on turul rohkem kui 10 Targa Maja seadet. Näiteks AMAZON Echo Show on puutekraan, kaamera ja nutikas mikrofon, mis võimaldab lisaks Targa Maja seadmete haldamise ka teha videokõnesid, vaadata turvakaamerate salvestisi ja samuti omada juurdepääsu Amazon prime Video multimeedia võimalustele. Amazon Echo tarkvara puudused hoomavad ainult inglise keele tuge, vajadust omama programmeerimise oskused individualsete käskude loomiseks ja ka kõrget hinda. [33]

4.2 Google Home

Google Home on esimene Google poolt välja töötatud juhtmevaba nutikas hääljuhtimisega kõlar, mis oli esitatud kommertsmüüki 18.mail 2016 aastal. Google Home on üks seadmetüübist, mis toetab personaalassistendi „Google Assistant“ tööd, mis hõlmab Allo tekstivestlust ja Duo videovestlust. Antud toode on kontseptuaalselt sarnane Amazon Echo-ga ja on selle otsene konkurent nutiseadmete valdkonnas. Eeliseks on olemasolevate lahendustes integreerimise lihtsus. Joonisel 9 on esitatud Google Home Hub ekraan. [34]



Joonis 9 - Google Home Hub nutiekraan [50]

4.3 Apple Siri

Apple Siri on pilvepõhine personaalassistent, kelle tarkvaraklient on osa iOS-i, watchOS-i, macOS-i ja Apple tvOS-süsteemidest. See rakendus kasutab kasutaja küsimustele ja

soovitustele vastamiseks loomulikus keeles häältöötlust. Siri ja Targa Maja süsteemide interaktsiooniks on Apple loonud HomeKiti projekti, mille versioon on kujutatud Joonisel 10. [36]



Joonis 10 - Apple HomeKit [51]

Projektil HomeKit omab järgmisi võimalusi:

- Apple Siri oskab reguleerida HomeKiti tarvikute, näiteks valgustite või termostaadi tööd;
- Apple Siri määrab millised HomeKiti tarvikud on „Kodu“ programmis ühendatud ja konfigureeritud, samuti nende oleku;
- Apple Siri tuvastab tarvikud nende nimede, asukoha ja muude „Maja“ programmis loetletud andmete järgi. HomePod, Apple TV või iPad seadmete kasutamise puhul kodu multimeediakeskusena, saate Siri abil juhtida Targa Maja süsteemi häälega mistahes ruumist;
- HomePodi abil saate juhtida kõiki HomeKiti tarvikuid ühe käsuga ruumis, kus seade asub;
- eelkonfigureeritud stsenaariumid võimaldavad korraga juhtida mitut nutiseadet. Apple Siri abil on võimalus kohandada stsenaariumi ainult häälekäsu abil;
- maja seisundi jälgimine. [36].

4.4 Fibaro

Eespool käsitletud tarkvaravalikud on maailma suurimate ettevõtete multifunktsionaalsed tarkvaratooted. Siin on ülevaade tootjate tarkvaratoodetest, mis on spetsialiseerunud ainult automaatsüsteemidele ja Targa Majale.

Äriühing Fibaro (Poola) on juhtiv ettevõtja Targa Maja tehnoloogia turul. Lahenduste ja nutiseadmete arv on ületanud esimese saja ja kasvab jätkuvalt. 2020.aasta seisuga Fibaro Group tehas toodab aastas keskmiselt umbes miljon erinevat nutiseadet, sealhulgas pistikupesad, valgustid, liikumis-ja üleujutusandurid, ohutusseadmed. Joonisel 11 on esitatud üks ettevõtte populaarsemaid nutiseadmeid – kontrolleri Fibaro home Center 3. [36]



Joonis 11 - Fibaro home Center 3 [52]

Samuti tuleb märkida, et äriühingu Fibaro seadmete müük 2019.aastal Ida-Euroopa piirkonnas kasvas 2018. aastaga võrreldes peaaegu 5 korda. Fibaro nutiseadmed töötavad läbi Z-Wave juhtmevaba protokolliga ja toetavad võimalust suhelda Apple Homekiti kaudu. Targa Maja süsteemi hallatakse tarkvara Home Center Lite, Home Center 2 või Home Center 3 kaudu. [36].

4.5 Zipato

Äriühingu Zipato (Horvaatia) koduautomaatika süsteem on pilvetehnoloogiatel põhinev terviklik Interaktiivne turva-ja automaatikasüsteem, mis pakub ööpäevaringset jälgimist ja teavitab koheselt tulekahju, sissemurdmise, üleujutuse või gaasilekke korral. Lisaks võimaldab Zipato automatiseerida valgustuse ja elektriseadmete juhtimist kasutaja kodus, samuti kontrollida elektritarbimist. [37]

Targa Maja süsteemi saab ehitada Zipabox kontrolleri (joonis 12) ja teiste kontrolleri: Zipabox, Zipamicro baasil, mida toetavad enamikku praegu levinud protokolle, sealhulgas Z-Wave, ZigBee, KNX jne. Süsteemi eelised hõlmavad modulaarsust, erinevate liidete toetamist, võimet integreeruda teiste erinevate tootjate Targa Maja süsteemidega, mastapsust, suurt hulka kasutusstsenaariume. [37]



Joonis 12- Kontroller Zipato Zipabox [53]

4.6 ComfortClick

Viimase vaadeldava koduautomaatikasüsteemi pakub ComfortClick (Sloveenia). ComfortClick pakub serveri paigaldusteenuseid hoonetele ja kortermajadele, samuti seinapaneele ja tarvikuid Targa Maja süsteemidele. ComfortClicki tarkvaraplatvorm pakub kasutajale täielikku gaafikaliidese seadistust ja automatiseerimissüsteemi täiustatud loogika rakendamist. ComfortClick bOS (hoone operatsioonisüsteem) võimaldab kasutajal juhtida kõiki Targa Kodu seadmeid ühest mobiilirakendusest. [38] ComfortClicki põhifunktsioonid on järgmised:

- valgustuse, kütte/jahutuse/kliimaseadmete, kardinate, alarmide, kodukino, multimeedia, energiatarbimise jms kaugjuhtimine mis tahes mobiilseadmest, mis põhineb operatsioonisüsteemidel iOS, Android, Windows jne;
- iseprogrammeerimise loogilised toimingud - näiteks majast lahkudes lülitab bOS tuled välja, langetab kardinaid, vähendab soojust, lülitab välja pistikupesad ja aktiveerib kohaloleku simulatsiooni;
- ajakavade pidamine - näiteks kardinate tõstmine kella 7 paiku hommikul iga päev esmaspäevast reedeni;
- andmete registreerimine - võimaldab jälgida energiatarbimist (elekter, vesi ja gaas);
- kohaloleku simulatsioon;
- võime teisendada tekst kõneks - bOS suudab säilitada häälhoiatuse Targas Majas toimuvate sündmuste kohta. [38]

5 Võrdlusanalüüs ja järeldused

Antud osas viime läbi läbivaadatud juhtmevaba ja juhtmega tehnoloogiate ja Tark Maja tarkvara süsteemide võrdlusanalüüsi ja esitame autori arvamuse Targa Maja funktsionaalsuse ja omadusi kohta käsitleva uuringu raames.

5.1 Juhtmevaba tehnoloogiate võrdlusanalüüs

Juhtmega tehnoloogiate võrdlev analüüs Tabelis 1 on esitatud Targa Maja süsteemide ehitamisel kasutatavate juhtmevaba tehnoloogiate võrdlevad omadused (vt. p.3.1)

Tabelis 2 on esitatud ülevaade juhtmevaba tehnoloogiate peamised eelised ja puudused.

Tabel 1 - Juhtmevaba tehnoloogiate võrdlevad omadused

<i>Omanduse nimi</i>	Z-Wave	ZigBee	Wi-Fi	EnOcean	Bluetooth	Thread
<i>Töösagedusevahemik, Mhz</i>	868;908;916;919;921	868; 900; 2400-2483	2400-2483, 5000	315;868;902;928	2400-2483	2400-2483
<i>Kasutatavate signaalide tüübid</i>	GFSK	BPSK, OQPSK	BPSK, QPSK, QAM, DSSS, FHSS, OFDM	ASK, FSK	GFSK, FHSS	OQPSK
<i>Andmeside kiirus, kbit/s</i>	kuni 100	kuni 250	kuni 600 000	kuni 125	kuni 720	kuni 250
<i>Toimekaugus, m</i>	kuni 30	kuni 100	kuni 300	kuni 300	kuni 100	kuni 200
<i>Sõlmede (seadmete) arv võrgus, tk</i>	kuni 232	kuni 65536	kuni 15	kuni 256	kuni 7	kuni 300
<i>Energiakulu</i>	Ülimadal	Madal	Kõrge	Ülimadal	Madal	Madal
<i>Krüpteerimise saadavus</i>	on (AES, Z-Wave S0,S2)	on (AES)	on (AES)	on (AES)	on (AES)	On (AES)
<i>Standart</i>	Z-Wave, ITU-T G.9959	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11 b/g/n/ac	ISO/IEC 14543-3-10	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4

Tabel 2 - Juhtmegatehnoloogiate peamised eelised ja puudused.

<i>Tehnoloogia nimi</i>	<i>Peamised eelised</i>	<i>Peamised puudused</i>
Z-wave	<ul style="list-style-type: none"> • loodud spetsiaalselt Targa Maja süsteemidele • madal energiatarbimine 	<ul style="list-style-type: none"> • madal sidekaugus ruumide vahel
ZigBee	<ul style="list-style-type: none"> • loodud spetsiaalselt Targa Maja süsteemidele • kõrge turvalisus • madal energiatarbimine 	<ul style="list-style-type: none"> • madal sidekaugus ruumide vahel • ebapiisav standardi tase
	<ul style="list-style-type: none"> • 	
Wi-Fi	<ul style="list-style-type: none"> • kiire seadistus ja kasutuse valmidus „Plug and Play“ • ei nõua lisa kontrollerid, kasutab tavalise WI-FI võrku • suur kiirus 	<ul style="list-style-type: none"> • häired ja interferents tööulatuses • uur energiatarbimine • halb ühilduvus
EnOcean	<ul style="list-style-type: none"> • loodud spetsiaalselt Targa Maja süsteemidele • -madal energiatarbimine 	<ul style="list-style-type: none"> • võrgu konfigureerimise piirangud • tagasiside puudumine saatja ja vastuvõtja vahel
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> • suur kiirus • kõrge töökindlus 	<ul style="list-style-type: none"> • mõned privaatsusprobleemid • seadme asukoht määratlemata • halb ühilduvus
Thread	<ul style="list-style-type: none"> • loodud spetsiaalselt Targa Maja süsteemidele • tõestatud avatud standardite kasutamine 	<ul style="list-style-type: none"> • häired ja interferents tööulatuses • nõue registreerida välised Wi-Fi võrgud

5.2 Juhtmega tehnoloogiate võrdlusanalüüs

Tabelis 3 on esitatud Targa Maja süsteemide ehitamisel kasutatavate juhtmega tehnoloogiate võrreldavad omadused (vt p 3.2).

Tabelis 4 on esitatud juhtmega tehnoloogiate peamised eelised ja puudused.

Tabel 3 - Juhtmega tehnoloogiate võrdlevad omadused

<i>Omanduse nimi</i>	LonWorks	Modbus	KNX	BACnet
<i>Automatiseerimise tase</i>	Hoonete automatiseerimine	Tööstus ja Hoonete automatiseerimine	Hoonete automatiseerimine	Tööstus ja Hoonete automatiseerimine
<i>Suhtluse korraldamine</i>	Jaotatud	Klient-serveri arhitektuur	Jaotatud	Tsentraliseeritud, jaotatud
<i>Edastamise valdkond</i>	Keerdpaar, optiline kaabel, toiteliin, Ethernet	Keerdpaar, Ethernet	keerdpaar, toiteliin, Ethernet	Ethernet, BACnet/IP, keerdpaar
<i>Protokoll</i>	LonTalk	Modbus RTU, Modbus TCP	KNX/EIB	BACnet IP
<i>Standart</i>	ANSI/EIA 709-1	Modbus	ISO/IEC 14543-3	ANSI/ASHRAE standard 135-2001
<i>Võrgutopoloogia</i>	Siin, rõngas, täht, vaba	Siin, rõngas, täht, vaba	Siin, vaba	Siin, rõngas, täht, vaba
<i>Informatsiooni saamine</i>	Sündmuse süsteem	Süsteem saab informatsiooni nõudmisel	Sündmuste süsteem	Sündmuste süsteem
<i>Ühilduvus teiste standardite ja tehnoloogiatega</i>	Maksimaalne	Keskmine	Maksimaalne	Keskmine
<i>Seadmete tootjad</i>	Beckhoff, Echelon, Elka, Loytec, Svea, S+S Regeltechnik, Thermokon jne	Akytec, Weintek, WAGO, Danfoss, Siemens jne	ABB/Busch-Jaeger, Berker, Gira, Jung, Merten, Siemens jne	American Auto-Matrix, Andover, Delta Controls, Honeywell jne

Tabel 4 - Juhtmega tehnoloogiate peamised eelised ja puudused.

<i>Tehnoloogia nimi</i>	Peamised eelised	Peamised puudused
<i>LonWorks</i>	<ul style="list-style-type: none"> • kiirus ja suhteline lihtsus süsteemi paigaldamisel • erinevate võrgu arhitektuuri võimalused süsteemi ehitamiseks • kõrge ühilduvus 	<ul style="list-style-type: none"> • seadmete komplektide kõrge hind • „sleep-mode“ puudumine paljudes seadmetes
<i>MODBus</i>	<ul style="list-style-type: none"> • tööstusautomaatika süsteemide standard • arhitektuuri avatus • enamiku tootjate toetus • võimaldab rakendada keerulised ülesanded 	<ul style="list-style-type: none"> • kõrged paigaldus- ja hoolduspersonali kvalifikatsiooninõuded • alluva seadme algatusel sõnumite edastamiseks ei ole ette nähtud
<i>KNX</i>	<ul style="list-style-type: none"> • avatus ja ühilduvus teiste automatiseerimisstandarditega • kõrge töökindlus süsteemi detsentraliseerimise teel • enamiku tootjate toetus • seadmete kõrge töökindlus 	<ul style="list-style-type: none"> • kõrged paigaldus- ja hooldusalased kvalifikatsiooninõuded • süsteemi algse seadistamise kõrged kulud
<i>BACnet</i>	<ul style="list-style-type: none"> • süsteemi avatus, • enamiku tootjate toetus 	<ul style="list-style-type: none"> • märgitud kõrget ühilduvust praktikas ei saavutata • süsteemi häälestamiseks pole ühist tarkvara

5.3 Tark Maja tarkvarade võrdlusanalüüs

Tabelis 5 on esitatud Targa Kodu tarkvara võrdlevad omadused (vt p 4).

Tabelis 6 on esitatud läbivaadatud tarkvara süsteemide peamised eelised ja puudused.

Tabel 5 - Tarkvara süsteemide eelised ja puudused

<i>Süsteemi nimi</i>	Peamised eelised	Peamised puudused
<i>Amazon Echo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • arenenud “ökosüsteemiga” ülemaailmne tootja • integratsioon erinevate tootjate nutiseadmetega 	<ul style="list-style-type: none"> • ainult inglise keelt kõneleva hääle tugi • lihtsustatud turvasüsteem
<i>Google Home</i>	<ul style="list-style-type: none"> • arenenud “ökosüsteemiga” ülemaailmne tootja • lihtne integreerida olemasolevatesse lahendustesse 	<ul style="list-style-type: none"> • lihtsustatud turvasüsteem • kõrge hind
<i>Apple Siri</i>	<ul style="list-style-type: none"> • arenenud “ökosüsteemiga” ülemaailmne tootja; • -suurendatud multimeedia funktsionaalsus 	<ul style="list-style-type: none"> • vajadus kasutada juhtimiseks ainult Apple'i seadmeid • kõrge hind
<i>Fibaro</i>	<ul style="list-style-type: none"> • täis funktsionaalsus • kõrge ühilduvus enamiku tootjatega • täis funktsionaalsus 	<ul style="list-style-type: none"> • madal turvalisus
<i>Zipato</i>	<ul style="list-style-type: none"> • täis funktsionaalsus • kasutamise ja seaditamise lihtsus 	<ul style="list-style-type: none"> • madal turvalisus • nõrk tehniline tugi
<i>ComfortClick</i>	<ul style="list-style-type: none"> • oma operatsioonisüsteem • kõrge ühilduvus enamiku tootjatega. • täis funktsionaalsus 	<ul style="list-style-type: none"> • madal turvalisus • ei ole tuntud tootja • kõrged personali kvalifikatsiooninõuded

Tabel 6 - Targa Maja tarkvara süsteemide võrdlevad omadused

<i>Omanduse nimi</i>	Amazon Echo	Google Home	Apple Siri	Fibaro	Zipato	ComfortClick
<i>Tootja riik</i>	USA	USA	USA	Poola	Horvaatia	Sloveenia
<i>Lahenduste maksumus</i>	Kõrge	Väga kõrge	Kõrge	Keskmine	Keskmine	Keskmine
<i>Tehnilise rakendamise keerukus</i>	Madal	Madal	Madal	Keskmine	Keskmine	Kõrge
<i>Ühilduvus</i>	Madal	Keskmine	Madal	Kõrge	Keskmine	Kõrge
<i>Muude tootjate Targa Maja seadmete tugi</i>	Ecobee, Invoxia, Samsung, Vivint, Philips, TP-Link, August jne	Philips, Ikea, Kohler, HP, D-Link jne	Ainult litsenseeritud tootja	Amazon Alexa, Google Home, Apple Siri, Philips, D-Lnk jne	Amazon Alexa, NeticHome, Philio, Neo, Fibaro jne	Amazon Alexa, Google Home, Apple Siri
<i>Avatus</i>	Keskmine	Kõrge	Puudub	Kõrge	Kõrge	Keskmine

5.4 Tark Maja süsteemide ühiste omaduste ja võimaluste analüüs

Selles lõigus hindame ja koostame punktides 5.1–5.3 käsitletud tehnoloogiate ja süsteemide hinnangu teostatud ülesannete, usaldusväarsuse näitajate ja üldiste puuduste kohta. Väärrib märkimist, et edasi esitatud järeldused on üsna üldistatud ja neid tehakse, võttes arvesse teadlaste arvamusi, mis on esitatud eelkõige töödes [5,11,12, 14,15,31,39-43]. Selles töös esitatud seisukohas ei ole universaalset vastust tehnoloogia või süsteemi ühemõttelise juhtimise kohta ning igaüks neist saab rakendada Targa Maja süsteemide ehitamisel, sõltuvalt projekti tingimustest.

Sõltumata lahendatavatest ülesannetest sisaldab Targa Maja süsteemide koosseis järgmisi põhielemente:

- nutiseadmed

- nutikad andurid
- mikrokontrollerid ja kontrollerid
- serveri seadmed
- pilvsalvestusruum
- mobiilsed juhtseadmed
- andmekanalid

Seadme spetsiifiline koostis sõltub kliendi võimalustest, formaadist ja Targa Maja süsteemi ehitamise asukohast.

Paragrahvis 3.1 käsitletud juhtmevabad tehnoloogiaid saab klassifitseerida lahendatavate ülesannetega seotuse taseme järgi.

Z-Wave, EnOcean ja Thread on spetsialiseeritud juhtmevaba protokoll, mis on mõeldud spetsiaalselt Targa Maja süsteemidele ja millel on üldiselt eelised multifunktsionaalsete Wi-Fi ja Bluetooth-protokollide ees.

Z-wave, ZigBee, EnOcean ja Thread kasutatakse nutiseadmete ja nutiandurite, mikrokontrollerite ja kontrolleritega suhtlemiseks.

Wi-Fi-ühendust kasutatakse mobiilsete juhtseadmete (nutitelefon, tahvelarvuti jne) ning pilveserveri ja Targa Maja seadmete ühendamiseks tavalise WI-FI ruuteri kaudu, mis tagab paigalduse lihtsuse ja kiiruse, kuna ei ole vaja kasutada ja paigaldada lisa kontrollereid ja sideseadmeid.

Bluetoothi saab kasutada otse mobiilsideseadmete ja nutiseadmete/andurite vaheliseks suhtlemiseks, see lahendus ka omab paigalduse lihtsust ja kiirust. Aga mõlemad lahendused (WI-FI ja Bluetooth) on piiratud võimalustega ja rohkem suunatud multimeediasse ning valgustuse kontrollimisele.

Lisaks tähendab juhtmevaba side kiirguse olemasolu ruumis, kus asub inimene, mis võib olla kahjulik tegur. Kuigi praegu ei ole objektiivseid tõendeid nutiseadmete mõju kohta, isegi pikka aega elektromagnetkiirguse osas, on madalaimatel seadmed, mis põhinevad protokollil Z-Wave, kõrgeim - Wi-Fi.

Juhtmevabadel tehnoloogiatel põhinevad nutiseadmed võimaldavad Targa maja kontseptsiooni kasutusele võtta mitte ainult projekteerimise ja ehitamise etapis, vaid ka juba ehitatud rajatiste renoveerimise ja moderniseerimise ajal. Juhtmevaba seadmete negatiivne külg on üldiselt madalam töökindlus, hoolduse vajadus ja akude ja patareide vahetuse vajadus (väljaarvutud EnOcen) ning väike jätkusuutlikkus signaali häiretele.

Samas probleemiks on signaali kaotamine ja lagunemine, mis sõltub hoonete seinte konstruktsioonist, see tähendab, et enne juhtmevaba süsteemi valikut on vaja uurida selle süsteemi sobivust konkreetsetele hoonetele.

Paragrahvis 3.2 käsitletud juhtmega tehnoloogiaid kasutatakse kõige sagedamini uute objektide projekteerimisel ja ehitamisel, mis võimaldab mõelda arhitektuurist ette ja paigutada kõik vajalikud juhtmega kanalid. Samuti ei ole juhtmega süsteemides kiirgavate raadioelementide puudumise tõttu elektromagnetkiirguse mõju tegurit.

LonWorks ja KNX süsteeme kasutatakse kõige sagedamini eramute ja väikeste ärihoonete projekteerimisel. MODBus ja BACnet süsteemid - keeruliste tööstusrajatiste ja suurte ärihoonete projekteerimisel. Kõigi nende süsteemide üldine puudus on paigaldus- ja hooldustöötajate kvalifikatsiooni kõrge nõue. Projekteerimis- ja paigaldusprotseduuride kehv teostus võib põhjustada ebaõiget tööd ja lõppkokkuvõttes oluliselt vähendada nutikate lahenduste kasutamise eeliseid.

Paragrahvis 4 käsitletavat Targa Maja tarkavara süsteemid võib jagada kahte rühma:

- maailma suurimate kõrgtehnoloogiliste seadmete tootjate süsteemid (Amazon Echo, Google Home, Apple Siri);
- eraettevõtete süsteemid, mis on spetsialiseerunud ainult Targa maja seadmete tootmisele (Fibaro, Zipato, ComfortClick).

Soov ühendada kõik Amazoni, Google ja Apple tehnoloogiad on nii nende tootjate Targa Maja kodusüsteemide eelis kui ka puudus. Oluline puudus on ka piirava poliitika olemasolu ja ainult lojaalsete tootjate litsentsimine (see on eriti väljendunud Amazonis ja Apple'is). Apple pakub põhimõtteliselt ainult oma tarkvaraplatvormi, millel on juurdepääs litsentsi saanud tootjate nutiseadmetele, see faktor mõjub halvasti süsteemi maksumusele. Aga samas neid süsteemid ei nõua kõrge kvalifikatsiooniga paigaldus- ja hoolduspersonalit. Sellepärast Amazon, Google ja Apple lahendusi tuleks kasutada erasüsteemide Targa Maja ehitamisel: eramajad, korterid, ruumid.

Eraettevõtetal, mis on spetsialiseerunud ainult Targa Maja seadmete tootmisele (Fibaro, Zipato, ComfortClick), on peaaegu täielik nutiseadmete komplekt ja see võimaldab luua projekte nullist ja rakendada oma tooteid olemasolevates lahendustes. Üldine süsteemide puudumine on süsteemi turvalisuse puudumine.

Fibaro, Zipato lahendused on kasulikud nii Targa Maja (eraldi majapidamised, korterid, ruumid), äripindade kui ka väikeste äripindade ehitamisel.

Mis puudutab kättesaadavust Targa Maja täissüsteemil, siis siin on liidriteks Fibaro ja Zipato otsuses, mis võimaldab luua tervikliku süsteemi ilma kolmandate tootjate seadmete kasutamist. Lisaks on Fibaro ja Zipato Tark Maja süsteemide kasutuselevõtt võimalik keskmise kvalifikatsiooniga kasutajale, kellel on hea arvutikoolitus, mis võimaldab teha Tarka Maja täislahendused eraisikutele.

See on nende süsteemide eelis, aga läbivaadatud Fibaro ja Zipato puuduseks on üksikute nutiseadmete kõrge hind, mis suuremahuliste objektide projekteerimise korral on kriitiliseks faktoriks. Omakorda LonWorks, KNX/EIB, MODbus ja BACnet põhinevate süsteemide kasutuselevõtmist suurte objektide projekteerimisel peetakse asjakohaseks üldkulude vähenemisel ja vähendades vastavalt ühe nutiseadme maksumuse. Kuid LonWorks, KNX/EIB, MODbus ja BACnet baasil süsteemide kasutuselevõtt nõuab siiski kõrge kvalifikatsiooniga spetsialiste, nii projekteerimisetapis kui ka eksploatatsioonietapis.

Eesti Targa Maja turul on esitatud kõik antud töös läbivaadatud tehnoloogiad ja süsteemid, mille valik täielikult sõltub kliendi eelistustest, tema nõuete valikust ja objekti mahust. Näiteks Fibaro lahendusi pakutakse kinnisvara ostmisel äriklassi alevikus Leonardo Golf Village (Pärnu linn). Ehitusfirma Tycoon pakub kortereid Kalevi Panorama projekti (Tallinn) Tark Maja süsteemiga ehitud kortermajad, kus kasutatakse Fibaro ja Zipato lahendusi ning KNX/EIB põhinevaid juhtmega tehnoloogiaid. Ehitusfirma Merko AS kasutas LonWorks Tark Maja süsteeme 60 korteriga kortermaja ehitamisel. See näitab seda, et Tark maja süsteemid tasapisi tulevad meie ellu ja tulevikus saavad sõltumatu elutingimise osaks.

Järgnevalt analüüsime läbivaadatud automaatikasüsteemide seadmete valikut.

Amazon nutikate lahenduste hulka kuuluvad Amazoni Alexa sisseehitatud hääleassistendiga – nutiekraan Echo Show8, nutikõlar Amazon Echo (Echo plus), kommutaator Echo Connect, nutiekraan Echo Spot, nutikõlar Echo Dot, kaamera Echo Look, nutipult Fite TV ja palju muud. Amazon Targa Maja süsteemiga saab lahendada multimeedia ja valgustuse ülesandeid, ei ole võimalik lahendada keerulisi insenertehnilisi ülesandeid.

Google nutikate lahenduste hulka kuuluvad multimeediasüsteemid koos sisseehitatud hääleassistendiga Google Assistant – nutikõlarid Google Nest Hub, Google Home Mini ja palju muud. Apple nutikate lahenduste hulka kuuluvad multimeediasüsteemid koos sisseehitatud hääleassistendiga Apple Siri – nutikõlarid HomePod.

Kõigi eespool nimetatud ettevõtete eripäraks on riistvara nutiseadmete suhteliselt piiratud valik, mis sageli piirdub hääleassistentidega nutikate multimeediasüsteemidega ja kvaliteetse tarkvaraga, mis võimaldab integreerida erinevate tootjate nutiseadmeid oma ökosüsteemi. Amazon, Apple ja Google Targa Maja süsteemiga saab lahendada multimeedia ja valgustuse ja elektritarbimise kontrollimise ülesandeid, ei ole võimalik lahendada keerulisi insenertehnilisi ülesandeid.

Fibaro nutikate lahenduste hulka kuuluvad erinevad seadmed, mis võimaldavad täielikult projekteerida Targa Maja süsteemi - valgustuse juhtseadmed (Walli liin, Dimmer 2 jne), kütteseadmed (The Heat Controller, Wall Plug, Smart Implant jne), turvaseadmed (Intercom, Motion Sensor, Door/Window Sensor, Flood Sensor jne), kontrollerid (KeyFob, Swipe Fibaro, Home Center jne).

Zipato nutikate lahenduste komplekti kuuluvad juhtseadmed (ZipaBox, ZipaMicro), valgustus- ja toitejuhtseadmed (Keyfob 5 Remote, Micro Module Energy, Zipato Blub 2, Smart Energy Plug jne), turvaseadmed (Indoor IP Camera, Indoor PT IP Camera, MultiSensor Trio, MultiSensor Quad) ja teised.

ComfortClicki nutikate lahenduste hulka kuuluvad juhtseadmed nagu Jigsaw KNX, Colibri z-Wave, Grinder, Bobcat - 10" Android Wall Panel jne, samuti mitut tüüpi kommutaatoreid integreerimiseks ComfortClicki ökosüsteemi Modbus/BACnet, KNX, z-Wave ja teiste baasil.

Fibaro, Zipato ja ComfortClicki süsteemide eripära tagab Targa Maja süsteemide loomise projekteerimisfaasis, nutiseadmete ühilduvuse paljude tootjate lahendustega, samuti kõige populaarsemate tehnoloogiate (traadita - z-Wave, Zig-Bee ja juhtmega - KNX/EIP, MODbus, BACnet) toetamise.

ModBus on avatud protokoll ja sellepärast seadmete ja tootjate arv on väga suur. ModBus baasil põhinevad Targa maja süsteemid võimaldavad lahendada ka keerukaid tehnilisi

ülesandeid, näiteks vee-, gaasi-, soojus-, elektriarvestite näitude kogumine ja arvestamine M-BUS protokollide kaudu, kuna ModBus seadmete valikus on igasugused konverterid nagu ModBus-Mbus, ModBus-KNX jne. Antud eelis võimaldab integreerida selle süsteemi muusse süsteemi. Samuti ModBus eeliseks on ka võime luua oma kontrollereid, et lahendada individuaalseid või eriülesandeid ventilatsiooniseadmete, kliimaseadmete ja soojussõlmede jaoks vabalt programmeeritava kontrolleri baasil, mis on saadavad ModBus seadme sortimendis. Kui projekti nõuded võimaldavad kliimaseadmete tehaskontrollerite kasutamist, siis antud ajal peaaegu kõik tootjad omavad ModBus RTU või ModBus TCP protokollid, standardse juhtimisprotokollina, mis lihtsustab kliimaseadmete integreerimist Targa maja üldprojekti. Selles valikus ei ole vaja konverterite kasutamist, mis osutab kasuliku mõju nii hinna kui ka Targa Maja kogu süsteemi stabiilsusele, kuna seadmete hulk väheneb ja sellest tulenevalt ka, et see nurjub. ModBus süsteemi puudeseks võib arvestada Master-Slave tööpõhimõtte, sest Master seade töötamise tõrges ülejäänud Slave kontrollereid ei saa omavahel suhelda, kuid aga saavad igaüks oma ülesandeid täita sellel tingimusel, et kõik vajalikud täitelemendid ja andurid on ühendatud sellesama kontrolleri külge.

6 Kokkuvõte

Antud töös on läbi viidud Targa Maja kaasaegsete tehnoloogiate võrdlev analüüs.

Töö käigus on täidetud järgmised ülesanded:

- on kirjeldatud Targa Maja süsteemide ehituse ja käitamise põhimõtted;
- tehtud ülevaade Targa Maja kasutatavatest juhtmevaba ja juhtmega sidetehnoloogiatest;
- tehtud Targa Maja tarkvarasüsteemide ülevaade;
- viidud läbi juhtmevaba ja juhtmega tehnoloogiate ning Targa Maja süsteemide tarkvarasüsteemide võrdlev analüüs.

Kokkuvõtteks väärrib märkimist, et Eestil on Targa Maja tehnoloogiate juurutamisel tahtlik valitsuse poliitika, mis annab juba märkimisväärseid tulemusi. Teadusuuringute Joint Research Centre esitatud uuringu kohaselt on Tark Maja tehnoloogiate arengutase

Eestis võrreldes Suurbritannia, Prantsusmaa, Itaalia, Saksamaa, Läti, Leedu, Poola, Portugali on ees ning vaid Soomes, Rootsis ja Norras tase kõrgem kui Eestis. [43]

Järgmised sätted hõlmavad Targa Maja süsteemide perspektiive ja suundumusi:

- suurem taskukohasus tänu kasvavale konkurentsile turul nii maailma juhtivate tootjate kui ka kohalike osalejate jaoks;
- enamus suurte kommunikatsioonituru osalejate (Google, Amazon, Apple, Samsung jne) kaasamine tootmisele;
- muuta ehitusmäärusi, millega määratletakse „roheline“ energia tarbimise eeskirjad tööstuse ja eraelu ümberkujutamise raames, kus nutisüsteemid hakkavad mängima domineerivat rolli.

Kasutatud kirjandus

1. Tark Tartu [online] <http://tarktartu.ee/avaleht/ulevaade/> (15.05.2021). (webpage)
2. Joel Spira, Physicist Who Softened the Lights in Homes Everywhere, Dies at 88 [online] <https://www.nytimes.com/2015/04/15/business/joel-spira-physicist-who-softened-the-lights-in-homes-everywhere-dies-at-88.html> (15.05.2021). (webpage)
3. The History of X10 By Edward B. Driscoll, Jr. [online] http://home.kpn.nl/lhendrix/x10_history.htm (15.05.2021). (webpage)
4. X10 (industry standard) [online] [https://en.wikipedia.org/wiki/X10_\(industry_standard\)](https://en.wikipedia.org/wiki/X10_(industry_standard)) (15.05.2021). (webpage)
5. Ashton K. et al. That 'internet of things' thing //RFID journal. – 2009. – T. 22. – №. 7. – P. 97-114.
6. Internet of Things - number of connected devices worldwide 2015-2025 [online] <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/#:~:text=The%20total%20installed%20base%20of,that%20are%20expected%20in%202021> (15.05.2021). (webpage)
7. First smart home ever [online] <https://censys.es/en/first-smart-home-ever/> (16.05.2021). (webpage)
8. The Ultimate Smart Home: A Look Into The Smart Technology In Bill Gates' Home [online] <https://aconnectedhome.com/the-ultimate-smart-home-a-look-into-the-smart-technology-in-bill-gates-home/> (16.05.2021). (webpage)
9. The Ultimate Smart Home: A Look Into The Smart Technology In Bill Gates' Home [online] Smart Home <https://www.statista.com/outlook/dmo/smart-home/estonia> (16.05.2021). (webpage)
10. Domb M. Smart home systems based on internet of things //Internet of Things (IoT) for Automated and Smart Applications. – 2019.
11. Stojkoska B. L. R., Trivodaliev K. V. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions //Journal of Cleaner Production. – 2017. – T. 140.

– p. 1454-1464.

12. Mao X. et al. Design and implementation of a new smart home control system based on internet of things //2017 international smart cities conference (ISC2). – IEEE, 2017. – p. 1-5.

13. Zhao G. et al. A hierarchical combinatorial reliability model for smart home systems //Quality and Reliability Engineering International. – 2018. – T. 34. – №. 1. – p. 37-52.

14. Benlian A., Klumpe J., Hinz O. Mitigating the intrusive effects of smart home assistants by using anthropomorphic design features: A multimethod investigation //Information Systems Journal. – 2020. – T. 30. – №. 6. – p. 1010-1042.

15. Heartfield R. et al. A taxonomy of cyber-physical threats and impact in the smart home //Computers & Security. – 2018. – T. 78. – p. 398-428.

16. Z-Wave Specification [online] <https://www.silabs.com/wireless/z-wave/specification#:~:text=Z%2D Wave%20Specification ,be%20 controlled %20and%2For%20supported> (17.05.2021). (webpage)

17. Wang C., Jiang T., Zhang Q. (ed.). ZigBee® network protocols and applications. – CRC Press, 2014.

18. IEEE 802.11-2020 - IEEE Standard for Information Technology--Telecommunications and Information Exchange between Systems - Local and Metropolitan Area Networks--Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications". *IEEE Standards*. (standart)

19. Technical Specifications [online] <https://www.enocean-alliance.org/specifications/> (19.05.2021). (webpage)

20. Specifications [online] <https://www.bluetooth.com/specifications/> (19.05.2021). (webpage)

21. THREAD CERTIFIED PRODUCTS [online] <https://www.threadgroup.org/What-is-Thread/Thread-Benefits> (20.05.2021). (webpage)

22. Domintell [online] <https://www.domintell.com/en/> (20.05.2021). (webpage)

23. Smart Home [online] <https://www.clipsal.com/smarthome?tab-player-9213=0> (20.05.2021). (webpage)

24. Amx by HARMAN [online] <https://www.amx.com/en> (20.05.2021). (webpage)

25. Crestron Home [online] <https://www.crestron.com/Products/Market-Solutions/Crestron-Home> (20.05.2021). (webpage)
26. Modbus Specifications and Implementation Guides [online] <https://modbus.org/specs.php> (20.05.2021). (webpage)
27. Korenčiak D. Application of LONWORKS technology in intelligent buildings //2012 ELEKTRO. – IEEE, 2012. – p. 319-322.
28. KNX for every kind of project [online] <https://www.knx.org/knx-en/for-offices/smart-home-control/> (22.05.2021). (webpage)
29. Vanus J., Cerny M., Koziorek J. The proposal of the smart home care solution with KNX components //2015 38th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP). – IEEE, 2015. – p. 1-5.
30. Zhang J., Cheng D. Application of Siemens KNX/EIB intelligent control system in Building energy saving construction //Low Voltage Apparatus. – 2009. – №. 12. – p. 20-25.
31. Stojkoska B. L. R., Trivodaliev K. V. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions //Journal of Cleaner Production. – 2017. – T. 140. – p. 1454-1464.
32. BACnet™, the ASHRAE Building Automation and Control Networking Protocol [online] <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/bacnet> (22.05.2021). (webpage)
33. Amazon Smart Home [online] <https://www.amazon.com/smart-home-devices/b?ie=UTF8&node=9818047011> (22.05.2021). (webpage)
34. Meet the Google Home app [online] <https://support.google.com/chromecast/answer/7071794?co=GENIE.Platform%3DAndroid&hl=en> (22.05.2021). (webpage)
35. Apple Siri [online] <https://www.apple.com/ru/siri/> (23.05.2021). (webpage)
36. Knowledge Base [online] https://manuals.fibaro.com/knowledge-base/browse/?kb_cat=tutorials%2Cgetting-started (23.05.2021). (webpage)
37. SMART ENERGY MANAGEMENT [online] <https://www.zipato.com/en/> (23.05.2021). (webpage)
38. Smart Home and Building Automation [online] <https://www.comfortclick.com/> (23.05.2021). (webpage)
39. Alaa M. et al. A review of smart home applications based on Internet of

Things //Journal of Network and Computer Applications. – 2017. – T. 97. – p 48-65.

40. Marikyan D., Papagiannidis S., Alamanos E. A systematic review of the smart home literature: A user perspective //Technological Forecasting and Social Change. – 2019. – T. 138. – p. 139-154.

41. Müür J. Intermediating Smart Specialisation and Entrepreneurial Discovery: The Cases of Estonia and Helsinki-Uusimaa //Journal of the Knowledge Economy. – 2021. – p. 1-33.

42. Ahas R. et al. Retrofitting Soviet-Era Apartment Buildings with ‘Smart City’ Features: The H2020 SmartEnCity Project in Tartu, Estonia //Housing Estates in the Baltic Countries. – 2019. – P. 357.

43. Serrenho T., Bertoldi P. Smart home and appliances: State of the art //Energy, communications, protocols, standards. Brussels: JRC technical reports. – 2019. – p. 2-36.

Jooniste allikad

44. https://media.springernature.com/original/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-030-23392-1_17/MediaObjects/448824_1_En_17_Fig3_HTML.png
45. https://www.researchgate.net/figure/Z-Wave-protocol-stack_fig13_330381472
46. https://www.researchgate.net/figure/IEEE-and-ZigBee-protocol-stack_fig1_283951808
47. https://www.researchgate.net/figure/19-LonTalk-Protocol-Stack-28_fig14_236259629
48. https://c3.chipkin.com/assets/uploads/2018/apr/12-12-56-25_BACnet%20Stack%20Layers%20no%20BG.png
49. https://static.bhphoto.com/images/images500x500/amazon_b07pfly28c_echo_show_8_charcoal_1572984388_1512898.jpg
50. https://www.xda-developers.com/files/2018/09/Google-Home-Hub-Charcoal-810x298_c.jpg
51. <https://photos5.appleinsider.com/archive/gallery/16090-12765-best-homekit-accessories-xl.jpg>
52. <https://www.hansapost.ee/globalassets/productassets/images/fibaro-home-center-3-lite-z-wave-eu-11325014.jpg>
53. <https://www.zipato.com/wp-content/uploads/2015/07/Zipato-Wall-Tablet-7->

NewUI-min.png.pagespeed.ce.9Szl8esh7O@2x.png

54. <https://image1.slideserve.com/2006141/osi-vs-modbus-1.jpg>

Lisa 1 – Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Einar Velpner

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose "Tark Maja Kaasaegsete tehnoloogiate võrdlusanalüüs", mille juhendaja on Sergei Pavlov
 - 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.

31.05.2021

"TARK MAJA" KAASAEGSETE TEHNOLOOGIATE VÕRDLUSANALÜÜS

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, 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 tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.