



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

Mikko Lehtinen

Home Assistant -pohjaisen kotiautomaatiojärjestelmän suunnittelu ja toteutus

Havainnot rakentamisprosessista ja saavutetuista hyödyistä

Tekniikan ja innovaatiojohtamisen
akateeminen yksikkö
Pro Gradu -tutkielma
Tietojärjestelmätiede

Vaasa 2026

VAASAN YLIOPISTO**Tekniikan ja innovaatiojohtamisen akateeminen yksikkö**

Tekijä:	Mikko Lehtinen		
Tutkielman nimi:	Home Assistant -pohjaisen kotiautomaatiojärjestelmän suunnittelu ja toteutus: Havaintoja rakentamisprosessista ja saavutetuista hyödyistä		
Tutkinto:	Kauppätieteiden maisteri		
Koulutusohjelma:	Tietojärjestelmätieteiden maisteriohjelma		
Opintosuunta:	Tietojärjestelmätiede		
Työn ohjaaja:	Teemu Mäenpää		
Valmistumisvuosi:	2026	Sivumäärä:	93

TIIVISTELMÄ:

Kotiautomaatiojärjestelmät ovat yleistyneet tekniikan kehittyessä ja hintojen laskun myötä viime vuosina. Entistä useampi kodin laite on mahdollista yhdistää internetiin. Erilaisia tekniikoita ja järjestelmiä on lukuisia, mikä tekee yhtenäisen kokonaisuuden rakentamisesta haastavaa. Kotiautomaatiojärjestelmiä voidaan käyttää moniin käyttötarkoituksiin, kuten esimerkiksi sähkönkulutuksen optimointiin, arjen helpottamiseen ja turvallisuuden parantamiseen. Haasteena kaikki edellä mainitut osa-alueet kattavan järjestelmän rakentamisessa ovat eri valmistajien laitteiden puutteellinen yhteistoiminta ja ylläpitoon liittyvät haasteet. Tämä tutkielma käsittelee omakotitaloon toteutettua kotiautomaatiojärjestelmää, jonka ytimenä toimii avoimen lähdekoodin Home Assistant -ohjelmisto. Home Assistant mahdollistaa automaatiot, jotka yhdistävät tietoja useiden valmistajien eri tekniikoilla toimivista laitteista. Kotiautomaatiojärjestelmän rakentamisen tueksi tässä tutkielmassa on dokumentoitu järjestelmän suunnittelussa, rakentamisessa, käyttöönotossa ja ylläpidossa havaittuja seikkoja sekä sillä saavutettuja tuloksia. Tutkimus pyrkii vastaamaan kolmeen kysymykseen: mitkä ovat olennaisimmat huomioitavat seikat kotiautomaatiojärjestelmän suunnittelussa ja toteutuksessa, miten eri valmistajien laitteet voidaan integroida, ja millaisia hyötyjä järjestelmällä saavutetaan. Tutkielma on toteutettu suunnittelutieteellisen tutkimusmenetelmän (Design Science Research) periaatteita noudattaen. Tutkimus on rajattu keskittymään erityisesti laajasti saatavilla oleviin kuluttajahintaluokan laitteisiin, jotta tulokset olisivat mahdollisimman hyvin sovellettavissa tavallisiin kotitalouksiin. Tutkimuksen tuloksena syntyi kolme artefaktia: toimiva Home Assistant -pohjainen kotiautomaatiojärjestelmä, sen dokumentaatio sekä metamalli kotiautomaatiojärjestelmän suunnitteluun, rakentamiseen, käyttöönottoon ja ylläpitoon. Metamalli kokoaa yhteen tässä projektissa havaitut ja aiemmassa tutkimuksessa tunnistetut olennaisimmat suositukset, ja on tarkoitettu hyödynnettäväksi missä tahansa vastaavassa projektissa asumismuodosta tai lähtötilanteesta riippumatta. Tutkimuksessa käy ilmi, että järjestelmä tuotti mitattavia säästöjä sähkön kustannuksissa ajoittamalla suurimpia sähkökuormia pörssisähkön halvimmille tunneille. Arjen rutiineja sujuvoitettiin automaatioilla, jotka yhdistivät tietoja useista eri laitteista ja sähkön hintatiedoista. Kodin turvallisuutta parannettiin yhdistämällä valvonta- ja hälytyslaitteet yhtenäiseksi kokonaisuudeksi, joka lähettää hälytykset suoraan asukkaiden matkapuhelimiin. Tutkimus osoittaa, että aiemmassa kirjallisuudessa tunnistettuja kotiautomaation haasteita, kuten korkeita kustannuksia, yhteentoimivuusongelmia ja tietoturvariskejä, on mahdollista ratkaista tai merkittävästi vähentää kuluttajahintaluokan laitteilla ja avoimella hallinta-alustalla.

AVAINSANAT: Home Assistant, kotiautomaatio, metamalli, suunnittelutieteellinen tutkimus, älykoti

Sisällys

1	Johdanto	7
1.1	Tutkimuksen tavoite ja tutkimusmenetelmä	8
1.2	Tutkimuksen rakenne	9
2	Älykodin teoreettinen viitekehys	11
2.1	Älykodin määritelmä ja historia	11
2.2	Kotiautomaatiolla tavoitellut hyödyt	12
2.2.1	Energiatehokkuus ja kulutuksen optimointi	13
2.2.2	Asuinmukavuus	14
2.2.3	Kodin turvallisuus	14
2.3	Kotiautomaatioon liittyvät haasteet ja yleistymisen esteet	15
2.3.1	Tietoturva ja yksityisyys	16
2.3.2	Tekniikkaan liittyvät haasteet ja yhteentoimivuusongelmat	18
2.3.3	Järjestelmän monimutkaisuus ja sen aiheuttama kuormitus asukkaille	20
2.3.4	Kustannukset	21
2.4	Järjestelmäarkkitehtuuri ja automaation tasot	22
3	Älykodin teknologiset ratkaisut	26
3.1	Hallinta-alustat ja ekosysteemit	26
3.1.1	Home Assistant ja muut avoimet alustat	27
3.1.2	Pilvipohjaiset ekosysteemit	28
3.1.3	Laitekeskeiset ekosysteemit	30
3.1.4	Tuya-ekosysteemiä hyödyntävät ratkaisut	31
3.1.5	Valmiit älykotiratkaisut	32
3.2	Tiedonsiirtoprotokollat	33
3.2.1	IP-pohjaiset verkot: Ethernet ja Wi-Fi	33
3.2.2	Matalan energiatarpeen verkot	35
3.2.3	Tulevaisuuden standardi Matter	35
3.3	Laitevalmistajat	36
3.4	Etäkäyttö	37

4	Tutkimusmenetelmä ja aineisto	40
4.1	Suunnittelutieteellinen tutkimus	40
4.2	Tutkimusaineisto ja tiedonkeruu	44
4.3	Tutkimuksen arviointi	45
5	Tutkimuksen toteutus ja tulokset	48
5.1	Järjestelmän vaatimusmäärittely	49
5.2	Järjestelmäarkkitehtuuri ja teknologiset valinnat	50
5.2.1	Ohjauskerros	51
5.2.2	Käyttöliittymäkerros	53
5.2.3	Yhteyskerros	54
5.2.4	Laitekerros	56
5.3	Automaatiot ja järjestelmän toimintalogiikka	59
5.3.1	Yksittäiset automaatiot	59
5.3.2	Automaatiokokonaisuus: Kotona-tila	60
5.3.3	Vikatilanteiden hallinta	63
5.4	Järjestelmän tuottamat hyödyt ja havaitut haasteet	64
5.4.1	Sähkönkulutuksen optimointi	64
5.4.2	Asuinmukavuus	68
5.4.3	Turvallisuus	70
5.4.4	Järjestelmän käyttöön liittyvät haasteet ja huomiot	71
5.5	Järjestelmän toteutus ja vaatimusten täytyminen	72
5.6	Metamalli kotiautomaatiojärjestelmän suunnittelun ja toteutuksen tueksi	74
5.6.1	Suunnitteluvaihe	75
5.6.2	Rakennusvaihe	76
5.6.3	Käyttöönotto	77
5.6.4	Ylläpito	78
6	Johtopäätökset	79
	Lähteet	82
	Liitteet	90

Liite 1. Käyttöliittymä web-selaimessa	90
Liite 2. Käyttöliittymä mobiilisovelluksessa	91
Liite 3. Yhteenveto järjestelmän automaatioista	92

Kuviot

Kuvio 1. Kasubin ja Huchaiahin esittämä kolmitasoinen IoT-verkko	23
Kuvio 2. Esimerkki kotiautomaatiojärjestelmän arkkitehtuurista	24
Kuvio 3. Esimerkki perinteisestä Wi-Fi-verkosta ja Mesh-verkosta	34
Kuvio 4. Peffersin ja muiden esittelemä suunnittelutieteellinen prosessimalli	41
Kuvio 5. Järjestelmän kerrosarkkitehtuuri	51
Kuvio 6. Älylaitteiden ja internetiin yhdistetyn kodintekniikan sijoittelu kiinteistöllä	59
Kuvio 7. Kotiautomaatiojärjestelmän metamalli	75

Taulukot

Taulukko 1. Peffersin malli ja tämän tutkimuksen vaiheet	42
Taulukko 2. Suunnittelutieteellistä tutkimusta ohjaavat suositukset	45
Taulukko 3. Vertailu ostetun sähköenergian hinnoista	65

Lyhenteet

AI	Artificial Intelligence
API	Application Programming Interface
BLE	Bluetooth Low Energy
BIOS	Basic Input/Output System
BSD	Berkeley Software Distribution
CAT6	Category 6 (Ethernet kaapelointistandardi)
CSA	Connectivity Standards Alliance
DSR	Design Science Research
DSRM	Design Science Research Methodology
FTP	File Transfer Protocol
GPS	Global Positioning System
HAOS	Home Assistant Operating System

HTTP Hypertext Transfer Protocol
IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT Internet of Things
IP Internet Protocol
IPv6 Internet Protocol version 6
kWh Kilowattitunti
LAN Local Area Network
LED Light Emitting Diode
MHz Megahertsi
MQTT Message Queuing Telemetry Transport
NAT Network Address Translation
PIN Personal Identification Number
RDP Remote Desktop Protocol
SFTP Secure File Transfer Protocol
USB Universal Serial Bus
VPN Virtual Private Network
Wi-Fi Wireless Fidelity
WLAN Wireless Area Network
YAML Yaml Ain't Markup Language

1 Johdanto

Nykyisin yhä useampi laite sisältää mahdollisuuden liittää laite internetiin tai osaksi kotiverkkoa. Eri laitevalmistajilla on käytössä eri tekniikoita ja omia sovelluksia, jotka eivät keskustele keskenään (Atzori ja muut, 2010, s. 2). Tämä on johtanut tarpeeseen kehittää järjestelmiä, jotka integroituvat eri valmistajien laitteiden kanssa ja mahdollistavat automaatiot eri laitteiden välillä. Kotitalouskäyttöön tarkoitettuja vaihtoehtoja on monia, joista jokaisessa on omat hyvät ja huonot puolensa. Kotiautomaatiojärjestelmillä voidaan pyrkiä optimoimaan energiankäyttöä, parantamaan asuinmukavuutta tai lisäämään turvallisuutta. Valitun tavoitteen mukaan käyttäjä voi rakentaa yksinkertaisen kodin automaatiojärjestelmän älypuhelimeen sisältyvän kotiautomaatiosovelluksen avulla, tai käyttää yksittäisten laitevalmistajien sovelluksia toisistaan riippumattomasti. Mikäli tavoite on yhdistää monipuolisesti kodin eri merkkisiä laitteita yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi, tarvitaan järjestelmä, joka pystyy keskustelemaan eri valmistajien ja eri tekniikoita käyttävien laitteiden kanssa.

Järjestelmän laajuuden kasvaessa myös sen dokumentoinnin tärkeys korostuu. Tämän tyyppisiä järjestelmiä rakennetaan usein pieni osa kerrallaan ja alkuperäinen suunnitelma kehittyy rakentamisen aikana tehtyjen havaintojen perusteella. Tämä voi johtaa herkästi siihen, että ajan tasalla olevaa dokumentaatiota ei ole tai se on puutteellista. Dokumentointi on tärkeä osa projektia, sillä talon tai asunnon vaihtaessa omistajaa, voi uuden omistajan olla vaikea hahmottaa rakennettua kokonaisuutta ja korjata siinä ilmeneviä ongelmia. Usein dokumentaatio syntyy vasta jälkikäteen kuvaamaan jo toteutettu järjestelmää. Dokumentaatio voidaan tehdä jälkikäteen kuten se olisi tehty ideaalilanteessa jo ennen projektin aloitusta (Parnas & Clements, 1986, s. 10). Järjestelmää rakentaessa on myös huomioitava muut asukkaat. Jokaisen kodin asukkaan pitää pystyä käyttämään tärkeitä toimintoja, ja järjestelmän ongelmatilanteiden varalta pitää olla mietittynä vaihtoehtoiset käyttötavat.

Aiemman tutkimuksen perusteella kotiautomaatiota käyttävät kotitaloudet ovat havainneet useita haasteita. Niitä olivat muun muassa korkeat aloitus- ja

käyttökustannukset, joustamattomuus, huono hallittavuus sekä tietoturvallisuudesta huolen pitäminen (Brush ja muut, 2011, s. 9). Tämä tutkielma käsittelee omakotitaloon toteutettua kotiautomaatiojärjestelmää, jonka ytimenä toimii avoimen lähdekoodin maksuton Home Assistant -järjestelmä. Sovelluksen avulla on yhdistetty rakennusten lämmitysjärjestelmät, kiinteistön valaistus, valvontakamerat ja kulunvalvonta yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Järjestelmän tavoitteena on optimoida kiinteistön energiankäyttöä, parantaa kaikkien asukkaiden asuinmukavuutta ja luoda kiinteistölle turvajärjestelmä. Järjestelmä pyrittiin suunnittelemaan siten, että sen perustaminen ja ylläpitäminen on edullista, se on helposti laajennettavissa ja toimii pitkälle tulevaisuuteen. Suunnittelussa huomioitiin myös varakäyttömahdollisuudet automaatiojärjestelmän vikaantuessa sekä tietoturvaan liittyvät seikat.

Tutkielman tuloksena syntyi toimiva Home Assistant -pohjainen kotiautomaatiojärjestelmä, sen tekninen dokumentaatio, sekä metamalli asioista, mitä olisi syytä huomioida kotiautomaatiojärjestelmää suunnitellessa, rakentaessa, käyttöönottaessa ja ylläpitäessä. Lisäksi tuloksissa käsitellään toteutuneita hyötyjä ja osoitetaan, että aiemmassa tutkimuksessa tunnistettuja ongelmia on mahdollista ratkaista hyvällä suunnittelulla ja ennakoimalla.

1.1 Tutkimuksen tavoite ja tutkimusmenetelmä

Tutkimuksen päätavoite on yhdistää yksittäisestä projektista saadut havainnot ja kokemukset yleistettäväksi tiedoksi, jota voidaan hyödyntää vastaavien järjestelmien suunnittelussa ja dokumentoinnissa. Yhtenä tavoitteena oli laatia metamalli asioista, joita vastaavaa järjestelmää suunnitellessa tulee huomioida. Metamalli yhdistää tässä projektissa tehtyjä havaintoja aikaisemman kirjallisuuden havaintoihin, ja pyrkii osaltaan ratkaisemaan aikaisemmassa tutkimuksessa havaittuja haasteita. Tutkielma toimii myös dokumentaationa toteutetusta järjestelmästä mahdollisia seuraavia käyttäjiä varten. Alla on esiteltyä tutkimuskysymykset.

- Mitkä ovat keskeisimmät suunnittelussa ja toteutuksessa huomioitavat seikat, joilla varmistetaan järjestelmän toimintavarmuus ja asuinkäytön sujuvuus?

- Miten Home Assistant -pohjaisella kotiautomaatiolla voidaan integroida eri valmistajien laitteet yhtenäiseksi ja ylläpidettäväksi kokonaisuudeksi?
- Millaisia mitattavia hyötyjä ja havaintoja Home Assistant -pohjaisen järjestelmän käytöstä syntyy energiankulutuksen ja kodin turvallisuuden ja asuinmukavuuden kannalta?

Tämä tutkielma on toteutettu suunnittelutieteellisen tutkimuksen periaatteita noudattaen. Suunnittelutieteellisessä tutkimuksessa tärkeää on uuden ja hyödyllisen artefaktin luominen sekä sen arvioiminen todellisessa ympäristössä (Hevner ja muut, 2004, s. 76–77). Tässä tutkielmassa tutkimuksen kohteena ei ole ainoastaan itse kotiautomaatiojärjestelmä, vaan myös sen tekninen dokumentaatio. Menetelmä on valittu siksi, että se mahdollistaa teknisen kehitystyön ja tieteellisen tutkimuksen yhdistämisen. Peffersin ja muiden (2007) esittämän DSRM-prosessimallin mukaisesti tutkimus alkaa ongelman määrittelystä ja tavoitteiden asettamisesta. Tämän jälkeen kehitetään artefakti, jonka jälkeen sen avulla ratkaistaan jokin ongelma. Lopuksi arvioidaan lopputuloksia, ja tehdään tarvittaessa uusi kehityskierros (Peffers ja muut, 2007, s. 54). Suunnittelutieteellinen tutkimus tarjoaa raamit, joiden avulla jo tehtyä ratkaisua voidaan analysoida ja arvioida suhteessa annettuihin vaatimuksiin ja alan parhaisiin käytäntöihin (Gregor & Hevner, 2013). Koska tässä tutkielmassa esitetty järjestelmä on toteutettu ensin ja tutkimuksen viitekehys ja dokumentaatio on muodostettu vasta jälkikäteen, prosessiin sovelletaan (Parnas & Clements, 1986) esittelemää rationaalisen rekonstruoinnin periaatetta, jossa järjestelmä dokumentoidaan jälkikäteen kuten se olisi ideaalitulanteessa tehty etukäteen.

1.2 Tutkimuksen rakenne

Johdannon jälkeen tutkielmassa esitellään älykodin määritelmä sekä niiden historiaa, kotiautomaatiolla tavoiteltuja hyötyjä, kotiautomaation yleistymisen esteitä sekä niihin liittyviä haasteita, sekä järjestelmien arkkitehtuuria ja automaation tasoja. Kolmannessa luvussa käydään läpi älykoteihin liittyvät keskeisimmät hallintajärjestelmät ja teknologiat, keskittyen kirjoitushetkellä laajasti saatavilla oleviin kuluttajille tarkoitettuihin tuotteisiin.

Sen jälkeen esitellään tutkielmassa käytettyä suunnittelutieteellistä tutkimusmenetelmää sekä DSRM-prosessimallia. Viidennessä luvussa esitellään tutkielman kohteena olevan artefaktin suunnittelu-, rakentamis-, käyttöönotto- ja ylläpitoprosessi sekä sillä saavutettuja hyötyjä ja käytössä havaittuja haasteita. Luvussa esitetään myös aiempaan tutkimustietoon ja tässä projektissa havaittuihin seikkoihin perustuva metamalli, joka voi toimia muistilistana kotiautomaatiojärjestelmää suunniteltaessa ja toteuttaessa. Viimeisessä luvussa arvioidaan tutkielman tuloksia ja pohditaan mahdollisia jatkotutkimusaiheita.

2 Älykodin teorettinen viitekehys

Tässä luvussa määritellään tutkielman teorettinen viitekehys. Aluksi tarkastellaan älykodin käsitettä ja sen historiallista kehitystä, minkä jälkeen käydään läpi kotiautomaatiolla tavoiteltuja hyötyjä sekä sen yleistymisen esteitä ja haasteita. Luvun lopussa esitellään älykotijärjestelmien arkkitehtuuria ja automaation tasoja, joilla luodaan perusta luvussa 3 esiteltäville teknologisille ratkaisuille.

2.1 Älykodin määritelmä ja historia

Termi älykoti esiintyi ensimmäisen kerran vuonna 1984 American Association of House Buildersin käyttäessä sitä (Harper, 2003, s. 1). Älykodin määritelmä on kehittynyt vuosien varrella tekniikan kehittyessä ja usein termejä älykoti ja kotiautomaatio käytetään tarkoittamaan samaa asiaa, eli kotia, jossa on toisiinsa yhdistettyjä älylaitteita. Alun perin kotiautomaatioksi kutsuttiin laitteita, jotka hyödynsivät sähköä, myöhemmin kehittyneempiä kodinkoneita. 1970-luvulla kehitettiin ensimmäinen kotiautomaatioprotokolla X10, joka ohjasi esimerkiksi kodin laitteita, valaistusta ja lämmitystä sähköverkon ja radiotaajuuksien avulla (Katre & Rojatar, 2017, s. 1). 2000-luvulle tullessa yleistyi termin IoT (Internet of Things) käyttö, jonka kehitti brittiläinen Kevin Ashton vuonna 1999. Termillä viitattiin laitteiden ja esineiden verkostoon, jotka kommunikoivat keskenään parantaen kodin tehokkuutta, turvallisuutta ja mukavuutta (Ait Mouha, 2021, s. 77–78).

Älykotilaitteiksi kutsutaan nykyään laitteita, jotka tarjoavat asukkaille digitaalisesti yhdistettyjä tai parannettuja palveluja. Älykodilla viitataan kotiin, johon kuuluu älylaitteita kuten kodinkoneita, sensoreita tai kytkimiä, jotka ovat yhteydessä jonkinlaiseen hallintajärjestelmään, jota voidaan käyttää etäältä esimerkiksi matkapuhelimen tai kannettavan tietokoneen avulla (Kasubi & Huchaiah, 2021, s. 2). Sovacoolin ja Furszyfer Del Rion (2020, s. 1–3) mukaan älykodit ovat nousseet enemmän esille viimeaikaisessa keskustelussa, sillä niillä on saavutettavissa merkittäviä energiansäästöjä muiden etujen lisäksi. Älykodit ovat yksi Euroopan unionin

kymmenestä pilarista koskien strategisia energiainvestointeja. Aiempi tutkimus pitää älykoteja yhtenä avaintekijänä, kun pyritään rakentamaan nollaenergiataloja ja vähentämään resurssien käyttöä. Ennusteet osoittavat, että älykotimarkkina tulee kasvamaan tulevaisuudessa huomattavasti, ja jo vuonna 2017 pelkästään Euroopassa arvioitiin olevan kymmeniä miljoonia älykoteja. Älykotien historia ulottuu kuitenkin huomattavasti pidemmälle. Kodien älyn lisäämisen ensimmäiset viitteet ovat jo 1890- ja 1900-luvun alun taitteessa, kun varakkaat ihmiset pyrkivät hyödyntämään sähköä automaation lisäämiseksi ja arjen helpottamiseksi. Thomas Edison esitteli ensimmäisen automatisoidun valaistuksen 1910-luvulla. 1990- ja 2000-luvuilla älykodin fokus on siirtynyt enemmän energian säästämiseen sekä asuinmukavuuden parantamiseen.

2020-luvulla keskustelu Euroopassa on pyörinyt paljon energian saatavuuden ja hintojen ympärillä. Koronapandemian ja Ukrainan sodan aiheuttama piikki energian kysynnässä ja energianhinnoissa sai monet pohtimaan keinoja energiankäytön vähentämiseksi ja kulutuksen siirtämiseksi halvimmille ajankohdille (Consilium, 2026). Samaan aikaan aurinkopaneelien ja kotiakkujen hinnat ovat laskeneet ja tekniikka kehittynyt, mikä on johtanut myös niiden yleistymiseen (SolarPower Europe, 2024). Myös liikenteen sähköistyminen on omalta osaltaan lisännyt kiinnostusta energian käytön optimointiin kotitalouksissa. Eri osa-alueiden automatisoimiseksi tarvitaan järjestelmä, joka osaa keskustella kaikkien laitteiden kanssa.

2.2 Kotiautomaatiolla tavoitellut hyödyt

Vuonna 2020 tehdyssä tutkimuksessa, jossa haastateltiin 31 alan asiantuntijaa, tunnistettiin 13 osa-aluetta, joilla älykotiteknologia voi tuottaa hyötyjä. Niistä kolme eniten mainintoja saanutta olivat energian säästäminen, mukavuus ja hallittavuus sekä taloudelliset hyödyt. Myös esimerkiksi maapallon resurssien säästäminen ja kodin turvallisuus saivat useita mainintoja (Sovacool & Furszyfer Del Rio, 2020, s. 7). Vuonna 2021 tehdyssä tutkimuksessa, jossa haastateltiin kotitalouksia, joissa on käytössä kotiautomaatiojärjestelmä, järjestelmän tuottama mukavuus mainittiin yhdeksi tärkeimmistä hyödyistä. Mukavuudella vastaajat tarkoittivat esimerkiksi sitä, että

valaistus toimii automaattisesti, tai että ulko-ovien lukitusta ei tarvitse erikseen tarkistaa. Mielenrauha ja turvallisuus saivat myös mainintoja, koska järjestelmät mahdollistavat usein kodin tilanteen seuraamisen etäyhteyden avulla. Useat kotitaloudet mainitsivat laitteiden keskitetyn hallinnan merkittäväksi eduksi (Brush ja muut, 2011, s. 4–5). Seuraavissa alaluvuissa esitellään keskeisimmät kotiautomaatioilla tavoitellut hyödyt, jonka jälkeen käsitellään merkittävimmät haasteet ja riskit.

2.2.1 Energiatehokkuus ja kulutuksen optimointi

Energiaan liittyvä säästäminen ja optimointi on aiemman tutkimuksen perusteella yksi eniten kotiautomaatiojärjestelmillä tavoitelluista hyödyistä (Sovacool & Furszyfer Del Rio, 2020, s. 9). 2020-luvun alussa Euroopassa koettiin energiakriisi, joka lisäsi osaltaan kiinnostusta energiatehokkuuden lisäämiseen ja kulutuksen siirtämiseen edullisille sähkön hinnoille. Samanaikaisesti kotiautomaation toteuttamiseksi tarvittavien laitteiden hinnat ovat laskeneet ja saatavuus parantunut, mikä on mahdollistanut yhä useammalle kotitaloudelle mahdollisuudet tavoitella säästöjä automaation avulla. Yksinkertaisimmillaan älylaitteiden avulla voidaan optimoida energian käyttöä siten, että laitteiden käyttöä säädetään etäältä manuaalisesti. Monimutkaisemmassa järjestelmässä voidaan hyödyntää sähkön hintatietoja ja käyttäjän laitteiden käyttötottumuksia ajoittamalla laitteiden päällä oloa edullisiin käyttöhetkiin ja/tai tarkoituksenmukaisiin käyttöajankohtiin. Mikäli älykotiin on asennettu aurinkopaneelit, voi niiden tuottamaa energiaa hyödyntää paikallisesti paremmin automaation avulla (Ezugwu ja muut, 2025, s. 9–10). Esimerkiksi tällaisesta käyttötapauksesta on kytkeä lämminvesivaraajan päälle, kun paneelit tuottavat enemmän energiaa kuin kiinteistöllä sillä hetkellä kulutetaan. Tähän voidaan lisätä myös ehto, että verkkoon myyntiä vähennetään ainoastaan siinä tapauksessa, että sähkön hinta on asetetun rajan alapuolella. Ezugwu ja muiden (2025, s. 9) tutkimuksessa tunnistettuja käyttötapoja oli myös talon sähköverkon kuormanhallinta automaation avulla, epätavallisen energiakäytön tunnistaminen sekä koneoppimisalgoritmien käyttäminen energiankulutuksen vähentämiseksi. Kasubi ja Huchaiah (2021) käyttävät termiä energian joustavuus, tarkoittaen automaation käyttöä energiankulutuksen

vähentämiseen minimoiden vaikutuksen talon asukkaisiin. He kuvailevat myös älykästä vedenkäytön seuranta ja kontrollointia yhdeksi tavaksi energian säästämiseen.

2.2.2 Asuinmukavuus

Sovacool ja Furszyfer Del Rio (2020) sekä Ezugwu ja muut (2025) tunnistivat yhdeksi yleiseksi käyttökohteeksi kodin hallinnan ja kontrolloinnin sekä sen tuottaman lisääntyneen mukavuuden (engl. *convenience*). Hallinnan ja kontrolloinnin tuottamiksi eduiksi voidaan laskea myös lisääntynyt turvallisuus, jota käsitellään seuraavassa alaluvussa. Tässä alaluvussa käytetään yleistermiä asuinmukavuus, jonka alle lasketaan esimerkiksi valaistukseen, kodinkoneisiin ja talotekniikkaan liittyvät automaatiot ja ohjaustavat, jotka tekevät asumisesta mukavampaa ja helpompaa. Ezugwu ja muiden (2025) mukaan älykotien hallinta ja monitorointijärjestelmät integroivat kodinkoneet ja muut laitteet yhdeksi automaattisesti kontrolloiduksi ekosysteemiksi mahdollistaen etäohjauksen sekä älykkään hallinnan kodin laitteille ja varusteille. Yksi yleinen automatisointikohde on valaistus esimerkiksi liike- tai hämäritunnistimien avulla. Kodin sisäilman seuranta on myös yksi tapa lisätä asuinmukavuutta, esimerkkinä lisätty ilmanvaihdon teho, kun sisäilman hiilidioksiditaso nousee ennalta määriteltä rajaa korkeammaksi. Kasubi ja Huchaiah (2021, s. 3) kuvailevat automatisoinnin mahdollisuuksia lähes rajattomiksi, käyttäjän mielikuvituksen ollessa vain rajana. Kodin hallintaa ja kontrollointia voi helpottaa myös esimerkiksi tekoälyn tai puheohjauksen avulla, jotka usein liitetään osaksi kotiautomaatiojärjestelmää (Ezugwu ja muut, 2025). Mahdollisuus puheohjaukseen sekä käyttöliittymissä ja sovelluksissa tapahtunut kehitys mahdollistavat älykodin hallinnan ja kontrolloinnin käyttäjille, joilla ei ole teknistä asiantuntemusta (Singh & Dhablia, 2023, s. 132).

2.2.3 Kodin turvallisuus

Kodin turvallisuus on myös yksi eniten kotiautomaatiolla tavoitelluista toiminnoista. Sillä voidaan tarkoittaa kodin kulunhallintaa, kamera- ja liiketunnistinvalvontaa tai esimerkiksi älykkäitä palo- tai kaasuvaroittimia ja vesivuotovahteja (Ezugwu ja muut, 2025, s. 8–10).

Singhin ja Dhablian (2023) mukaan tekoälyn ja koneoppimisen viimeaikaiset kehitysaskleet ovat mahdollistaneet entistä monimutkaisemmat valvontajärjestelmät. Ne voivat tunnistaa esimerkiksi epäilyttävää verkkoliikennettä, tai kameravalvonta voidaan asettaa hälyttämään vain ihmiseksi tunnistetuista kohteista. Yksi turvallisuuden osa-alue on itse kotiautomaatiojärjestelmän turvallisuus ja yksityisyys. Se on samalla yksi suurimpia haasteita älykotien yleistyessä kovaa vauhtia talouksissa, joissa tietoturvaan liittyvää osaamista ei välttämättä ole ollenkaan. Älykodista voi löytyä kamerat, liiketunnistimet, verkkoon liitetyt kodinkoneet sekä esimerkiksi etäohjattava lämmitysjärjestelmä. Mikäli näihin järjestelmiin päästään käsiksi etäältä luvatta, voi aiheutettu vahinko tai yksityisyyden loukkaus olla merkittävä. Seuraavassa alaluvussa käsitelläänkin keskeisiä kotiautomaatiojärjestelmiin liittyviä haasteita, joista turvallisuuteen ja yksityisyyteen liittyvät riskit ovat merkittävässä osassa.

2.3 Kotiautomaatioon liittyvät haasteet ja yleistymisen esteet

Aikaisemman tutkimuksen perusteella kotitaloudet, joissa on käytössä kotiautomaatiojärjestelmä, ovat tunnistaneet haasteita useilla eri osa-alueilla. Vuonna 2011 tehdyssä tutkimuksessa eniten mainitut ongelmat ja kotiautomaatiojärjestelmien yleistymisen esteet olivat joustamattomuus, vaikea hallittavuus, turvallisuus ja korkeat kustannukset. Tässä tutkimuksessa käyttäjät kommentoivat, että kotiautomaatiojärjestelmät eivät ole tarpeeksi vakaita keskivertokäyttäjälle, ja että niiden tuottamat hyödyt ovat liian pieniä kustannuksiin nähden (Brush ja muut, 2011, s. 5). Vuonna 2021 tehdyssä tutkimuksessa ongelmiksi listattiin yksityisyyteen liittyvät haasteet, yhteentoimivuusongelmat, laitteiden vaikea hallinta sekä korkeat kustannukset (Kasubi & Huchaiah, 2021, s. 3). Sovacoolin ja Furszyfer Del Rion (2020, s. 9) tutkimuksessa haastatellut asiantuntijat tunnistivat yhteensä 17 riskialuetta ja haastetta älykoteihin liittyen. Näistä yleisimmät olivat yksityisyyteen ja turvallisuuteen liittyvät asiat, tekninen luotettavuus ja laitteiden vanheneminen sekä käytettävyyteen ja järjestelmän käytön oppimiseen liittyvät ongelmat. Tuoreemmassa tutkimuksessa järjestelmien kustannukset eivät ole enää niin suuri huolenaihe, kun mitä se oli esimerkiksi 2000- ja 2010-luvulla tehdyissä tutkimuksissa. Turvallisuuteen, tekniikkaan

ja käytettävyyteen liittyvät seikat sen sijaan ovat pysyneet keskeisimpinä ongelmina jo pidemmän aikaa.

2.3.1 Tietoturva ja yksityisyys

Tietoturvaan ja yksityisyyteen liittyvät haasteet ovat säilyneet älykotiasukkaiden sekä alan asiantuntijoiden suurimpana huolenaiheena jo vuosikymmenten ajan. Älykodilla tavoiteltuja hyötyjä ovat usein turvallisuuden ja mukavuuden parantaminen, mutta itse älykotijärjestelmä tuo mukanaan useita riskitekijöitä tietoturvaan ja yksityisyyteen liittyen. Rose ja muut (2015, s. 32) toteavat artikkelissaan, että kun internetiin kytkettyjen laitteiden määrä kasvaa, kasvaa myös mahdollisuus kyberhyökkäyksille, joiden avulla laitteita voidaan ohjelmoida uudestaan tai estää niiden toiminta. Artikkelin mukaan huonosti suunnitellut laitteet ja järjestelmät saattavat altistaa käyttäjän datan ja henkilötiedot väärin käsiin. Erityisesti edulliset ja pienet teknisesti rajoittuneet IoT-laitteet ovat alttiita edellä mainituille riskeille, jopa suuremmissa määrin kuin perinteiset tietokoneet. Mitä enemmän IoT-laitteita on, sitä enemmän on mahdollisuuksia väärinkäytöksille. Internetiin yhdistetyt ja keskenään keskustelevat IoT-laitteet eivät aiheuta ongelmia ainoastaan paikallisesti, vaan myös koko internetin tasolla. Artikkelissa käytetään esimerkkinä Yhdysvalloissa sijaitsevaa jääkaappia, johon on saatu ujutettua haittaohjelma, joka lähettää roskapostia pitkin maailmaa käyttäen kodin Wi-Fi-yhteyttä.

Mitä useampi kodin laite on yhteydessä internetiin, sitä vaikeammaksi tietoturvasta huolehtiminen muuttuu. Esimerkiksi haittaohjelmalla saastunut älytelevisio on helppo kytkeä pois päältä ja irti verkosta, mutta samaa ei voi tehdä esimerkiksi kodin älykkäälle sähkökeskukselle, jos siihen saadaan asennettua haittaohjelma. Artikkelissa tunnistetaan myös ongelmia laitteiden päivitettävyyden ja toimintalogiikan suhteen. Laitteet saattavat olla suunniteltu siten, että niitä ei voi päivittää ollenkaan. Vaikka päivitysmahdollisuus olisi, voi laitteen käyttöikä olla pidempi kuin sen valmistaneen yrityksen elinkaari. Käyttäjille jää myös usein epäselväksi laitteiden tarkka toimintalogiikka ja tieto siitä, mitä tietoa ne keräävät ja minne sitä välitetään. Kodin

älylaitteiden sijoittelu voi johtaa siihen, että haitalliset toimijat pääsevät laitteisiin fyysisesti käsiksi, ja saavat sitä kautta pääsyn arkaluontoiseen tietoon tai talon verkkoon.

Fernandes ja muut (2016, s. 636) tarkastelevat artikkelissaan Samsung SmartThingsin toimintaa, joka toimii teknisesti hyvin samalla tapaa kuin muut kaupalliset pilvipohjaiset älykotijärjestelmät. Artikkelissa todetaan, että pilvipalvelun toimintaa on vaikea analysoida, sillä järjestelmä on suljettu ja sen osien välinen liikenne on salattua. He huomasiivat, että valtaosa älysovelluksista ei hyödyntänyt kaikkia niiden pyytämiä pääsyoikeuksia. Järjestelmän suunnitteluvirheitä ja haavoittuvuuksia hyödyntäen tutkijat pystyivät muun muassa selvittämään PIN-koodeja ja aiheuttamaan tekaistun palohälytyksen. Jacobsson ja muut (2016) analysoivat älykoteihin liittyviä riskejä ja totesivat, että monissa kuluttajille tarkoitetuissa älykotilaitteissa oli puutteita tietoturvan ja yksityisyyden osalta. Tutkimuksen perusteella turvallisuuteen ja yksityisyyteen liittyvät seikat tulee ottaa huomioon jo järjestelmää suunnitellessa. He laativat nelikohtaisen mallin:

1. Kotiautomaatiojärjestelmässä siirrettävän henkilötiedon tunnistaminen ja luokittelu
2. Keskeisten yksityisyys- ja tietoturvariskien analysointi ja kuvaus
3. Ennaltaehkäisevien, havaitsevien ja reagoivien hallintakeinojen tunnistaminen ja käyttöönotto riskien vähentämiseksi
4. Strategia yksityisyyden huomioivaan tiedonhallintaan järjestelmässä

Järjestelmää suunniteltaessa mallin voi ottaa huomioon esimerkiksi seuraavalla tavalla. Kohdassa 1 kartoitetaan, mitkä laitteet lähettävät herkkää tietoa, ja miten herkkää se on. Esimerkiksi kameran välittämä kuva- ja äänitieto, matkapuhelimen sijaintitieto tai energiankulutukseen liittyvät tiedot ovat luonteeltaan erilaisia, ja käyttäjän tulisi huomioida se suunnittelussa. Kohdassa 2 määritellään järjestelmän kohtaamat uhat, kuten luvaton pääsy järjestelmään ja sen mahdollistamat väärinkäytöt tai esimerkiksi laitteiden vanhentuminen. Kohdan 3 mukaisesti ennakoivaksi toimeksi voidaan laskea esimerkiksi vahvan salauksen käyttö. Havaitseva hallintakeino voi olla esimerkiksi

ilmoitus siitä, jos järjestelmään on päästy murtautumaan, ja reagoiva keino voi olla murretun laitteen eristäminen verkosta automaattisesti. Kohdalla 4 tarkoitetaan sitä, että järjestelmän suunnittelija laatii periaatteet siitä, mitä tietoja säilytetään, missä sitä säilytetään ja miten pitkään.

2.3.2 Tekniikkaan liittyvät haasteet ja yhteentoimivuusongelmat

Pilvipalveluihin ja siten internetyhteyden toimintaan perustuvat järjestelmät lisäävät kodin riippuvuutta muihin toimijoihin, ja mahdolliset palvelu- tai yhteyskatkokset voivat pahimmillaan estää kodin kriittisten toimintojen kuten lämmityksen tai kulunhallinnan toiminnan. Paikallisesti hallittu järjestelmä toimii internetyhteyden ollessa poikki, mutta myös sen etähallintamahdollisuus menetetään. Ulkopuolisten ongelmien, kuten internetyhteyden katkeamisen tai sähkökatkon lisäksi kotiautomaatiojärjestelmän sisäiset vikatilanteet ja laitteiden väliset riippuvuudet toisistaan voivat aiheuttaa ongelmia. Lukuisten eri ekosysteemien, protokollien ja tekniikoiden takia yhteentoimivuusongelmat ovat erittäin yleinen ongelma älykodeissa. Wangin ja muiden (2022) mukaan on myös tärkeää tunnistaa järjestelmän toiminnan kannalta kriittiset komponentit, eristää mahdolliset ongelmat sekä miettiä, miten järjestelmä toimii kriittisen komponentin vikaantumisen jälkeen. Viat voidaan jaotella paikallisiin vikoihin ja leviäviin vikoihin, jotka vaikuttavat koko järjestelmän toimintaan. Esimerkiksi lämpötilasensorin vikaantuminen estää vain lämpötilatiedon saamisen, mutta älykotikeskittimeen liitetyn Zigbee-sovittimen vikaantuminen voi estää kaikkien Zigbee-tekniikkaa käyttävien laitteiden toiminnan, ja siten vaikuttaa laajasti älykodin automaatioiden toimintaan. Hen ja muiden (2019, s. 152–153) tutkimukseen osallistujista 34,7 prosenttia raportoi haasteita internetyhteyden katkeamisen tai sähkökatkoksen takia. Laitteet eivät välttämättä palautuneet käyttöön katkoksen jälkeen, tai ne palautuivat väärään tilaan. Erityisesti loman aikana sattuneet yhteysongelmat turvalaitteiden kanssa koettiin ongelmallisiksi, sillä oli mahdotonta tietää, johtuuko se esimerkiksi sähkökatkoksesta, vai siitä että taloon on murtauduttu ja laitteet kytketty pois päältä. Brushin ja muiden (2011, s. 7) tutkimuksessa haastateltiin kotitalouksia, joilla on kotiautomaatiota käytössä. 14 vastaajaa nosti esiin epäluotettavan toiminnan.

Epäluotettava toiminta voi järjestelmän toimimattomuuden lisäksi esiintyä esimerkiksi siten, että automaatiot eivät toimi halutulla tavalla. Osa vastaajista myös totesi, että vianselvittely on haastavaa, kun ongelmia esiintyy. Useampi vastaaja koki myös järjestelmän hitaan reagoinnin ongelmaksi. Myös vastaajat, jotka eivät olleet kokeneet luotettavuusongelmia, arvioivat luotettavan toiminnan tärkeäksi. Risteska ja Trivodaliev (2017, s. 1461) toteavat, että suurin este yleiskäyttöisten älykotiratkaisujen kehitykselle on älykotilaitteiden integroimiseen liittyvät kustannukset. Yhteentoimivuuden nähdään olevan avainasemassa sille, että IoT-markkinaaan saadaan kilpailukykyisiä ratkaisuja. Brush ja muut (2011, s. 6) tunnistivat keskeiseksi yleistymisen esteeksi valinnan integroinnin helppouden ja joustavuuden välillä. Useampi tutkimukseen vastanneista, erityisesti tee se itse henkiset vastaajat, eivät halunneet sitoa itseään tietyn valmistajan ratkaisuun. Yhden valmistajan ratkaisuun sitoutuminen helpottaa laitteiden välisiä yhteentoimivuusongelmia, mutta rajoittaa omia kontrollointimahdollisuuksia. Jos valitsee useamman eri laitevalmistajan laitteita, haasteeksi tulee laitteiden integroiminen yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Näiden haasteiden takia vastaajat totesivat, että monesti on edullisempaa ja helpompaa pitää eri laitevalmistajien laitteet erillään. Tämä johtaa siihen, että kotiautomaatiota joudutaan hallitsemaan usean eri kanavan kautta, ja monimutkaisempien, useita laitteita hyödyntävien automaatioiden luominen ei välttämättä onnistu.

Rosen ja muiden (2015, s. 45–46) artikkelissa todetaan, että täysin yhteentoimivassa ympäristössä mikä tahansa IoT-laite pystyisi yhdistymään mihin tahansa muuhun laitteeseen tai järjestelmään ja vaihtamaan tietoja halutulla tavalla. Käytännössä tämä on kuitenkin huomattavasti monimutkaisempaa. IoT yhteentoimivuuskeskustelun keskiössä on tiedonsiirtoyksityiskohtien määrittely, protokollien standardisoinnit ja käyttöönotto, sekä arviointi siitä, milloin standardointi on paras ratkaisu. Rosen ja muiden (2015, s. 45–46) artikkelissa mainitaan, että McKinsey Globalin vuonna 2015 julkaisemassa raportissa on arvioitu, että esineiden internetin tuottamasta potentiaalista jää saavuttamatta keskimäärin 40 prosenttia ilman laitteiden välistä yhteentoimivuutta. Osa valmistajista tavoittelee kilpailullisia etuja ja taloudellista hyötyä

suljettujen ekosysteemien kautta, mutta koko markkinan tasolla se voi lopulta rajoittaa IoT-ekosysteemin kasvua. Pereran ja muiden (2014, s. 414–423) mukaan yksi hyvän yhteentoimivuuden mahdollistama hyöty on älykotijärjestelmän kontekstitietoisuus. Kontekstitietoisuudella tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä, että tietoa yhdistetään useasta eri lähteestä (sensorista) päättelylogiikkaan, joka tekee datasta hyödyllisempää. Yksittäisten sensorien tuottama data ei vielä tee kodista älykstä, vaan tiedon yhdistely useasta lähteestä ja tarkoituksenmukainen toiminta sen perusteella. Kontekstitietoisuus voi olla aktiivista tai passiivista. Passiivisella tarkoitetaan sitä, että järjestelmä esimerkiksi ehdottaa ilmanvaihdon tehostusta havaittuaan ilmanlaadussa heikentymisen merkkejä. Aktiivisen kontekstitietoisuuden järjestelmä tehostaisi ilmastointia itse saman havainnon tehtyään. Seuraavassa luvussa esiteltävä, koko ajan yleistyvä Matter-standardi pyrkii ratkaisemaan juuri laitteiden yhteentoimivuuteen liittyviä ongelmia.

2.3.3 Järjestelmän monimutkaisuus ja sen aiheuttama kuormitus asukkaille

Älykotien mukavuuslupaukset ja visiot voivat olla hyvinkin houkuttelevia. Usein kotiautomaation luvataan parantavan asuinmukavuutta ja turvallisuutta samalla vähentäen energiankulutusta. Näiden tulosten saavuttaminen on kuitenkin hyvin pitkälti kiinni siitä, käytetäänkö järjestelmiä täysmääräisesti ja että miten niitä käytetään. Moni älykoteihin keskittyvä tutkimus on keskittynyt teknisiin haasteisiin, ja niiden käyttöä ja käytettävyyttä on tutkittu vähän. Hargreavesin ja muiden (2018, s. 128–129, 137) vuonna 2018 tekemä tutkimus kymmenessä älykotitaloudessa tunnisti viisi estettä älykotien yleistymiselle. Niistä useampi kohdistui juuri käytettävyyteen, joustavuuteen ja luotettavaan toimintaan. Älykodeissa asuu usein useita eri henkilöitä erilaisilla teknisillä taidoilla, ja kodin rutiineihin liittyy usein improvisaatiota, kompromisseja ja konflikteja. Älykotijärjestelmän pitäisi pystyä selviytymään tässä muuttuvassa ympäristössä ja toimimaan tarkoituksenmukaisesti. Tutkimuksissa on todettu, että älykotien asukkaat eivät välttämättä halua ymmärtää älykodin toimintaa, ja että kotiautomaatiojärjestelmä ei saisi ottaa valtaa talossa, tuntuen ylivoimaiselta käyttäjä ja ymmärtää. Älykodissa asumista kuvaillaan usein epätäydelliseksi kokemukseksi edellä mainittujen haasteiden takia. Selvänä pidetään sitä, että älykotijärjestelmiä suunniteltaessa ja kehiteltäessä

käyttäjänäkölma pitäisi ottaa paremmin huomioon. Yang ja muut (2018, s. 9) tutkivat älykotien käyttöönoton ja yleistymisen kannalta keskeisiä tekijöitä. Tutkimustulokset osoittivat, että järjestelmiltä edellytetään yhteenliitettävyyttä, luotettavuutta ja oikeatasoista automaatiota. Koska käyttäjien mieltymykset näiden asioiden suhteen vaihtelevat, on nämä seikat tärkeää ottaa huomioon järjestelmää suunniteltaessa. Tutkijat näkevät näiden seikkojen huomioimisen mahdollistavana tekijänä älykotien yleistymiseen ja markkinan kasvuun. Hargreaves ja muut (2018, s. 1) toteavat empiiristen tutkimusten perusteella, että älykodit edellyttävät asukkailta sopeutumista ja perehtymistä, mikä voi rajoittaa niiden käyttöä. Sen lisäksi havaittiin, että älykotiteknologioiden käytön opettelu on vaativaa ja aikaa vievää, ja siihen on tällä hetkellä saatavissa vain vähän tukea. Balta-Ozkan ja muut (2013, s. 370) huomauttavat, että älykodit voivat olla haastavia esimerkiksi vanhemmille, ei diginatiiveille käyttäjille. Älykotien ohjaaminen perustuu hyvin usein älypuhelimessa olevaan sovellukseen, mutta usein iäkkäämmillä ihmisillä ei sellaista ole.

Hen ja muiden (2019, s. 152) tutkimukseen osallistuneet totesivat älykotilaitteisiin liittyvän vian selvittelyn ja asetusten uudelleen laittamisen haasteellisena. Myös automaatioiden tekemiseen kaivattiin ammattilaisten apua, ja käyttäjät pelkäsivätkin itse tehtyjen automaatioiden jopa hajottavan koko järjestelmän. Tutkijat esittävät näiden ongelmien ratkaisemiseksi älykotisimulaattoria, jossa automaatioita voisi testata ennen niiden käyttöönottoa. Bannon ja muut (2007, s. 331, 339, 346) käyttävät termiä digitaalinen kodinhoito (engl. *digital housekeeping*), tarkoittaen sillä työtä, joka tehdään kotiverkkojen perustamiseksi ja ylläpitämiseksi. Heidän havaintojensa perusteella tämä työ kerääntyy yleensä yhdelle henkilölle. Heidän mukaansa ylläpitotyö on myös usein sovitettava ajankohtiin, joissa se ei häiritse muiden talon asukkaiden arkea.

2.3.4 Kustannukset

Älykotiteknologian kustannuksissa on tapahtunut merkittävä muutos viime vuosina. Varhaiset tutkimukset aiheesta painottivat korkeita kustannuksia ja alkuinvestointeja älykotien haasteita listatessa. 2000-luvulla yleisimmiksi yleistymisen esteiksi mainittiin

korkeat aloituskustannukset. Kustannuksia syntyi muun muassa tarpeesta sovittaa älykotijärjestelmä jo olemassa olevaan rakennukseen, sillä aiemmat teknologiat vaativat fyysisiä asennuksia (Harper, 2003, s. 8). Tilanne on muuttunut langattomien ja yleistyneiden IoT-laitteiden myötä. Se on kuitenkin tuonut mukanaan uusia haasteita, kuten yhteensopivuusongelmat ja laitteiden lyhyemmän käyttöiän, mikä taas osaltaan voi nostaa kustannuksia. Balta-Ozkanin ja muiden (2013, s. 370) tutkimukseen osallistuneista kaikki ryhmät nostivat esiin älykotijärjestelmään liittyvät kustannukset. Korkeat asennuskustannukset tekevät älykotijärjestelmästä taloudellisesti järkevän ainoastaan pitkäaikaisille asukkaille, joilla on tarvittava varallisuus järjestelmän perustamiseen, rajaten pienituloiset ja esimerkiksi vuokralla asuvat ulkopuolelle. Vastaajat halusivat myös nähdä järjestelmän tuottavan merkittäviä säästöjä. Kodinkoneiden käytön ajoittaminen edullisiin sähkön hintoihin nähtiin turhaksi, mikäli saavutettavat säästöt olivat pieniä. Tutkimuksen perusteella käyttäjät suosivat mieluummin energiatehokkaiden laitteiden ostamista.

2.4 Järjestelmäarkkitehtuuri ja automaation tasot

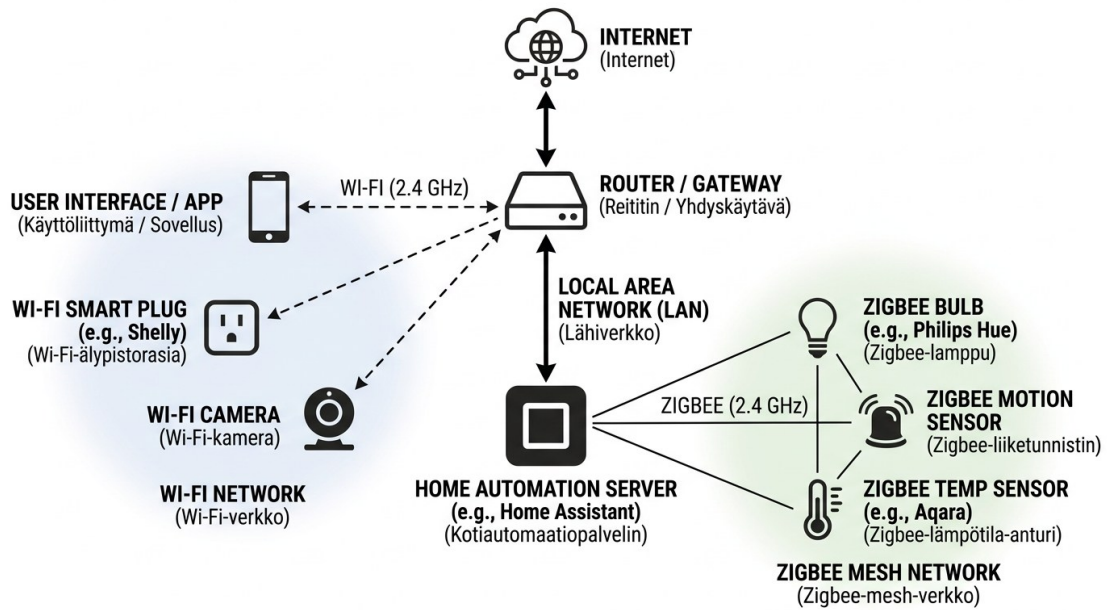
Kasubi ja Huchaiah (2021, s. 1–3) kirjoittavat IoT-arkkitehtuurin koostuvan kolmesta eri tasosta, joita ovat laite-, yhteys- ja sovelluskerros. Laitekerros koostuu sensoreista ja toimilaitteista, jotka keräävät dataa ja välittävät sitä yhteyskerrokseen. Yhteyskerroksessa tieto yhdistetään ja muutetaan sensoridatasta digitaaliseksi tiedoksi, joka sitten reititetään sovelluskerrokselle jatkokäsittelyä varten. Sovelluskerros esittää tiedon loppukäyttäjälle.



Kuvio 1. Mukailtuna Kasubin ja Huchaiahin (2021, s. 2) esittämä kolmitasoinen IoT-verkko.

Kotiautomaatiojärjestelmiä pidetään yhtenä IoT:n lupaavimmista käyttökohteista. Suuri määrä eri ekosysteemejä, tiedonsiirtoprotokollia ja tekniikoita ovat tähän asti toimineet hidasteena älykotien yleistymiselle (Phan & Kim, 2020, s. 1).

Älykotijärjestelmien keskiössä on usein jonkinlainen keskusyksikkö ja siihen kuuluva hallintajärjestelmä, jotka sijoittuvat edellisen kolmitasoinen mallin mukaan sovelluskerrokseen. Yhteyskerroksessa toimivia teknologioita ovat muun muassa Wi-Fi, Zigbee ja muut laitteiden välisen kommunikoinnin mahdollistavat protokollat. Laittekerrokseen kuuluvat esimerkiksi älyvalaisimet, sensorit, katkaisijat, kamerat, älyreleet ja verkkoon yhdistettävät kodinkoneet. Kuviossa 2 on esitelty yksinkertaistettu esimerkki kotiautomaatiojärjestelmän rakenteesta.



Kuvio 2. Esimerkki kotiautomaatiojärjestelmän arkkitehtuurista. Huom. Kuvio on luotu tekoälyä hyödyntäen kehotteella "Luo kaaviokuva kotiautomaatiojärjestelmästä, joka sisältää internetin, reitittimen, kotiautomaatiopalvelimen sekä Zigbee- että Wi-Fi-laitteita" (Google, 2026c).

Sovacool ja Furszyfer Del Rio (2020) esittävät automaation tasolle kuusitasoisen asteikon. Taso 0 tarkoittaa kotia, jossa ei ole käytössä lainkaan automaatiota. Tason 1 kodissa on joitakin yksittäisiä älylaitteita, kuten älytelevisio tai aurinkopaneelijärjestelmä. Ne eivät kuitenkaan keskustele keskenään ja laitteita käytetään manuaalisesti. Tasolla 2 laitteet ovat yhteydessä toisiinsa ja toimivat yhteistyössä. Esimerkkinä tason 2 automaatiosta voidaan pitää esimerkiksi energianäyttöä, joka keskustelee talon ilmalämpöpumpun ja ohjaa sitä. Tason 3 automaatiojärjestelmä on jo selkeästi älykkäämpi, ja se sisältää monimutkaisempia automaatioita. Puhelimen sijaintitietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi valojen sytyttämiseen kotiin saapuessa, tai lämmitysjärjestelmä voidaan ohjelmoida ennakoimaan esimerkiksi sään ennustetut muutokset. Tason 4 järjestelmästä puhutaan, kun järjestelmä pystyy aistimaan ympäristön muutoksia ja reagoimaan siihen, sekä oppimaan ja tekemään ehdotuksia esimerkiksi energian säästämisestä. Kun automaatio pystyy ennakoimaan asukkaiden tarpeet, mukautumaan niihin täysin ja kommunikoidaan asukkaiden kanssa, puhutaan tason 5 automaatiosta. Tasolla 5 yhdistetään kaikkia kodin eri osa-alueita yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi, joka toimii

itsenäisesti tekoälyn avulla. Tutkielman kirjoitushetkellä hyvin suunniteltu ja rakennettu automaatiojärjestelmä voi toimia tasolla 4, saavuttaen joitakin tasolle 5 kuuluvia piirteitä. Tutkimuksessa on myös esitetty teoreettinen taso 6, jolla tarkoitetaan esimerkiksi naapurustoa, joka koostuu toisiinsa yhteydessä olevista tason 5 kodeista.

3 Älykodin teknologiset ratkaisut

Tässä luvussa on esitetty yleisimmät kotiautomaatiojärjestelmän toteuttamiseen käytetyt teknologiat. Toimiva kotiautomaatiojärjestelmä koostuu kahdesta osa-alueesta, järjestelmän aivoina toimivasta ohjelmistosta tai palvelusta, josta käytetään tässä tutkielmassa termiä hallinta-alusta (engl. *middleware*). Sen tehtävä on kerätä tietoa antureilta ja sensoreilta, suorittaa käyttäjän määrittämiä toimintoja ja automaatioita sekä tarjota käyttöliittymä järjestelmän hallintaan. Hallinta-alustan tärkeä ominaisuus on kyky integroitua muihin laitteisiin, ja se vaatii kykyä tulkita erilaisia protokollia (Atzori, 2010, s. 8–10). Toinen olennainen osa on laite-ekosysteemi, joka voi muodostua tietyn laitevalmistajan tai standardin ympärille (Setz ja muut, 2021, s. 2). Aluksi esitellään hallinta-alustat ja ekosysteemit sekä tiedonsiirtoprotokollat, jonka jälkeen käydään läpi eri laitevalmistajien toteutuksia. Lopuksi käydään lyhyesti läpi, miten järjestelmiä voi ohjata etäältä, keskittyen pääasiassa Home Assistantin etäkäyttövaihtoehtoihin. Luvun rakenne noudattaa alaluvussa 2.4 esitettyä IoT-arkkitehtuuria. Hallinta-alustat ja ekosysteemit sijoittuvat sovelluskerrokseen, tiedonsiirtoprotokollat yhteyskerrokseen ja laitevalmistajien tuotteet laitekerrokseen.

3.1 Hallinta-alustat ja ekosysteemit

Älykodin hallinta-alustat ja ekosysteemit voidaan jaotella neljään pääluokkaan: avoimiin integraatioalustoihin, globaaleihin pilvipalveluekosysteemeihin, laitekeskeisiin ekosysteemeihin sekä kaupallisiin keskittimiin. Ensimmäisen ryhmän muodostavat avoimet alustat, kuten Home Assistant, OpenHAB ja Domoticz, jotka pyrkivät valmistajariippumattomuuteen ja paikalliseen hallintaan. Toisena merkittävänä luokkana ovat suuret globaalit toimijat, kuten Apple, Google, Amazon ja Samsung. Nämä tarjoavat pilvipohjaisia ekosysteemejä, jotka pyrkivät sitomaan käyttäjän tiettyyn laitekantaan tai ääniavustajaan (Sovacool & Furszyfer Del Rio, 2020). Kolmannen ryhmän muodostavat laitekeskeiset ekosysteemit, kuten Philips Hue ja IKEA Trådfri. Tuya puolestaan edustaa pilvi- ja laitekeskeisen ekosysteemin yhdistelmää. Nämä järjestelmät ovat tyypillisesti optimoitu toimimaan kunkin valmistajan omien laitteiden välillä, mutta ne tarjoavat

mahdollisuuksia myös laajempia integraatioita varten. Viimeisimpänä ovat kaupalliset keskittimet, kuten Homey ja Cozify, jotka tarjoavat monipuolista tukea eri valmistajien laitteille, mutta ovat usein sidoksissa valmistajan omiin pilvipalveluihin (Setz ja muut, 2021).

3.1.1 Home Assistant ja muut avoimet alustat

Home Assistant on Open Home Foundationin ylläpitämä ja Nabu Casan tukema avoimen lähdekoodin kotiautomaatiojärjestelmä. Se toimii paikallisesti ilman pilvipalvelua, eikä vaadi toimivaa internetyhteyttä palvelun paikalliseen käyttöön. Se voidaan asentaa kahdella eri tapaa, Home Assistant Operating Systeminä (HAOS) esimerkiksi Raspberry Pi:lle tai virtuaalikoneelle, joka pyörii Windowsilla, macOS:llä tai Linuxilla. Lisäksi myynnissä on Home Assistant Green- ja Yellow-tietokoneita, joihin on esiasennettu HAOS. HAOS on suositeltu tapa asentaa järjestelmä, sillä siinä on laajin tuki eri toiminnoille. Home Assistant voidaan asentaa myös Container-asennuksena esimerkiksi Dockerin avulla (Home Assistant 2026a). Home Assistantin vahvuus on sen erittäin laaja tuki eri valmistajien laitteille. Kirjoitushetkellä erilaisia integraatioita on yli 3400, ja se toimii yli tuhannen eri valmistajan laitteen kanssa. Se oli vuonna 2025 yksi eniten kontribuutioita saaneista avoimen lähdekoodin projekteista GitHubin listauksen mukaan (GitHub 2026). Home Assistant mahdollistaa integroitumisen kaikkiin suurimpiin älykotiekosysteemeihin, kuten Amazon Alexaan, Google Homeen, Apple Homeen sekä Samsung SmartThingsiin. Sen lisäksi se voi lisälaitteen avulla toimia Zigbee- tai Matter-keskittimenä, tarjoten suorat yhteydet kattavaan valikoimaan älylaitteita. Siitä löytyy myös suora tuki lukuisten tunnettujen valmistajien laitteisiin, kuten Shelly, Philips Hue, Sonos ja Ikea Trådfri (Home Assistant 2026b). Koska Home Assistant pystyy integroitumaan lähes minkä tahansa laitteen tai rajapinnan kanssa, on sillä mahdollista tehdä todella monipuolisia automaatioita. Home Assistant tarjoaa valmiita automaatioita (engl. *Blueprints*), mutta mahdollistaa myös automaatioiden laatimisen itse joko graafisella käyttöliittymällä tai YAML (Yaml Ain't Markup Language) -muodossa kirjoittamalla (Home Assistant 2026c). Home Assistantin käyttöliittymä (engl. *Dashboards*) tarjoaa käyttäjälle täysin muokattavissa olevan näkymän, joka toimii muun

muassa internet-selaimessa tai iOS- tai Android-sovelluksessa (Home Assistant 2026d). Se sisältää myös oman puheavustajan, mahdollisuuden asentaa kolmannen osapuolen sovelluksia ja näkymän kiinteistön energian hallintaan ja seuraamiseen (Home Assistant 2026e).

Home Assistantin lisäksi tarjolla on muitakin avoimen lähdekoodin vaihtoehtoja, kuten OpenHAB (Open Home Automation Bus) ja Domoticz. Ne ovat molemmat peruseriaatteeltaan samanlaisia ilmaisia ja paikallisia alustoja, mutta niistä löytyvien integraatioiden määrä on pienempi ja niiden käyttäjäyhteisöt ovat pienemmät kuin Home Assistantilla. OpenHABin ensimmäinen koodirivi on kirjoitettu vuonna 2010, ja sillä ei ole yhtä yksittäistä kehittäjää, vaan se on ryhmän vapaaehtoisia tekemä. Se on kirjoitettu pääasiassa Javalla. Domoticzin ensimmäinen versio on julkaistu vuonna 2012 ja sitä ylläpitää laaja kehittäjien ryhmä. Se on kirjoitettu C++ kielellä (Setz ja muut, 2021). Ne ovat myös käytettävyydeltään hieman teknisempiä. OpenHAB on tunnettu vakaudestaan, kun taas Domoticz on erittäin kevyt ja yksinkertainen järjestelmä (OpenHAB, 2026; Domoticz, 2026).

3.1.2 Pilvipohjaiset ekosysteemit

Apple, Google, Amazon ja Samsung ovat monille kuluttajille tuttuja laitevalmistajia ja pilvipalveluiden tarjoajia, joilla jokaisella on myös oma älykotiekosysteemi. Apple Home painottaa paikallista hallintaa ja keskittyy vahvasti yksityisyyteen ja tietoturvaan. Google, Amazon ja Samsung ovat enemmän pilvipohjaisia ja perustuvat vahvasti puheohjaukseen. Kaikkien alustojen tarkoitus on piilottaa tekninen puoli käyttäjältä, ja luoda helppo käyttöliittymä kotiautomaation hallintaan. Kaikki edellä mainitut yritykset valmistavat myös älykotiin soveltuvia laitteita kuten puheohjattavia kaiuttimia, mutta myös kolmannet osapuolet voivat valmistaa alustoille sertifioituja laitteita.

Apple Home

Apple Home, joka tunnettiin aiemmin nimellä Apple HomeKit, on Applen älykotialusta, joka mahdollistaa älylaitteiden ohjaamisen ja hallinnoinnin Applen laitteiden kautta.

Alusta on tunnettu yksityisyyden ja tietoturvan huomioimisesta sekä helposta käyttöliittymästä. Ekosysteemiin kuuluvien laitteiden tulee olla Apple Home -sertifioituja (Works with Apple Home) tai Matter-yhteensopivia. Alusta vaatii toimiakseen älykotikeskittimen, kuten Apple TV:n tai HomePod-älykaiuttimen. Apple Home -laitteet käyttävät Wi-Fiä, Bluetoothia sekä Threadia laitteiden väliseen kommunikointiin. Etäkäyttö hyödyntää Applen iCloud-pilvipalvelua muodostaen turvallisen yhteyden kodin keskittimen ja älylaitteen välille. Vaikka laitteiden väliset yhteydet ovat paikallisia ja toimivat ilman internetyhteyttä, vaatii etäkäyttö ja iCloudin hallinnointi toimivan internetyhteyden (Apple 2026).

Google Home

Google Home, joka tunnetaan myös nimellä Google Nest, on Googlen kehittämä pilvipohjainen älykotiekosysteemi, joka perustuu vahvasti Google Assistant -ääniavustajan käyttöön. Se eroaa Applen alustasta siten, että komennot laitteiden välillä välitetään pääasiallisesti pilven kautta, pois lukien Matter-laitteet, jotka mahdollistavat paikallisen kommunikoinnin, kun käytössä on Matter-tekniikkaa tukeva keskitin. Kuten Apple Homen, myös Google Homen tavoite on yhdistää älylaitteet toimimaan keskenään yhdessä sovelluksessa, piilottaen teknisen monimutkaisuuden käyttäjältä. Google valmistaa laitteita itse, ja sen lisäksi muut laitevalmistajat voivat sertifioida laitteita toimimaan Googlen ekosysteemissä. Googlen valmistamat laitteet sekä Works with Google Home -sertifioidut laitteet eivät vaadi älykotikeskittintä (Google 2026a). Matter-laitteet vaativat sitä tukevan keskittimen. Vain osa Googlen valmistamista keskittimistä tukee Matteria, hyödyntäen tiedonsiirtoon Wi-Fi- tai Thread-tekniikkaa. Sellaisia ovat esimerkiksi Nest Hub -näytöt tai Google TV Streamer -laite (Google 2026b).

Amazon Alexa

Amazon Alexa on pilvipohjainen ääniavustaja, joka toimii Amazonin sekä kolmannen osapuolen valmistamilla laitteilla. Alexa mahdollistaa älylaitteiden ääniohjauksen internetin yli hyödyntäen Amazonin pilvipalvelua (Amazon 2026a). Amazon valmistaa

itse Echo-nimisiä älykaiuttimia ja älynäyttöjä. Sen lisäksi kolmannen osapuolet voivat sertifioida tuotteensa (Works with Alexa) toimimaan Alexan kanssa (Amazon 2026b).

Samsung SmartThings

SmartThings on Samsungin älykotiekosysteemi, joka perustui alun perin pilvipohjaiseen malliin. Samsung on kuitenkin tuonut hiljattain uuden SmartThings Edge -arkkitehtuurin, joka mahdollistaa laitteiden paikallisen kommunikoinnin ilman pilvipalvelua (Samsung 2026a). Myös Samsungin ekosysteemiin on mahdollista sertifioida muiden valmistajien laitteita. Samsungin ekosysteemissä toimivat sertifikaatin saaneet Work with Samsung SmartThings -laitteet sekä Matteria tukevat laitteet. SmartThings pyrkii hyödyntämään tekoälyä kodin toimintojen helpottamiseksi. (Samsung 2026b).

3.1.3 Laitekeskeiset ekosysteemit

Ikea

Ikean Trådfri-sarja on pitkään ollut edullinen tapa perustaa älykoti. Trådfri-laitteet ovat hyödyntäneet Zigbee-tekniikkaa ja ne ovat toimineet Ikean myymällä Dirigera-keskittimellä sekä Ikea Home smart -sovelluksella. Dirigera-keskitin yhdistetään kodin Wi-Fi-yhteyteen. Laitteiden ohjaaminen ja etähallinta on toteutettu Home smart -sovelluksella, joka on saatavilla iOS ja Android -laitteille (Ikea 2026). Koska Ikean älylaitteet ovat hyödyntäneet Zigbee-tekniikkaa, on ne ollut mahdollista yhdistää myös avoimiin älykotijärjestelmiin, kuten Home Assistantiin ilman Ikean omaa keskitintä. Vuoden 2025 lopulla Ikea päivitti älylaitevalikoimaansa tukemaan Matter-tekniikkaa hyödyntäen Thread-protokollaa. Päivitetty Dirigera-keskitin toimii Matter-siltana, mahdollistaen myös sen, että Ikean vanhemmat Zigbee-standardia hyödyntävät laitteet toimivat Matteria hyödyntävien alustojen kanssa. Ikean älylaitevalikoimaan kuuluu muun muassa erilaisia valaisimia, sensoreita ja kytkimiä (Ikea 2026).

Philips Hue

Philips Hue on yksi markkinoiden tunnetuimmista älyvalaistusjärjestelmistä, joka sijoittuu enemmän premium-segmenttiin hinnoittelunsa puolesta. Hue valikoimaan kuuluu valaisimia, kodin turvalaitteita sekä erinäisiä tarvikkeita (Philips 2026a). Hue-laitteet hyödyntävät Zigbee-tekniikkaa älylaitteiden väliseen tiedonsiirtoon, ja kommunikointi internetiin tapahtuu Bridge -keskittimen avulla. Bridge -keskitin liitetään internetiin versiosta riippuen joko Ethernet-kaapelilla tai Wi-Fi:llä. Useita laitteita voi ohjata myös suoralla Bluetooth-yhteydellä matkapuhelimen avulla. Bluetooth-tekniikkaa käyttäessä tuettujen valojen tai tarvikkeiden enimmäismäärä on rajattu kymmeneen, kun taas Bridge-keskittimellä laitteita voi olla jopa 150. Hue-järjestelmää ohjataan Androidilla ja iOS:llä toimivalla Hue-sovelluksella, ja sen lisäksi se tukee Apple ja Google Homea sekä Alexaa että Samsung SmartThingsiä (Philips 2026b). Vuoden 2025 aikana julkaistiin päivitettyjä Hue-laitteita, jotka sisältävät tuen Matter-tekniikalle (Matter Alpha 2026). Philips on lisännyt Matter-tuen ohjelmistopäivityksellä myös olemassa oleviin laitteisiin. Huomion arvoista on se, että älylaitteet käyttävät edelleen Zigbee-tekniikkaa, ja vain keskittimenä toimiva Bridge hyödyntää Matter-tekniikkaa (Philips 2026c). Philips Hue -laitteet voi kytkeä Home Assistantiin valmiin integraation avulla, tai laitteet voi yhdistää suoraan Zigbee-yhteydellä ilman integraatiota.

3.1.4 Tuya-ekosysteemiä hyödyntävät ratkaisut

Tuya tarjoaa valmiin pilvipalvelun ja hallintatyökalut, joita lukuisat eri laitevalmistajat hyödyntävät omissa älylaitteissaan. Tuyan ekosysteemiä hyödyntäviä brändejä on useita. Esimerkiksi Suomessakin myynnissä oleva Airam (2026) kertoo SmartHome-tuoteperheensä perustuvan Tuya-alustaan, kuten tekevät myös hollantilainen Nedis (2026) ja vuonna 2018 perustettu Woon (2026). Tuya-ekosysteemiin kuuluvia laitteita valmistaa tuhansia eri laitevalmistajia, ja yhteensopivia tuotteita on satoja tuhansia. Kaikki laitteet toimivat Tuyan omalla Smart Life -sovelluksella. Moni laitevalmistaja on kuitenkin rakentanut käyttöönsä oman sovelluksen omalla brändillään (Omavahti 2026). Tuya-ekosysteemin laitteet ovat selkeästi edullisempia kuin esimerkiksi Philips Hue -laitteet. Tuya-laitteet hyödyntävät pääasiassa Zigbee- ja Wi-Fi-tekniikoita. Myös Matter-

standardia tukevia keskittimiä on saatavilla (Tuya 2026). Vaikka osa laitteista kykeneekin kommunikoimaan paikallisesti ilman internetyhteyttä, vaatii laitteiden ohjaaminen matkapuhelimella toimivan internetyhteyden. Home Assistantiin on saatavilla internetyhteyden yli toimiva Tuya-integraatio. Lisäksi osan laitteista voi yhdistää Home Assistantiin myös suoraan Zigbee-yhteydellä, joka mahdollistaa laitteiden paikallisen hallinnan.

3.1.5 Valmiit älykotiratkaisut

Homey

Homey on kehittynyt älykotikeskitin, joka sisältää erittäin kattavan tuen eri laitevalmistajille ja protokolille. Sen toimintaperiaate on hyvin samanlainen kuin Home Assistantilla, sillä se yhdistää erilaiset laitteet ja tiedonsiirtoprotokollat yhdeksi toimivaksi kokonaisuudeksi. Homey on kuitenkin suljettu järjestelmä, joka edellyttää joko kuukausimaksullista tilausta tai Homey-keskittimen hankintaa. Homeyn vahvuuksia on sen yksinkertainen ja hiottu käyttöliittymä, helppokäyttöisyys sekä kattava tuki (Homey 2026a). Homey Pro -keskitin tukee Wi-Fiä, Bluetoothia, Threadia, Zigbeetä, Z-Wavea, 433 MHz radiota, infrapunaa sekä Matteria. Homey toimii täysin paikallisesti eikä paikallinen käyttö vaadi toimivaa internetyhteyttä. Se mahdollistaa myös kattavien automaatioiden tekemisen, etäyhteydet kodin ulkopuolelta sekä paikalliset- että pilvivarmuuskopiot (Homey 2026b).

Cozify

Cozify on suomalainen älykotiratkaisu, jonka valikoimaan kuuluu erilaisia IoT-ohjaimia ja pilvipohjainen IoT-alusta. Cozify tarjoaa ratkaisuja sekä kuluttajille että yrityksille. Cozifyn ohjaimet tukevat muun muassa Zigbeetä, Z-Wavea, Ethernetiä, sekä 433 ja 868 MHz radioita. Cozifyn ratkaisu painottaa tietoturvaa ja paikallista toimintaa (Cozify 2026).

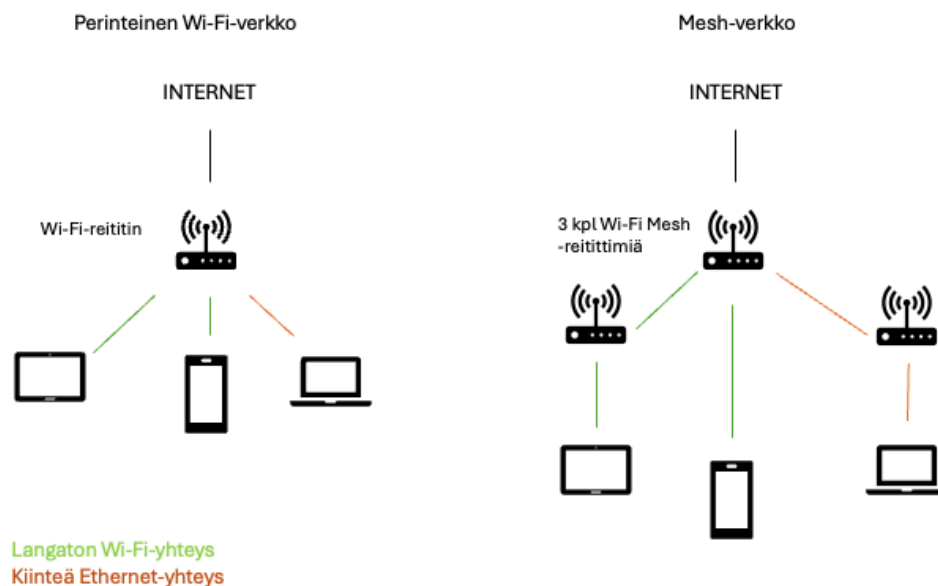
3.2 Tiedonsiirtoprotokollat

Tässä luvussa käsitellään kotiautomaatiojärjestelmän kannalta olennaisia tiedonsiirtoteknologioita, joita ovat muun muassa Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee ja Thread. Myös Z-Wave on yksi vaihtoehto Zigbeelle, mutta se ei ole niin laajasti käytetty teknologia. Lisäksi käydään läpi lyhyesti Matter-standardia, jonka on tarkoitus toimia tulevaisuudessa yhteisenä kielenä eri laitevalmistajien kesken.

3.2.1 IP-pohjaiset verkot: Ethernet ja Wi-Fi

Mocrii ja muut (2018, s. 91) kuvailevat perinteisten IP-pohjaisten (Internet Protocol) verkkojen muodostavan kotiautomaatioverkon perustan. Ne mahdollistavat suuren kaistanleveyden ja ovat toimintavarmoja. Ethernet perustuu IEEE:n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) 802.3-standardiin. Se on verkkoteknologia, joka hyödyntää tiedonsiirrossa joko parikaapelia tai valokuitua (Orfanos ja muut, 2023, s. 3). Ethernetiä käytetään usein palvelimien ja esimerkiksi Wi-Fi-tukiasemien yhdistämiseen juuri sen toimintavarmuuden ja kaistaleveyden takia. Ethernetin ja muiden langallisten verkkojen hyvinä puolina voidaan pitää myös turvallisuutta, helppokäyttöisyyttä ja mahdollisuutta kuljettaa dataa pitkiäkin matkoja. Langallisten verkkojen huonona puolena voidaan pitää korkeampia asennus- ja ylläpitokustannuksia, fyysisen kaapeloinnin tarvetta ja sen aiheuttamaa joustamattomuutta sijoittelun suhteen sekä jatkuvan virransyötön vaatimusta. Wi-Fi (Wireless Fidelity) on IEEE:n määrittelemä suosittu IEEE 802.11 -standardiin perustuva langaton verkkoteknologia (WLAN), joka toimii 2,4 GHz ja 5 GHz taajuuksilla tarjoten erittäin nopean tiedonsiirtonopeuden. Wi-Fiä tukevia laitteita löytyy lähes jokaiselta kotiautomaatiolaitteita valmistavalta yritykseltä. Wi-Fistä on vuosien mittaan tullut uusia versioita, joissa on pyritty parantamaan nopeutta, tehokkuutta ja energiankäyttöä (Orfanos ja muut, 2023, s. 6). Langattomat verkot ovat suosittuja kotiautomaatiokäytössä helpon laajennettavuuden ja edullisten perustamiskustannusten ansiosta. Koska Wi-Fi-laitteet eivät vaadi verkkokaapelointia, on niiden sijoittelu huomattavasti vapaampaa ja laitteiden siirtäminen helppoa. Langaton yhteys on langallista huonompi tietoturvan osalta, mutta riski koskettaa

pääasiassa suojaamattomia Wi-Fi-yhteyksiä. Langattomat verkot ovat myös hitaampia ja alttiimpia häiriöille, ja niiden kantama on rajoitetumpi. Rakennusmateriaalit ja laitteiden sijoittelu voivat vaikuttaa huomattavasti siihen, miten pitkälle Wi-Fi-signaali kuuluu. Wi-Fi:n teoreettinen toimintasäde sisätiloissa on 45 metriä, mutta sitä voidaan laajentaa Wi-Fi-toistimilla (Mocrii ja muut, 2018, s. 92). Wi-Fi-verkkojen yhteydessä käytetään usein termiä Mesh, joka viittaa verkon topologiaan. Perinteisesti Wi-Fi-yhteys toteutetaan yhden reitittimen avulla, kun taas Mesh-verkossa (silmukkaverkko) on useita eri verkkopäätteitä, jotka pystyvät keskustelemaan keskenään ja muodostavat yhden yhtenäisen verkon (Luo & Wang, 2021, s. 73–74). Kuviossa 3 on esitelty esimerkki perinteisestä Wi-Fi-verkosta sekä Mesh-tekniikkaa hyödyntävästä verkosta. Mesh-verkossa voidaan käyttää reitittimien välillä joko langatonta tai langallista verkkoa. Myös seuraavassa alaluvussa esiteltävät matalan energiatarpeen verkot voivat hyödyntää Mesh-topologiaa.



Kuvio 3. Kuviossa on esitetty perinteinen Wi-Fi-verkko, sekä kolmen Mesh-reitittimen muodostama Wi-Fi Mesh-verkko. Mesh-verkossa reitittimet ovat keskenään yhteydessä joko Wi-Fi:n tai Ethernetin avulla, ja muodostavat yhden Wi-Fi-verkon, jossa laitteet voivat saumattomasti vaihtaa tukiasemasta toiseen.

3.2.2 Matalan energiatarpeen verkot

Zigbee, joka perustuu IEEE-standardiin 802.15.4, on luotettava ja edullinen protokolla, joka soveltuu hyvin paristo- ja akkukäyttöisiin laitteisiin sen matalan virrantarpeen ansiosta. Sen kantama on noin 70 metriä, mutta Zigbee-laitteet voivat välittää viestejä toisille Zigbee-laitteille laajentaen verkon kantamaa. Se on avoin ja vapaasti käytettävä teknologia, ja siitä syystä erittäin suosittu kotiautomaatiolaitteita valmistavien yritysten keskuudessa. Z-Wave on toimintaperiaatteeltaan samanlainen tekniikka kuin Zigbee, mutta sitä hyödyntävien laitteiden valmistaminen vaatii lisenssin ja sertifiointin hankkimisen teknologiaa ylläpitävältä Z-Wave Alliancelta (Mocrii ja muut, 2018, s. 93).

Bluetooth on IEEE 802.15.1 standardiin perustuva langaton teknologia, joka on erittäin suosittu kannettavissa ja puettavissa laitteissa, kuten matkapuhelimeissa ja älykelloissa. BLE (Bluetooth Low Energy) on Bluetoothin versio, joka on tarkoitettu paristo ja akkukäyttöisiin laitteisiin ja siten paremmin sopiva IoT-käyttöön (Mocrii ja muut, 2018, s. 92).

Thread on IPv6-pohjainen protokolla, joka perustuu samaan IEEE-standardiin kuin Zigbee. Se on suunniteltu erityisesti kotiautomaatio- ja IoT-käyttöön. Sen tiedonsiirtonopeus 250 kbps on samaa tasoa kuin Zigbeellä, mutta sen kantama on parempi. Thread-yhteydet asettavat maksimihyppyräjäksi 36, kun Zigbee-protokollassa se on vain 5. Maksimihyppyraja kuvaa maksimimäärää laitteita, joiden kautta tieto voi siirtyä saavuttaakseen määränpänsä (Unwala ja muut, 2018, s. 161–166). Thread on yksi Matter-standardiin valituista tiedonsiirtoprotokollista Wi-Fi ja Ethernetin lisäksi, mikä tulee todennäköisesti lisäämään sen suosiota tulevaisuudessa.

3.2.3 Tulevaisuuden standardi Matter

Matter on uusi, avoimen lähdekoodin standardi älykotilaitteiden väliseen viestintään. Sen tarkoitus on toimia yhteisenä kielenä eri valmistajien laitteiden välillä. Se on

Connectivity Standards Alliancen (CSA) määrittelemä IPv6-pohjainen standardi. Matter toimii olemassa olevien tekniikoiden päällä, hyödyntäen Ethernetiä, Wi-Fiä ja Threadia. Bluetooth LE:tä käytetään vain laitteiden käyttöönoton yhteydessä. Matterista kaavaillaan tulevaisuuden kommunikointikieltä älykoteihin, ja siinä on myös potentiaalia laajentua muille osa-alueille älykotien ulkopuolelle (Madadi-Barough ja muut, 2024, s. 1–2, 7). Koska Thread on valittu osaksi Matter-standardia, tulee Threadia hyödyntävät laitteet todennäköisesti tulevaisuudessa korvaamaan Zigbee- ja Z-Wave-pohjaiset laitteet. Esimakua tästä tuli jo, sillä Ikea kertoi vuoden 2025 lopulla siirtyvänsä älykotilaitteissa Matter-pohjaiseen teknologiaan, korvaten aikaisemmat Zigbee-laitteet Matter over Thread -laitteilla (Ikea, 2026).

3.3 Laitevalmistajat

Tässä alaluvussa esitellään lyhyesti erityisesti Home Assistant -käyttäjien suosimia laitevalmistajia, joille kaikille löytyy kattava tuki järjestelmästä. Aiemmin tässä luvussa esitellyt Ikea ja Philips ovat myös laitevalmistajia, joiden molempien valikoimiin kuuluu kattava määrä valaisimia, sensoreita ja katkaisijoita oman älykotikeskittimen lisäksi.

Shelly

Shelly-tuoteperhe on suosittu kotiautomaatioharrastajien piirissä avoimuuden ja kattavan laitevalikoiman ansiosta. Tuoteperheeseen kuuluu talon sähkökeskukseen DIN-kiskoihin asennettavia releitä ja energiamittareita, uppoasennettavia kytkimiä ja älykodin näyttöjä sekä erilaisia sensoreita, antureita ja valaisimia. Shelly-laitteet hyödyntävät pääasiassa Wi-Fi-yhteyttä mikä mahdollistaa niiden kytkemisen olemassa olevaan lähiverkkoon ilman erillistä keskitintä. Shelly valmistaa myös joitakin Zigbee- ja Z-Wave-tekniikkaa hyödyntäviä laitteita, jonka lisäksi moni Shelly-laite toimii myös Bluetooth-yhteydellä. Osa Shellyn laitteista tukee myös Matter-standardia (Shelly 2026a). Shelly-laitteiden ohjaus onnistuu ilmaisen Smart Control -sovelluksen avulla. Se mahdollistaa laitteiden ohjauksen, energianseurannan, päivittämisen sekä automaatioiden luomisen. Kuukausimaksullinen Premium-tilaus tarjoaa kattavamman laitteiden tilan seurannan ja tietojen lokituksen (Shelly 2026b). Shelly-laitteet tarjoavat

paikallisen ohjausrajapinnan (Local Application Programming Interface), jonka ansiosta laitteita voi ohjata myös ilman valmistajan omaa sovellusta esimerkiksi HTTP- (Hypertext Transfer Protocol) tai MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) -protokollien avulla. Shelly-laitteet ovat yhdistettävissä Home Assistantiin oman integraation avulla (Shelly 2026c).

Sonoff

Sonoff-tuoteperheeseen kuuluu muun muassa älyreleitä, kytkimiä, sensoreita, kameroita ja älynäyttöjä. Valikoimaan kuuluu esimerkiksi Wi-Fi-, Zigbee- ja Matter-yhteensopivia laitteita (Sonoff 2026a). Niitä voi ohjata eWeLink-sovelluksen avulla internetyhteyden yli, sekä LAN-tilassa myös paikallisesti. Sonoffin laitteet tukevat kaikkia tunnettuja älykotiekosysteemejä kuten Apple ja Google Home, Alexa ja Samsung SmartThings. Laitteet ovat myös helposti yhdistettävissä Home Assistantiin. Laitteiden päivitykset ja osa ominaisuuksista vaatii kuitenkin eWeLink-sovelluksen käyttöä (Sonoff 2026b).

Aqara

Aqara tarjoaa kattavan valikoiman älykotilaitteita. Aqaran valikoiman on perustunut hyvin pitkälti Zigbee-tekniikkaan, mutta uusimmat Aqaran keskittimet sisältävät Matter-tuen, jonka lisäksi Aqara on alkanut julkaisemaan myös Thread-tuella varustettuja laitteita. Aqaran valikoimaan kuuluu muun muassa älykytkimiä, sensoreita, kameroita, lukkoja, älyrullaverhoja sekä älykodin keskittimiä (Aqara 2026). Aqaran laitteet ovat suosittuja erityisesti Home Assistant -käyttäjien keskuudessa kattavan valikoiman ja hyvän Home Assistant -tuen ansiosta (Home Assistant 2026f).

3.4 Etäkäyttö

Pilvipohjaisia kotiautomaatiojärjestelmiä käytetään internetyhteyden yli joko sitä varten tehdyllä sovelluksella tai www-sivujen kautta. Paikallisesti ylläpidetyn järjestelmän, kuten Home Assistantin etäkäyttö vaatii hieman enemmän toimenpiteitä. Paikallisen järjestelmän etuna on se, että se ei vaadi toimiakseen internetyhteyttä. Se on myös

tietoturvan kannalta parempi, koska lähtökohtaisesti se ei näy julkiseen verkkoon mitenkään. Järjestelmän käytettävyyden kannalta on kuitenkin tärkeää, että sitä voi käyttää myös muualta kuin kodin sisäverkosta käsin. Tässä alaluvussa tarkastellaan etäkäytön mahdollistavia sovelluksia Home Assistantin näkökulmasta, vaikka esimerkiksi VPN-pohjaisia ratkaisuja voi käyttää moniin muihinkin tarkoituksiin. Pilvipalvelut ovat etäkäytön kannalta helpompia ja yksinkertaisimpia, mutta usein myös maksullisia. Vastakohtana ovat avoimen lähdekoodin VPN-sovellukset, jotka mahdollistavat täydellisen hallinnan ja monipuolisemmat käyttömahdollisuudet, mutta vaativat huomattavasti enemmän teknistä osaamista ja ylläpitämistä. Nabu Casa Inc. tarjoaa Home Assistantille etäkäyttömahdollisuutta kuukausimaksua vastaan myymällä Home Assistant Cloud -palvelua. Kyseessä on Home Assistantiin sisäänrakennettu salattu etäkäyttöominaisuus, joka mahdollistaa järjestelmän käyttämisen järjestelmän sisäverkon ulkopuolelta. Tätä vaihtoehtoa käyttämällä saa pääsyn ainoastaan Home Assistant -järjestelmään, ja sisäverkon muut laitteet eivät ole sen avulla saavutettavissa (Nabu Casa, 2026).

VPN-pohjaiset (Virtual Private Network) ratkaisut tarjoavat ilmaisen tavan yhdistää Home Assistantiin sisäverkon ulkopuolelta. Ne mahdollistavat myös muiden kodin verkossa olevien laitteiden käyttämisen etäältä. VPN-pohjaisen etäyhteyden perustaminen vaatii hieman enemmän osaamista, mutta se mahdollistaa monipuolisemmat toiminnot. Wireguard on yksinkertainen, nopea ja hyvin salattu avoimen lähdekoodin VPN-ohjelmisto. Wireguard toimii Linuxilla, Windowsilla, macOS:llä, BSD:llä, iOS:llä ja Androidilla, joten sen saa lähes mihin tahansa laitteeseen. Se on käyttäjän itsensä hallitsema ja sen käyttöönotto vaatii käyttäjältä osaamista muun muassa porttiohjausten ja palomuurisääntöjen tekemiseen (Wireguard, 2026). Tailscale on Wireguardin VPN-protokollaa hyödyntävä sovellus, joka automatisoi monta Wireguardiin liittyvää vaikeaa työvaihetta. Se on Mesh VPN, joka luo salatun yhteyden laitteiden välille ilman porttiohjausten tai palomuuriasetusten muuttamisen tarvetta. Yksinkertaistetusti se luo Mesh-verkon, jossa kaikki laitteet ovat yhteydessä suoraan toisiinsa riippumatta missä verkossa ne ovat ohittaen NAT-osoitteenmuutokset ja

palomuurisäännöt (Tailscale 2026a). Se on huomattavasti helpompi ottaa käyttöön ja ylläpitää kuin pelkkä Wireguard, mutta toisaalta se on riippuvainen Tailscale-palvelun toiminnasta. Palveluun kirjaututaan esimerkiksi Google- tai Microsoft tiliä käyttäen ja se toimii muun muassa Windowsilla, Linuxilla, macOS:llä, iOS:llä ja Androidilla (Tailscale, 2026b).

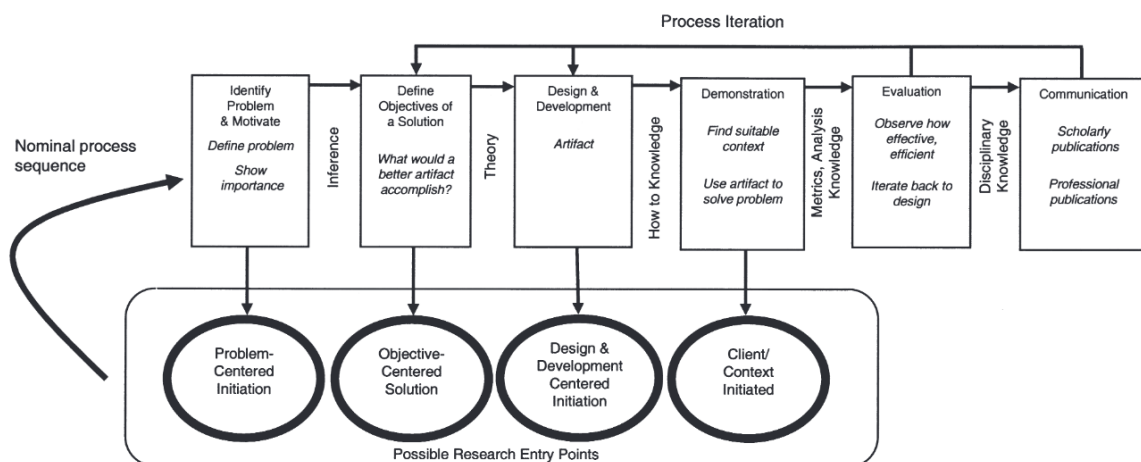
4 Tutkimusmenetelmä ja aineisto

Tässä luvussa kuvaillaan tutkimuksen metodologista viitekehystä, tutkimusprosessia sekä sitä, miten aineistoa kerättiin. Tutkimus pyrkii vastaamaan johdannossa esitettyihin kolmeen tutkimuskysymykseen, jotka liittyvät huomioihin järjestelmän suunnittelussa ja toteutuksessa, eri valmistajien laitteiden integrointiin Home Assistantin avulla sekä järjestelmällä saavutettuihin hyötyihin. Aluksi esitellään suunnittelutieteellinen tutkimusmenetelmä ja perustelut sille, miksi se sopii tähän tutkimukseen. Sen jälkeen kuvaillaan tutkimusaineistoa ja sitä, miten se on kerätty. Luvun lopussa esitellään arviointikriteerit, joiden avulla tutkielman tuloksia arvioidaan johtopäätösluvussa. Luvussa 5.5 järjestelmää arvioidaan sille asetettujen vaatimusten perusteella.

4.1 Suunnittelutieteellinen tutkimus

Tämä tutkimus sai alkunsa käytännön tarpeesta. Omakotitaloon haluttiin toteuttaa kotiautomaatiojärjestelmä, joka automatisoisi valaistuksen, optimoisi sähkönkulutusta pörssisähkön hinnan mukaan ja toteuttaisi talon turvajärjestelmän. Järjestelmä suunniteltiin ja rakennettiin ennen tutkimusprosessin aloittamista. Aiempi tutkimus on osoittanut kotiautomaatioon liittyviä haasteita, kuten yhteentoimivuusongelmia, korkeita kustannuksia ja käytettävyyssvaikeuksia (Brush ja muut, 2011, s. 9). Näiden haasteiden tunnistaminen vahvisti päätöstä dokumentoida projekti tieteelliseksi tutkielmaksi, sillä toteutettu järjestelmä tarjoaa käytännön näkökulman ja ratkaisuja juuri näihin ongelmiin. Tutkielma on toteutettu suunnittelutieteellisen tutkimuksen (engl. *Design Science Research*, DSR) periaatteita noudattaen, joka on vakiintunut tapa tietojärjestelmätieteissä silloin, kun tutkimuksen tavoitteena on ratkaista käytännön ongelma kehittämällä uusi ja hyödyllinen artefakti ja arvioida sitä todellisessa ympäristössä (Hevner ja muut, 2004, s. 76–77). DSR-menetelmä valittiin siksi, että se tarjoaa raamit jo toteutetun teknisen ratkaisun tieteelliselle analysoinnille ja arvioinnille suhteessa alan parhaisiin käytäntöihin. DSR erottuu muista tietojärjestelmätieteiden tutkimusmenetelmistä siten, että sen tavoitteena on tuottaa uusi ja hyödyllinen artefakti

pelkän ilmiön kuvailun sijaan (Gregor & Hevner, 2013). Tapaustutkimus olisi mahdollistanut järjestelmän kuvailun ja analysoinnin, mutta sen tavoite on ymmärtää ilmiötä syvällisesti sen todellisessa kontekstissa, ei tuottaa uutta teknistä ratkaisua (Yin, 2018, s. 49–50). Toimintatutkimus olisi taas edellyttänyt tutkijan aktiivista osallistumista sosiaaliseen ympäristöön yhdessä organisaation kanssa, sekä tyypillisesti syklistä prosessia, joka yhdistää teorian ja käytännön iteratiivisesti (Baskerville, 1999, s. 11–12). Toimintatutkimus ei olisi siis soveltunut tähän tutkimukseen, sillä järjestelmä on rakennettu itsenäisesti ennen tutkimusprosessin käynnistymistä. DSR soveltuu tähän tutkimukseen parhaiten, sillä se tunnistaa artefaktilähtöisen aloituspisteen ja tarjoaa tavan dokumentoida, analysoida ja arvioida jo toteutettu ratkaisu tieteellisesti pätevällä tavalla (Peffer ja muut, 2007, s. 54). Tässä työssä artefaktina on paikalliseen hallintaan perustuva Home Assistant -pohjainen järjestelmä, sen dokumentaatio sekä havaintojen perusteella laadittu metamalli. Tutkimuksen pohjana käytetään Pefferin ja muiden (2007, s. 54) kehittämää suunnittelutieteellistä prosessimallia (Design Science Research Methodology, DSRM). Pefferin malli tarjoaa kuusivaiheisen rakenteen, joka alkaa ongelman tunnistamisesta ja päättyy tuloksista viestintään (Kuvio 4).



Kuvio 4. Pefferin ja muiden (2007, s. 54) esittelemä suunnittelutieteellinen prosessimalli.

Vaikka DSR-prosessi esitetään usein lineaarisena, se on luonteeltaan iteratiivinen. Tämän tutkimuksen prosessi on alkanut käytännön tarpeesta ja edennyt teknisen toteutuksen

kautta tulosten arvioimiseen. Peffersin ja muiden (2007) malli mahdollistaa neljä erilaista aloituspistettä tutkimusprosessille. Tässä tutkielmassa on hyödynnetty artefaktilähtöistä aloituspistettä, jossa tutkimus käynnistyy jo olemassa olevan ratkaisun pohjalta, sen sijaan että lähdettäisiin liikkeelle ongelman ratkaisemisesta. Tämä aloituspiste tukee rationaalisen rekonstruoinnin periaatetta (Parnas & Clements, 1986). Vaikka järjestelmä on rakennettu ennen tutkimusprosessia, voidaan se dokumentoida ja analysoida jälkikäteen tieteellisesti pätevällä tavalla. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 1) on esitetty, miten Peffersin ja muiden (2007) mallin kuusi vaihetta vastaavat tämän tutkimuksen eri vaiheita. Malli on esitetty vaiheesta 1 alkaen, vaikka tämä tutkimus alkoikin kohdasta 3.

Taulukko 1. Peffersin ja muiden malli (2007, s. 54) ja tämän tutkimuksen vaiheet.

Peffersin malli	Tämä tutkimus
1. Ongelman tunnistaminen ja motivointi	Kotiautomaation haasteet tunnistettiin aikaisemmassa tutkimuksessa, käytännön tarve toimi motivaationa
2. Tavoitteiden määrittely	Järjestelmälle asetettiin kolme tavoitetta, energiankäytön optimointi, asuinmukavuuden lisääminen ja turvallisuuden parantaminen
3. Suunnittelu ja kehitys	Järjestelmän arkkitehtuuri, laitevalinnat ja automaatiot suunniteltiin iteratiivisesti
4. Demonstrointi	Järjestelmää on käytetty omakotitalossa yli vuoden ajan
5. Arviointi	Luvussa 5.5 järjestelmän toimintaa arvioidaan suhteessa annettuihin vaatimuksiin ja aikaisempaan tutkimukseen
6. Viestintä	Tulokset sekä metamalli esitetään tässä tutkielmassa

Parnas ja Clements (1986, s. 2) esittävät, että ohjelmisto- ja järjestelmäsuunnitteluprosessit ovat harvoin täysin rationaalisia. Syitä tähän on useita:

1. **Puutteelliset vaatimukset.** Usein ohjelmistoja ja järjestelmiä tilaavat tahot eivät tiedä tarkalleen mitä he haluavat eivätkä osaa kertoa kaikkea tietämäänsä. *Tässä projektissa järjestelmän lopulliset vaatimukset tarkentuivat vasta käytön myötä.*
2. **Tiedon kertyminen prosessin aikana.** Vaikka vaatimukset olisivat tiedossa ja selkeästi määritellyt, on myös muita asioita, jotka vaikuttavat sen suunnitteluun. Usein moni näistä asioista tulee tietoon vasta järjestelmän toteutuksen jo edetessä. Nämä seikat saattavat tehdä aiemmat suunnitelmat turhiksi, ja toteutuksessa joudutaan palaamaan takaisinpäin. Koska pyrimme minimoimaan hukkaan heitetyn työn, lopullinen järjestelmä saattaa olla erilainen kuin se, mihin olisi päädytty puhtaasti rationaalisen suunnittelun kautta. *Esimerkiksi laitevalinnat ja integraatoratkaisut tarkentuivat vasta kokeilujen kautta.*
3. **Rajoitukset kokonaisuuden ymmärtämisessä.** Vaikka kaikki olennaiset tiedot olisivat tiedossa ennen prosessin aloitusta, kokemus osoittaa, etteivät ihmiset kykene täysin ymmärtämään sitä valtavaa yksityiskohtien määrää, joka on otettava huomioon oikeaoppisen järjestelmän suunnittelussa ja rakentamisessa. Suunnitteluprosessissa pyritään erottamaan eri osa-alueet toisistaan, jotta hallittavan tiedon määrä pysyisi kohtuullisena. Ennen kuin nämä osa-alueet on eroteltu, virheitä syntyy väistämättä.
4. **Ulkoiset muutokset.** Vaikka kaikki yksityiskohdat olisivat hallussa, kaikki aivan yksinkertaisia projekteja lukuun ottamatta ovat alttiita ulkoisista syistä johtuville muutoksille. Jotkut näistä muutoksista voivat mitätöidä aikaisemmat suunnittelupäätökset ja tuloksena oleva suunnitelma on sellainen, joka ei olisi syntynyt täysin rationaalisen suunnitteluprosessin seurauksena. *Tässä projektissa esimerkiksi laitteiden hintataso ja saatavuus vaikuttivat valintoihin.*
5. **Inhimilliset virheet.** Inhimillisiä virheitä voidaan välttää vain, jos ihmisiä ei ole mukana projektissa. Tästä syystä virheitä tapahtuu, vaikka hallittavat osa-alueet olisikin eroteltu.
6. **Ennakkokäsitykset ja mieltymykset.** Ihmisillä on usein ennakkokäsityksiä tai mieltymyksiä, jotka perustuvat itse aiemmin keksittyihin tai muualta kuultuihin

seikkoihin. Joskus projektiin ryhdytään vain kokeillaksemme tai käyttääksemme jotain suosikki-ideaamme. Nämä ideat eivät välttämättä perustu rationaaliseen prosessiin. *Tässä projektissa esimerkiksi Home Assistantin ja tiettyjen laitteiden valinta perustui osin aiempiin kokemuksiin.*

7. **Taloudelliset rajoitteet ja uudelleenkäyttö.** Usein päädyimme taloudellisista syistä käyttämään ohjelmistoa, joka oli alun perin tarkoitettu toiseen käyttötarkoitukseen. Joskus jaamme käyttämämme ohjelmiston käytettäväksi toiseen projektiin. Lopputuloksena syntyvä tuotos ei välttämättä ole ideaali ratkaisu kumpaankaan tilanteeseen, eli se ei ole sellainen, jonka olisimme kehittäneet rationaalisessa prosessissa. *Tässä projektissa haluttiin keskittyä edullisesti saatavilla oleviin laitteisiin, joka osaltaan asetti rajoitteita järjestelmän rakentamiselle.*

Parnasin ja Clementsin (1986, s. 2–3, 9–10) mukaan edellä mainittujen syiden takia mikään ohjelmisto ei voi olla täysin rationaalisen prosessin mukaisesti suunniteltu. Vaikka täydellisen rationaalista suunnitteluprosessia on mahdotonta noudattaa, se ei tarkoita, etteikö järjestelmää voi dokumentoida sen mukaisesti. Dokumentaatio voidaan kirjoittaa mahdollisimman rationaalisesti jälkikäteen, kuten se olisi ideaalitalanteessa tehty etukäteen (engl. *Faking a rational design process*). Ideaalitalanteessa dokumentaatio on hyödyllinen järjestelmän kehittäjille sekä sitä myöhemmin käyttäville. Se ei ole vain lista tehdyistä asioista, vaan siinä perustellaan tehdyt tekniset valinnat loogisesti, auttaen järjestelmän ylläpidossa myöhemmin.

4.2 Tutkimusaineisto ja tiedonkeruu

Tutkimuksen aineisto on muodostunut prosessin eri vaiheissa, ja se on jälkikäteen kerätty järjestelmän kehitystyön ja dokumentoinnin pohjalta. Aineisto voidaan jakaa kolmeen osaan:

1. **Vaatimukseen liittyvä aineisto.** Järjestelmän suunnitteluun ja tavoitteisiin liittyvä aineisto, kuten listat ja muistiinpanot siitä mitä järjestelmän toivottiin tekevän.

2. **Tekninen aineisto.** Tämä on tutkimuksen keskeisin aineisto, ja se sisältää järjestelmäarkkitehtuurin kuvauksen, valitut teknologiat ja laitteet sekä konfiguraatioon ja automaatioihin liittyvät aineistot.
3. **Arviointi- ja havaintoaineisto.** Järjestelmän valmistumisen jälkeen kerätyt havainnot sen käytännön toiminnasta. Sähkökulutukseen ja hintoihin liittyvä data on kerätty sähköyhtiö Helenin verkkopalvelun ja sovelluksen kautta. Järjestelmän käytännön toimintaan perustuvat havainnot perustuvat omiin havaintoihin ja muistikuviin järjestelmän käytön ajalta. Lisäksi aineisto sisältää perheenjäseniltä arjessa saatuja palautteita järjestelmän toiminnasta normaalissa käytössä sekä poikkeustilanteissa. Koska järjestelmän toimintaan liittyvät havainnot perustuvat talon asukkaiden, kahden aikuisen ja lapsen, tekemiin havaintoihin normaalissa arjessa, asettaa se rajoitteita havaintojen luotettavuuden kannalta. Havainnot on kerätty jälkikäteen muistikuviin perustuen eikä aina reaaliaikaisesti dokumentoiden, mikä voi vaikuttaa havaintojen paikkansapitävyyteen. Lisäksi tutkijan rooli järjestelmän rakentajana ja arvioijana voi vaikuttaa puolueellisesti. Hevner ja muut (2004, s. 99) toteavat, että yksittäiseen projektiin perustuvan artefaktin arviointia ei välttämättä voida yleistää muissa projekteissa. Nämä rajoitteet on pyritty huomioimaan tulosten arvioinnissa luvussa 5.5, jossa järjestelmää arvioidaan suhteessa sille asetettuihin vaatimuksiin sekä aikaisempaan tutkimustietoon.

4.3 Tutkimuksen arviointi

Tutkielmaa arvioidaan Hevnerin ja muiden (2004, s. 83) esittämän seitsemän kriteerin avulla, jotka ovat esitelty seuraavassa taulukossa (Taulukko 2).

Taulukko 2. Hevnerin ja muiden (2004, s. 83) esittämät suunnittelutieteellistä tutkimusta ohjaavat suositukset.

Suositus	Kuvaus
Suositus 1: Suunnittelu artefaktina	Tutkimuksen on tuotettava toimiva artefakti, esimerkiksi malli, menetelmä tai toteutus
Suositus 2: Ongelman relevanssi	Tutkimuksen tavoite on kehittää teknologiaan perustuvia ratkaisuja tärkeisiin ja merkityksellisiin ongelmiin
Suositus 3: Suunnittelun arviointi	Artefaktin laatu, hyödyllisyys ja tehokkuus on osoitettava luotettavilla arviointimenetelmillä
Suositus 4: Tutkimuskontribuutiot	Tutkimuksen on tuotettava selkeitä ja todennettavia lisäyksiä tietopohjaan, menetelmiin tai itse artefaktiin
Suositus 5: Tutkimuksen täsmällisyys (engl. <i>rigor</i>)	Tutkimus perustuu tarkkojen menetelmien käyttöön sekä artefaktin rakentamisessa että arvioinnissa
Suositus 6: Suunnittelu etsintäprosessina	Toimivan artefaktin löytäminen vaatii käytettävissä olevien keinojen hyödyntämistä tavoitteiden saavuttamiseksi, noudattaen samalla ympäristön asettamia rajoitteita
Suositus 7: Tutkimuksesta viestiminen	Tutkimus on esitettävä tehokkaasti sekä tekniselle että hallinnolliselle yleisölle

Tässä työssä artefakteina ovat rakennettu älykotijärjestelmä, joka on syntynyt iteroimalla, kunnes optimaalinen ratkaisu on löytynyt, sekä tekninen dokumentaatio ja metamalli. Vaikka kaikkia seitsemää kriteeriä sovelletaan tässä tutkielmassa, keskeisimmät ovat

kriteerit 1 ja 6. Kriteeri 1 korostaa toimivan artefaktin tuottamista, mikä on tämän tutkimuksen konkreettisin tulos. Kriteeri 6 puolestaan kuvaa suunnittelua etsintäprosessina, mikä vastaa tämän projektin iteratiivista luonnetta. Hevner ja muut (2004, s. 86) kuvaavat erilaisia tapoja arvioida tutkimusta. Tutkimuksen kuvailevassa arvioinnissa (engl. *Descriptive Evaluation*) hyödynnetään Sonnenbergin ja vom Brocken (2012, s. 393) esittelemää loogisen päättelyn menetelmää (engl. *logical reasoning*), jossa artefaktin toimintaa arvioidaan systemaattisen loogisen päättelyn avulla sille asetettujen vaatimusten perusteella sekä aikaisempaan tutkimukseen peilaten. Tämä arviointi on tehty alaluvussa 5.5, perustuen luvuissa 2 ja 3 esitettyihin aikaisemmassa kirjallisuudessa tehtyihin havaintoihin, ja sen tuloksia pohditaan johtopäätösluvussa. Käyttöskenaarioita on esitelty alaluvussa 5.3, jossa käydään läpi Kotona-tila -niminen automaatiokokonaisuus sekä alaluvussa 5.4.1, jossa esitetään energiansäästö-laskelma järjestelmän tuottamista säästöistä. Tutkimuksen täsmällisyys on varmistettu käyttämällä alalla vakiintuneessa käytössä olevia teknologioita, ja teknologiset valinnat perustuvat aikaisemmassa tutkimuksessa havaittuihin seikkoihin.

5 Tutkimuksen toteutus ja tulokset

Tässä luvussa kuvataan suunniteltu ja toteutettu kotiautomaatiojärjestelmä. Järjestelmän alkuperäinen tavoite oli ulkovalaistuksen automatisointi, mutta se laajentui suunnitteluvaiheessa kattamaan myös osan talotekniikasta, sisävalaistuksen sekä kamera- ja kulunvalvonnan. Talo tilattiin muuttovalmiina talopakettina suomalaiselta talotoimittajalta. Kyseinen toimittaja tarjosi omaa älykotiratkaisua, joka ei kuitenkaan vastannut tarpeisiin etäohjattavasta, helposti ylläpidettävästä ja edullisesta järjestelmästä. Tarjolla olevien vaihtoehtojen kartoitus osoitti, että vaihtoehtoja oli lukuisia. Luvussa 3 on esitelty kotitalouksissa yleisessä käytössä olevia alustoja ja teknologioita. Alustat voidaan jakaa karkeasti paikallisesti hallittaviin ja pilvipohjaisiin. Pilvipohjaisissa ratkaisuissa tiedot kulkevat alustatoimittajan palvelimien kautta, ja vaativat toimivaa internetyhteyttä. Paikallisesti hallittavat järjestelmät eivät vaadi toimivaa internetyhteyttä ja ovat tietoturvaltaan parempia, mutta ovat usein vaikeammin käyttöönotettavia ja hallittavia. Tässä projektissa päätettiin käyttää paikallisesti hallittavaa järjestelmää, koska sillä nähtiin olevan parhaat edellytykset täyttää järjestelmälle asetetut tavoitteet. Kiinteistöllä sijaitsee omakotitalon lisäksi autokatos, jossa on myös pieni puolilämmin varasto. Sen lisäksi pihan valaistus on kytketty järjestelmään. Tässä luvussa käydään ensin läpi järjestelmälle asetetut vaatimukset, jotka perustuvat järjestelmälle asetettuihin tavoitteisiin. Vaatimukset jaettiin kolmeen kategoriaan, jotka ovat yhteentoimivuus, käyttökokemus sekä ylläpidettävyys ja toimintavarmuus. Sen jälkeen esitellään järjestelmän arkkitehtuuria ja teknisiä valintoja, jonka jälkeen käydään läpi järjestelmän automaatioita ja vikasietoisuutta sekä arvioidaan miten järjestelmälle asetetut vaatimukset täyttyivät. Luvun lopussa on aikaisempaan tutkimustietoon ja tämän projektin havaintoihin perustuva metamalli. Metamalli sisältää yleistettyjä suosituksia kotiautomaatiojärjestelmän suunnitteluun, rakentamiseen, käyttöönottoon sekä ylläpitämiseen.

5.1 Järjestelmän vaatimusmäärittely

Järjestelmän suunnittelua ja toteutusta ohjasivat kolme keskeistä tavoitetta: kodin sähkökulutuksen optimointi, asuinmukavuuden lisääminen sekä turvallisuuden parantaminen. Näiden tavoitteiden saavuttamiseksi määriteltiin seuraavat vaatimukset:

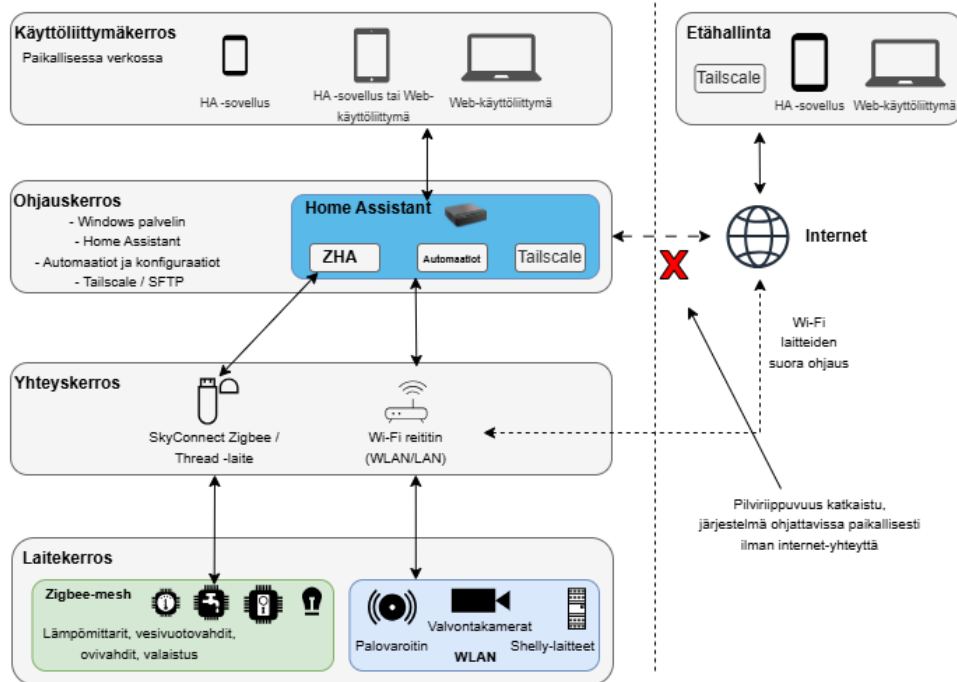
1. **Yhteentoimivuus:** Tavoitteet täyttävien, aidosti hyödyllisten automaatioiden luomiseksi järjestelmän tulee pystyä integroimaan eri valmistajien eri tekniikoilla toimivat laitteet yhdeksi kokonaisuudeksi. Sen tulee mahdollistaa monimutkaiset automaatiot ja tuki myös tuleville teknologioille.
2. **Käyttökokemus:** Järjestelmän tulee toimia itsenäisesti, arkea hankaloittamatta siten, että kaiken ikäiset käyttäjät sekä vieraat pystyvät sitä käyttämään. Järjestelmän tulee olla niin yksinkertainen, että sitä voi käyttää ilman teknistä asiantuntemusta. Järjestelmän on oltava käytettävissä myös etäyhteydellä.
3. **Ylläpidettävyys ja toimintavarmuus:** Järjestelmän tulee olla helposti ja kustannustehokkaasti laajennettavissa sekä ylläpidettävissä. Kaikkien kriittisten toimintojen tulee toimia, vaikka järjestelmä vikaantuisi, ja järjestelmän on palautettava toimintaan itsenäisesti esimerkiksi sähkökatkon jälkeen.

Vaatimukset heijastavat hyvin pitkälti aikaisemmassa tutkimuksessa tunnistettuja ongelmia, joita vastaavissa järjestelmissä on havaittu (Brush ja muut, 2011, s. 9). Myös järjestelmälle asetetut tavoitteet olivat sellaisia, joita älykotijärjestelmiltä yleensä odotetaan (Sovacool & Furszyfer Del Rio, 2020, s. 7). Edellä mainitut vaatimukset asettivat vaatimuksia myös asennuskohteelle. Koska asennuskohde oli rakennettava omakotitalo, oli omakotitalon teknisiin ratkaisuihin mahdollista vaikuttaa. Sekä taloa, autokatosta että pihaa suunnitellessa piti ottaa huomioon tulevan järjestelmän tarpeet. Rakennusprojektin aikaisessa vaiheessa laadittiin alustava lista siitä, mitä laitteita halutaan ottaa käyttöön missäkin rakennuksessa. Tämän perusteella pystyttiin arvioimaan, mihin tulisi asentaa pistorasioita, tietoliikennekaapelointia ja tehdä varauksia mahdollisille tuleville kaapeloinneille. Kun tarpeet oli selvillä, piti selvittää mitkä eri teknologiat ja mitkä laitevalmistajien laitteet mahdollistaisivat halutut

toiminnot kustannustehokkaasti. Järjestelmää rakentaessa älykotitekniikat olivat murroksessa. Lähes kaikista kodinkoneliikkeistä ja rautakaupoista oli saatavilla lukuisten eri valmistajien älylaitteita, jotka hyödynsivät eri teknologioita, kuten Wi-Fiä, Bluetoothia, Z-Wavea ja Zigbeeta. Matterista oli jo järjestelmää suunniteltaessa vuoden 2024 aikana paljon puhetta, mutta Matteria ja Threadia hyödyntävät laitteet alkoivat yleistyä vasta 2024 lopussa ja vuoden 2025 aikana. Suunnitteluhetken laitevalikoiman ja hintatason perusteella kodin IoT-laitteiden välinen verkko päätettiin toteuttaa Zigbee-tekniikkaa hyödyntäen. Matterin ja Threadin yleistymiseen varauduttiin kuitenkin siten, että palvelimeen hankittu Zigbee-laite oli sellainen, joka tukee myös Thread-yhteyksiä. Rakentamishetkellä Zigbee oli jo vakiintunut ja toimivaksi todettu tekniikka, kun taas Matter oli vielä hitaasti yleistyvää ja enemmän lupauksen tasolla. Seuraavassa alaluvussa käydään läpi järjestelmän arkkitehtuuria ja teknisiä valintoja.

5.2 Järjestelmäarkkitehtuuri ja teknologiset valinnat

Tässä alaluvussa esitellään järjestelmän tekninen arkkitehtuuri sekä perustellaan teknologiavalinnat aiempaan teoriaan perustuen. Kerrosarkkitehtuuria esittävä kuvio (Kuvio 5) mukailee Kasubin ja Huchaihin (2021) esittämää kolmikerroksista IoT-arkkitehtuuria. Tätä järjestelmää kuvaavassa mallissa on päädytty käyttämään neljää kerrosta, sovelluskerroksen jakautuessa käyttöliittymä- ja ohjauskerrokseksi, mikä selkeyttää järjestelmän kuvaamista. Tällä halutaan korostaa sitä, että järjestelmän ohjaus ja älykkyys on paikallista, eikä se sijaitse pilvipalvelussa vaatien toimivaa internetyhteyttä. Käyttöliittymällä tarkoitetaan niitä osia, mitä talon asukkaat näkevät ja millä he voivat ohjata järjestelmää. Ohjauskerrokseen kuuluu tässä tapauksessa Home Assistant -ohjelmiston lisäksi fyysinen palvelin, sekä muut sillä pyörivät järjestelmän toimivuuden kannalta tärkeät palvelut, kuten Tailscale ja SFTP-palvelin. Yhteyskerros kattaa Zigbee-yhdyskäytävän ja Wi-Fi-reitittimet sekä talon sähkö- ja tietoliikenneverkot. Laittekerrokseen kuuluvat IoT-laitteet, jotka hyödyntävät Zigbee- ja Wi-Fi-verkkoja.



Kuvio 5. Järjestelmän kerrosarkkitehtuuri.

5.2.1 Ohjauskerros

Järjestelmän ytimenä toimii talon työhuoneeseen sijoitettu Windows-käyttöjärjestelmää pyörittävä tietokone, joka on liitetty verkkoon langallisesti Ethernet-kaapelilla. Tietokoneeseen on liitetty myös näyttö, näppäimistö ja hiiri, mutta se on myös täysin etäkäytettävissä RDP-yhteydellä (Remote Desktop Protocol) mistä päin maailmaa tahansa. Älykotijärjestelmäksi valittiin avoimen lähdekoodin Home Assistant, sillä se toimii paikallisesti poistaen riippuvuuden yksittäisen pilvipalvelun toimivuudesta. Avoimen lähdekoodin toteutus lisää myös todennäköisyyttä sille, että järjestelmälle on pitkäaikainen tuki saatavilla. Tietokoneeseen on asennettu VMWare-niminen virtualisointiohjelmisto. Home Assistant on asennettu VMWare-virtuaalikoneeseen, joka käynnistyy automaattisesti tietokoneen käynnistyessä. Virtualisointiratkaisu valittiin siksi, että se helpottaa ylläpitoa ja varmuuskopiointia. Koko virtuaalikone on mahdollista varmuuskopioida ja siirtää esimerkiksi toiselle tietokoneelle. Ohjelmisto myös mahdollistaa virtuaalikoneen sen hetkisen tilan tallentamisen (engl. *Snapshot*), joka on hyvä tehdä aina ennen isompia järjestelmään tehtyjä muutoksia. Virtuaalikoneen käyttäminen mahdollistaa myös sen, että tietokonetta voi halutessa käyttää

samanaikaisesti muihin tarkoituksiin. Tässä on kuitenkin syytä huomioida se, että muu käyttö voi vaikuttaa Home Assistant -järjestelmän toimintaan tai esimerkiksi kaataa koneen käyttöjärjestelmän, aiheuttaen myös kotiautomaatiojärjestelmän sammumisen. Tietokoneeseen on liitetty SkyConnect Zigbee -USB-tikku, joka on myös virtuaalikoneen käytettävissä. Laite mahdollistaa tietokoneen toimimisen Zigbee-yhdyskäytävänä. Home Assistant toimii talon sisäisessä verkossa, eikä näy internetiin mitenkään. Tämä tekee järjestelmästä tietoturvallisen, eikä se vaadi toimivaa internetyhteyttä toimiakseen. Etäkäytön mahdollistamiseksi tietokoneella pyörii Tailscale-ohjelmisto, joka mahdollistaa turvallisen yhteyden koneelle kodin verkon ulkopuolelta internetin yli. Tailscalen avulla luodaan VPN-pohjainen yhteys palvelimen ja esimerkiksi matkapuhelimen välille. Etähallinta toteutettiin Tailscalen VPN-ratkaisulla porttiohjauksen sijaan luvussa 2.3.1 esitettyjen tietoturvaluonien takia. Tailscalen avulla hyökkäyspinta-ala saadaan minimoitua, ja verkkoon pääsemiseksi vaaditaan vahva tunnistautuminen. Lisäksi valitusta etäkäyttötavasta ei aiheudu ylimääräisiä hankinta- tai ylläpitokustannuksia.

Tietokoneen asetukset on asetettu siten, että sähkökatkon sattuessa, kone käynnistyy itsestään uudestaan, käynnistää Tailscale-palvelun sekä virtuaalitietokoneen ja SFTP-palvelimen. Järjestelmän perustoiminta on siis täysin automatisoitu, ja normaalitilanteessa vain Windowsin päivitykset vaativat manuaalista työtä. Päivitykset on hoidettu siten, että koneeseen otetaan etäyhteys, ja sille suoritetaan säännöllisin väliajoin Windows-päivitysten tarkastus ja asennus. Kun mahdolliset päivitykset on ladattu ja asennettu, asetetaan päivitykset tauolle 4 viikoksi, jonka jälkeen päivitykset suoritetaan taas edellä mainitulla tavalla. Samassa yhteydessä ajetaan tietokonevalmistajan sovellus, joka tarkistaa onko laiteajureihin tullut päivityksiä. Päivitysten ajaminen manuaalisesti antaa aikaa tutustua päivitysten sisältöön ja arvioida niiden riskiä järjestelmän toiminnalle ennen kuin ne on asennettu. Tämä on vaivattomuuden, tietoturvan ja toimintavarmuuden välillä tehty kompromissi, ja käytännössä ainoa järjestelmälle säännöllisesti tehty ylläpitotoimenpide.

5.2.2 Käyttöliittymäkerros

Talossa asui suunnittelu ja käyttöönottohetkellä kaksi aikuista ja yksi alle 3-vuotias lapsi. Lisäksi talossa vierailee säännöllisesti esimerkiksi lapsen isovanhemmat. Edellä mainitut seikat ohjasivat kotiautomaatiojärjestelmän suunnittelua alusta asti. Luvussa 2.3 käytiin läpi kotiautomaatioon liittyviä haasteita, ja aikaisemmat tutkimukset ovat nostaneet juuri järjestelmien käytettävyyden yhdeksi isommista kotiautomaatiojärjestelmiin liittyvistä haasteista (Hargreaves ja muut, 2018, s. 128–129, 137). Home Assistant -järjestelmää on mahdollista käyttää älypuhelimien asennettavalla sovelluksella tai esimerkiksi tietokoneen web-selaimella. Järjestelmän haluttiin kuitenkin olevan arjessa mahdollisimman näkymätön, eli talon perustoimintojen käyttö ei saanut olla sovelluksen varassa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että esimerkiksi kaikkia talon sisävaloja voi ohjata tavallisista valokatkaisijoista, ja että talon turvajärjestelmän saa halutessaan päälle kaukosäätimestä. Ulkovalaistus toimii automaattisesti ulkona vallitsevan valoisuuden mukaan, käyttäen apunaan liike- ja ovitunnistimia sekä valvontakameroita oikeiden valojen sytyttämiseen. Sähkökaapissa olevaa kytkintä käyttämällä ulkovalojen ohjauksen saa myös tavallisen katkaisijan avulla toimivaksi. Automaatioiden avulla pyrittiin välttämään tilanteita, joissa älykodin toimintoja pitää tarpeettomasti ohjata järjestelmän käyttöliittymästä. Jos esimerkiksi talon sisäilmassa mitattu hiilidioksidimäärä nousee ennalta määritettyä rajaa korkeammaksi, automaatio tehostaa hetkeksi talon ilmanvaihtoa. Kotiin tultaessa eteisen valot syttyvät automaattisesti, kun talon ulko-ovi avataan, ja sammuvat kun eteisessä ei enää havaita liikettä. Kun kodista lähtiessä Kotona-tila kytketään pois päältä joko manuaalisesti, tai sen perusteella, että yhdenkään käyttäjän puhelin ei ole kiinteistön alueella, talon sisävalot sammutetaan, osasta pistorasioita otetaan virta pois, ulkovalaistuksen toimintalogiikkaa muutetaan sekä kamerat alkavat automaattisesti ilmoittaa käyttäjien puhelimiin pihalla havaituista ihmisistä ja autoista, ja käyttöveden kiertovesipumppu menee lepotilaan. Niitä käyttötapauksia varten, jotka vaativat Home Assistant -sovelluksen tai web-pohjaisen käyttöliittymän käyttämistä, luotiin muutaman erilainen ohjausnäky (engl. *Dashboard*). Tietokoneen näytölle aukeava ohjausnäky sisältää enemmän tietoa (Liite 1), kuin matkapuhelimen sovellukseen aukeava näky (Liite 2). Sovelluksen

päänäkymässä korostuu eniten käytetty puhelimella käytetty toiminto, joka on valaisimien ohjaus, kun taas tietokoneelle tarkoitettulla näkymällä on kattava yleiskuva talon tilanteesta. Järjestelmän oletuksena aukeavaan ohjausnäkykseen lisättiin käytetyimmät toiminnot, ja erillisille välilehdille ryhmiteltiin vähemmän käytettyjä toimintoja. Sähkön hintatiedot ja lämmitysjärjestelmän tiedot kerättiin yhdelle välilehdelle, kamera- ja kulunvalvontaan liittyvä tieto omalle välilehdelleen, sekä asetukset ja tiedot varmuuskopioista omalle välilehdelleen. Liitteen 1 toisessa kuvassa näkyy, miten pörssisähkön ohjauksen kannalta olennainen tieto esitetään. Sivulla näkyy kuluva ja seuraava vuorokauden pörssisähkön 15-minuutin hintajaksojen hinnat. Seuraavassa osiossa näkyy vihreillä pystypalkeilla esitetyt 30-min halvat jaksot kuluva vuorokauden ajalta. Nämä palkit esittävät ajankohtia, joihin järjestelmä ajoittaa isoimpia sähkökuormia. Neljäs kuva esittää edeltävän 24 tunnin ajalta tiedot pörssisähkön hinnasta (sininen käyrä), sekä talon tehon käytöstä (oranssikäyrä). Osio havainnollistaa hyvin sen, miten teho nousee, kun sähkön hinta on alhainen, ja päinvastoin.

5.2.3 Yhteyskerros

Kiinteistön sähkö- ja tietoliikennetöitä suunniteltaessa oli tärkeää mahdollistaa älylaitteille sähkönsyöttö ja verkkoyhteys tarvittavissa paikoissa. Haasteita suunnitteluun aiheutti se, että talotehdas toteutti talon sähköpääkeskuksen ja talon sähkötyöt, mutta autokatoksen ja pihan sähkötyöt eivät kuuluneet talotoimitukseen. Talotehtaan tuotevalikoima oli hyvin suppea, eikä se mahdollistanut esimerkiksi Shelly-älylaitteiden asennuksia, ainakaan ilman huomattavia lisäkustannuksia. Lähtökohtana infrastruktuurin suunnittelussa oli se, että kaiken pitää toimia sujuvasti myös ilman älykotijärjestelmää. Aiemmassa tutkimuksessa on todettu, että juuri ylläpidettävyys ja fail-safe toiminta aiheuttaa usein haasteita kotiautomaatiojärjestelmissä (He ja muut, 2019, s. 152–153). Lisäksi talon myöhemmin mahdollisesti vaihtaessa omistajaa, on tärkeää, että talon perustoiminnot ovat kenen tahansa käytettävissä ilman älykotijärjestelmää. Koska talotehtaan perustoimitukseen kuului kattava määrä pistorasioita ja tietoverkkokaapelointi jokaiseen huoneeseen, oli talon sisäpuolen infrastruktuurissa vain vähän tarpeita muutoksille. Talotoimitukseen kuului myös

asuinrakennuksen ulkopinnoilla oleva valaistus, eli lähinnä kuistin ja terassin valot. Koska talotehtaan suorittama Shelly-älyreleiden asentaminen ei tullut kyseeseen, päätettiin talossa olevan valaistuksen automatisointi hoitaa Zigbee-tekniikkaa käyttävillä älyvaloilla. Talon suunnitteluvaiheessa tämä piti huomioida siten, että automatisoinnin piiriin haluttavien valaisimien tuli mielellään sisältää vaihdettavissa oleva polttimo, esimerkiksi E14, E27 tai GU10 -kannalla. Tämä pienensi valinnanvaraa huomattavasti, sillä nykyisin valtaosa valaisimista myydään kiinteällä polttimolla. Pihavalaistuksen osalta tätä rajoitusta ei ollut, sillä pihavalojen sähkötyöt teki eri sähköasentaja, jonka perusvalikoimaan kuului myös Shelly-tuotteet.

Talopakettitoimitukseen kuului CAT6 Ethernet-kaapelointi, joka mahdollisti talon sisälle langallisen verkon rakentamisen. Koska valtaosa internetiin liitettävistä älylaitteista toimii langattomasti, oli selvää, että koko kiinteistön alueella pitää olla toimiva Wi-Fi-yhteys. Wi-Fi-yhteys toteutettiin sijoittamalla talon sähkökaappiin kytkin, joka jakaa verkon langallisesti työhuoneeseen ja olohuoneeseen. Työhuoneeseen ja olohuoneeseen sijoitettiin Mesh-toimintoa tukevat Wi-Fi-reitittimet. Kolmas Mesh-laite sijaitsee kodinhoitohuoneessa, ja se saa verkkoyhteyden langattomasti muista Mesh-laitteista. Jälkikäteen huomattiin, että verkon optimaalisen toimivuuden kannalta olisi talon ja autokatoksen välille ollut järkevää vetää myös verkkokaapeli, mikä olisi mahdollistanut Mesh-laitteen sijoittamisen autokatoksen yhteydessä olevaan varastoon kiinteällä yhteydellä. Tämä olisi parantanut Wi-Fi-verkon kuuluvuutta autokatoksessa ja sen ympäristössä, luoden paremman yhteyden muun muassa valvontakameroille sekä autoille. Kiinteistön internetyhteys toteutettiin alun perin langattomalla 5G-tekniikalla, ja se huomioitiin rakennusvaiheessa vetämällä antennikaapelointi talon teknisestä tilasta talon ulkopuolelle ulkoista 5G-antennia varten. Pian talon valmistumisen jälkeen alueelle päätettiin rakentaa valokuituverkko, johon oli kiinteistön maatoita tehdessä varauduttu vetämällä kaapelinsuojaputki kiinteistön reunalta talon ulkopuolella sijaitsevaan sähköpääkeskukseen. Valokuitu on hyvin toimintavarma tapa toteuttaa internetyhteys, mutta 5G-modeemia voi halutessaan käyttää talossa internetin varayhteytenä, joka aktivoituu vain, jos valokuituyhteys ei toimi.

5.2.4 Laitekerros

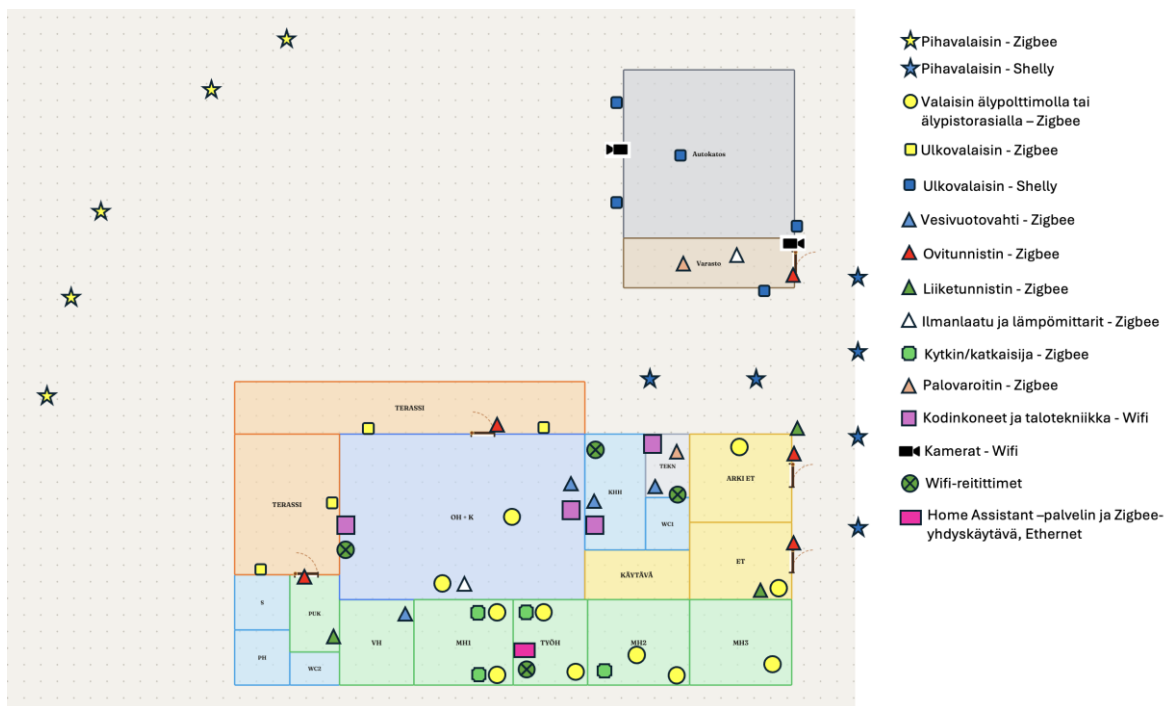
Valtaosa talon älylaitteista toimii Zigbee-tekniikalla. Zigbee valikoitui, koska järjestelmää rakentaessa Zigbee-laitteita oli saatavilla kattava valikoima usealta eri laitevalmistajalta, ne olivat melko edullisia ja ne luovat keskinäisen verkon, mikä takaa hyvän yhteyden koko kiinteistön alueella. Tämän järjestelmän rakentamishetkellä Thread-laitteita ei vielä ollut laajasti saatavilla. Kuten aiemmin todettiin, Threadin ja Matterin mahdollinen tuleva yleistyminen huomioitiin kuitenkin siten, että Zigbee-yhteyksiä hoitavaksi laitteeksi valittiin laite, joka voi toimia myös Thread-yhdyskäytävänä. Talon ja autokatoksen sähkökaappeihin asennettiin lisäksi Shelly-älylaitteita ohjaamaan ulkopuolen valaistusta, ulkoportaiden sulatusta sekä lämminvesivaraajalle tarkoitettua pistorasiaa. Valvontakameroiksi valittiin Reolink-merkkiset kamerat, sillä Reolinkin tuotteille on olemassa valmis Home Assistant -integraatio. Autokatoksen kaksi kameraa toimivat verkkovirralla, mutta ovat langattomasti yhteydessä internetiin Wi-Fi-yhteydellä. Lisäksi talossa on yksi Reolinkin akkukäyttöinen kamera, jonka voi sijoittaa tarpeen mukaan joko talon sisälle tai ulos. Akkukäyttöistä kameraa ei pysty liittämään Home Assistantiin, joten sitä ei hyödynnetä automaatioissa. Reolink-kameroissa on myös tekoälyyn perustuva hahmontunnistus, joka laajentaa automatisointimahdollisuuksia. Kamerat kykenevät tunnistamaan ihmishahmon, eläimen ja auton. Sen lisäksi kameroihin on mahdollista ostaa maksullinen pilvipalvelu videoleikkeiden tallennusta varten. Kameroiden tallentamia videoita voi myös tallentaa paikallisesti esimerkiksi SFTP-palvelimelle, ja tätä ratkaisua hyödynnettiin tässä järjestelmässä ylläpitokustannusten pienentämiseksi.

Talon lämmitysjärjestelmäksi valittiin Nibe S735 -poistoilmalämpöpumppu, ja siihen liitettävä SAM44 -ilmanvaihtokone. S735 on mahdollista liittää internetiin Wi-Fi-yhteydellä ja sitä on mahdollista etäkäyttää myUplink-järjestelmällä esimerkiksi matkapuhelimen sovelluksen kautta. Kyseinen laite sisältää valmiiksi sähkön hintaan perustuvan ohjauksen, automaattisen yöviilennyksen sekä tulevan sääennusteen huomioimisen. Laitteeseen on mahdollista ottaa yhteys myös käyttäen Modbus-tiedonsiirtoprotokollaa. Modbus on teollisuusstandardi, joka mahdollistaa laitteiden välisen tiedonsiirron ja ohjauksen riippumatta valmistajasta (Modbus Organization,

2026). Tässä järjestelmässä sitä hyödynnetään Home Assistantin ja lämpöpumpun väliseen kommunikaatioon Wi-Fi-verkon ylitse. Modbus-väylä tarjoaa runsaasti dataa laitteen eri sensoreista ja antureista, sekä mahdollistaa lähes kaikkien asetusten muuttamisen. Malleihin, joissa ei ole edellä mainittuja lisätoimintoja kuten sähkön hintaan perustuvaa ohjausta, voidaan toiminnot toteuttaa Home Assistantin avulla ohjaten laitetta Modbus-protokollaa hyödyntäen. Modbus-väylää hyödyntävä ohjaus esimerkiksi pörssisähkön optimoinnin osalta antaa käyttäjälle laajemmat konfigurointimahdollisuudet kuin laitevalmistajan oma toiminto. Modbusin kautta tuotua tietoa hyödynnetään tässä järjestelmässä lämpöpumpun ja ilmanvaihtokoneen ohjauksen lisäksi niiden energiankulutuksen seurantaan, mikä mahdollistaa kattavien raporttien laatimisen ilman valmistajan kautta ostettua kuukausimaksullista palvelua. Modbus-yhteyden kautta kerätty historiadata on osoittautunut arvokkaaksi myös vikatilanteiden selvittämisessä, sillä se mahdollistaa laitteen tilan tarkan analysoinnin häiriöhetkellä.

Kuviossa 6 on esitelty älykotilaitteiden ja internetiin yhdistettyjen kodinkoneiden ja talotekniikan sijoittelu kiinteistöllä. Laitteet on jaoteltu eri symboleilla ja väreillä niiden käyttötarkoituksen mukaan. Kuvio auttaa hahmottamaan laitteiden välisiä etäisyyksiä kiinteistöllä. Zigbee-yhdyskäytävä sijaitsee talon työhuoneessa Home Assistant - palvelimen yhteydessä, josta on pitkä matka esimerkiksi kauimmaisiin ulkovalaisimiin. Siitä huolimatta verkko toimii hyvin, sillä Zigbee-verkko toimii Mesh-periaatteella, jossa laitteet laajentavat itse verkkoa. Wi-Fi-verkon kuuluvuus autokatoksessa ei ole täysin optimaalisella tasolla, sillä lähin Wi-Fi-reitin sijaitsee talon kodinhoitohuoneessa. Tämän ongelman olisi saanut ratkottua siten, että talon rakennusvaiheessa olisi talosta vedetty Ethernet-kaapeli autokatokseen, jolloin Wi-Fi-reitittimen olisi voinut sijoittaa autokatoksen yhteydessä olevaan varastoon kiinteällä yhteydellä. Osaa piha- ja ulkovalaisimista ohjataan Shelly-älyreleillä, sillä kyseisissä valaisimissa ei ole vaihdettavia polttimoita, jolloin esimerkiksi Zigbee-polttimon vaihtaminen laitteeseen ei ollut vaihtoehto. Yhdellä älyreleellä on mahdollista ohjata isoa ryhmää valaisimia, mikä rajaa tarvittavien älylaitteiden määrää, ja mahdollistaa minkä tahansa tyyppisien valaisimien

ohjaamisen kotiautomaatiojärjestelmän kautta. Tässä järjestelmässä älyreileitä on kuitenkin useampi, jotta takapihan puolella olevia valaisimia voidaan ohjata erillään etupihaan puolella olevista valaisimista. Osaan sisävalaisimista on vaihdettu Zigbee-polttimot, ja osaa ohjataan älypistorasioilla. Zigbee-polttimot mahdollistavat valaisimien värisävyn ja kirkkauden muuttamisen, sekä tarvittaessa myös sen päälle ja pois kytkemisen järjestelmän käyttöliittymästä tai erillisestä älykatkaisijasta. Näitä valaisimia ohjataan kuitenkin pääsääntöisesti perinteisistä seinälle asennetuista valokatkaisijoista. Kamerat, liiketunnistimet ja ovitunnistimet on sijoitettu siten, että järjestelmä kattaa kaikki väylät kiinteistölle ja rakennuksiin sisälle. Vesivuotovahdit on sijoitettu jakotukkien sekä pesukoneen ja astianpesukoneen alle. Kytkimillä ja katkaisijoilla tarkoitetaan päälle/pois tyyppisiä laitteita, joilla ohjataan muun muassa valaisimia. Laitteet mahdollistavat myös esimerkiksi turvajärjestelmän ohjaamisen, hyödyntäen pitkää- tai tuplapainalusta. Esimerkiksi yövalon katkaisijalla voidaan sammuttaa yksi yövalo, molemmat yövalot sekä kytkeä talon kuorisuojaus päälle tai pois päältä. Älypalovaroittimet sijoitettiin autokatoksen varastoon sekä talon tekniseen tilaan, joissa ei kummassakaan ollut talotehtaan asentamaa verkkovirralla toimivaa palovaroitinta. Kodinkoneista astianpesukone, pesukone ja televisio ovat liitetty järjestelmään Wi-Fi-yhteydellä, hyödyntäen valmista Home Assistant -integraatiota. Lämmitysjärjestelmä yhdessä ilmanvaihtokoneen kanssa hyödyntää myös Wi-Fi-yhteyttä, mutta keskustelee Home Assistantin kanssa Modbus-protokollaa käyttäen.



Kuvio 6. Älylaitteiden ja internetiin yhdistetyn kodintekniikan sijoittelu kiinteistöllä.

5.3 Automaatiot ja järjestelmän toimintalogiikka

Tässä aluvussa käsitellään järjestelmään tehtyjä automaatioita ja sen vikasietoisuutta. Aluksi kuvaillaan automaatioita yleisellä tasolla, jonka jälkeen kuvataan yksityiskohtaisesti Kotona-tila-automaatiokokonaisuus, joka on järjestelmän keskeinen toiminto. Lopuksi käsitellään järjestelmän käyttäytymistä vikatilanteissa ja palautumista niistä.

5.3.1 Yksittäiset automaatiot

Home Assistantin iso etu muihin järjestelmiin verrattuna on se, että sen avulla voi luoda automaatioita, jotka hyödyntävät dataa lukuisista eri lähteistä ja käyttävät eri valmistajien mahdollisesti eri tekniikkaa käyttäviä laitteita. Tämän tutkielman liitteenä on tarkempi lista järjestelmään tehdyistä automaatioista (Liite 3). Tässä aluvussa käsitellään automaatioita yleisemmällä tasolla, antaen tarkemmat esimerkit energiaoptimoinnin, mukavuuden ja turvallisuuden osa-alueilta. Esimerkkien on

tarkoitus osoittaa, että helppokäyttöisen ja järkevän automaation luominen vaatii lähes poikkeuksetta sitä, että voidaan integroida useita erilaisia laitteita toimimaan yhdessä. Pelkän liiketunnistimen ja älypistorasian avulla voi esimerkiksi sytyttää valon, kun liikettä havaitaan, mutta se toimii aina joka tilanteessa samalla tavalla. Yhdistelemällä dataa eri lähteistä, voi valon syttymisen määrittää tapahtumaan vain tietyissä valoisuusolosuhteissa. Valon voi laittaa illalla syttymään himmeämpänä eri värisävyillä. Sen voi asettaa vilkkumaan punaisena, jos yrität poistua kodista kuorisuojauksen ollessa päällä, jotta et aiheuta turhaa hälytystä. Valon voi asettaa menemään satunnaisesti päälle luomaan vaikutelmaa siitä, että talossa oleskellaan, kun olet poissa kotoa. Tässä vain joitakin esimerkkejä siitä, miten älykodin kontekstitietoisuus järkevöittää automaatioita, ja tekee asumisesta helpompaa, mukavampaa ja turvallisempaa. Usein yhtä IoT-laitetta voi käyttää myös moneen eri käyttötarkoitukseen. Aiemmassa esimerkissä ollut liiketunnistinta voi hyödyntää esimerkiksi myös osana turvajärjestelmää. Edellä mainituista syistä on teknologioita ja laitevalintoja tehdessä tärkeää olla jo jokin suunnitelma siitä, mitä kaikkea tullaan automatisoimaan. Seuraavassa on esiteltynä useammasta yksittäisestä automaatiosta koostuva kokonaisuus, joka lisää turvallisuuden lisäksi mukavuutta ja auttaa energian säästämässä. Automaatiokokonaisuus vaatii useamman eri laitteen saumatonta yhteistyötä, ja on hyvä esimerkki siitä, mitä Home Assistant -järjestelmä mahdollistaa.

5.3.2 Automaatiokokonaisuus: Kotona-tila

Home Assistantin käyttöliittymään on tehty Kotona niminen painike, joka ohjaa Kotona-tilaa. Tilan poiskytkentä voi käyttäjän valinnan mukaan tapahtua joko automaattisesti, tai manuaalisesti. Tätä valintaa ohjataan käyttöliittymässä olevalla parametrilla. Mikäli Kotona-tila on valittu kytkeytymään pois päältä automaattisesti, menee se pois päältä, kun kiinteistön alueella ei havaita yhdenkään asukkaan puhelinta. Tila voidaan laittaa pois päältä tai päälle myös käyttöliittymän etusivulla näkyvästä painikkeesta. Kotona-tila kytketään kuitenkin aina automaattisesti päälle myöhemmin kuvatus logiikan mukaisesti. Kotona-tila vaikuttaa useaan eri osa-alueeseen älykotijärjestelmän toiminnassa. Seuraavassa tekstissä on kuvattu, miten automaatiot toimivat Kotona-tilan ollessa pois

päältä, sen ollessa päällä tai eri tilojen välillä siirtyessä. Kotona-tilaa voi ajatella monipuolisena turvajärjestelmänä, joka turvallisuusnäkökulman lisäksi lisää asuinmukavuutta ja auttaa säästämään energiaa. Vastaavan kokonaisuuden toteuttaminen ei ole mahdollista vain yhden valmistajan laitteilla ja hallintajärjestelmällä. Automaatiokokonaisuuden kuvauksessa on mainittu sulkeissa mitä älylaitetta mikäkin toiminto hyödyntää. Jotkin automaatiot ja ilmoitukset toimivat samalla tapaa tilasta riippumatta. Esimerkkeinä tästä ovat esimerkiksi vesivuotohälyttimet (Zigbee) tai älykkäät palovaroittimet (Zigbee), jotka hälyttävät aina samalla tavalla, sekä äänimerkillä, että asukkaiden matkapuhelimiin lähetettävillä ilmoituksilla.

Kotona-tila poissa päältä

Kun Kotona-tila on poissa päältä, eli kun talossa ei ole ketään, osa talon ulkovalaistuksesta palaa koko yön sen ajan, kun ulkona on hämärää (Zigbee-liiketunnistin ja Shelly-älyreleet). Sen lisäksi kamerat (kiinteästi asennetut Reolink-kamerat) reagoivat ihmisiin ja autoihin lähettämällä asukkaiden puhelimeen ilmoituksen (Home Assistant -sovellus). Minkä tahansa ulko-oven avaaminen (Zigbee-ovitunnistin) tai liike sisätiloissa (Zigbee-liiketunnistin) aiheuttaa sen, että talon kaikki älyvalaisimet laitetaan päälle (Zigbee-polttimot ja -älypistorasiat sekä Shelly älyreleet), ulkokameroissa olevat summerit alkavat soida sekä käyttäjien puhelimiin lähetetään prioriteetti-ilmoitus, joka ohittaa esimerkiksi puhelimen äänettömän tilan. Tilan ollessa pois päältä, käyttöveden kiertovesipumppu asetetaan lepotilaan (Shelly-älypistorasia), ja asetusten mukaan voidaan talon ilmanvaihtoa pienentää ja lämmityskäyrää siirtää pari pykälää alemmas (lämmityslaitteen ja ilmanvaihtokoneen ohjaus Modbus-väylän kautta Home Assistantin avulla). Ilmanvaihdon pienennystä ja lämmityskäyrän siirtoa varten on tehty omat parametrit, ja ne ovat tarkoitettu käytettäväksi pidemmän poissaolon yhteydessä. Talossa olevat älypistorasiat ovat myös pois päältä, jotta esimerkiksi lataukseen jäänyt laite ei aiheuta tulipaloa.

Kotona-tilan kytkeytyminen päälle

Kotiin tultaessa Kotona-tila kytkeytyy automaattisesti päälle, kun Home Assistant järjestelmä havaitsee talon asukkaan matkapuhelimen saapuvan kiinteistön alueelle tai sen lähistölle (Home Assistant -sovellus, Tailscale-yhteys, GPS-sijainti). Kun Kotona-tila kytketään päälle, kamerat eivät enää lähetä ilmoituksia liikkeestä, ja ovien avaaminen tai liike sisätiloissa ei aiheuta enää hälytystä. Jos ulkona on hämärää (Zigbee-liiketunnistin), kytketään talon etupihalla oleva ulkovalaistus päälle (Shelly-älyrele), jos ne eivät vielä olleet päällä. Mikäli matkapuhelimen paikkatietoa ei jostain syystä saada, Kotona-tila kytkeytyy päälle myös silloin, kuin talon ulko-ovi avataan ja talon asukkaan puhelin on liittynyt talon Wi-Fi-verkkoon. Samalla kun ulko-ovi avataan, sytytetään eteisen valot, mikäli sisällä on hämärää. Älypistorasioihin (Zigbee / Shelly) palautetaan virta, sekä kiertovesipumppu (Shelly-älypistorasia) alkaa toimimaan normaalin logiikan mukaisesti. Mikäli taloon on saapumassa vieras silloin kun talon asukkaat eivät ole paikalla, voidaan Kotona-tila kytkeä päälle manuaalisesti etäyhteyden avulla.

Kotona-tila päällä

Kotona-tilan ollessa päällä, ulkovalaistus toimii automaattisesti valoisuuden perusteella, sammuen kuitenkin 23–06 välille, jolloin asukkaat ovat useimmiten nukkumassa. Mikäli tällä aikavälillä kuitenkin talosta poistutaan ulos, kytkeytyvät oven läheisyydessä olevat ulkovalot päälle, jos ulkona on hämärää. Liiketunnistimia hyödynnetään eteisen valojen sytyttämiseen sekä kiertovesipumpun käyttöön. Kiertovesipumpun on tarkoitus taata se, että suihkuista saa nopeasti lämmintä vettä. Tästä syystä kiertovesipumppu aktivoituu muutamaksi minuutiksi, kun pesuhuoneen edustalla havaitaan liikettä, ja jos edellisestä pumpun käytöstä on kulunut ennalta määritelty aika. Tätä samaa liiketunnistinta hyödynnetään sisätilan liikkeen havaitsemiseksi osana turvajärjestelmää, kun Kotona-tila on pois päältä. Kotona ollessa talon ilmanvaihto toimii normaaliteholla. Mikäli talon sisäilman hiilidioksidipitoisuus nousee yli ennalta asetetun rajan tai ilman pienhiukkasten määrä nousee huomattavasti (Zigbee-ilmanlaaduntunnistin) ilmanvaihtoa tehostetaan automaattisesti, kunnes arvot ovat palautuneet normaalille

tasolle. Kaikki älypistorasiat ovat päällä pois lukien yöajaksi määritellyn 23–06, jolloin pistorasiat sammutetaan automaattisesti.

Kotona-tilan kytkeytyminen pois päältä

Kun Kotona-tila kytketään pois päältä kotoa lähtiessä, tai se tapahtuu automaattisesti matkapuhelinten sijaintitietoon perustuen, sammutetaan ensimmäisenä talon kaikki älypistorasiat sekä sisävalaistus pois lukien eteisen valot. Kun ennalta määritelty aika tilan poiskytkemisestä on kulunut, aktivoituvat ovivahdit sekä liiketunnistimet, sekä kameroiden ilmoitukset. Jos järjestelmän asetussivulla on valittu päälle ilmanvaihdon pienennys ja/tai lämmityskäyrän pudotus poissaolon ajaksi, myös nämä toimenpiteet tehdään tässä kohtaa.

5.3.3 Vikatilanteiden hallinta

Järjestelmän kannalta haasteellisin yleinen vikatilanne on sähkökatkosta palautuminen. Sähkökatkon jälkeen järjestelmää pyörittävän tietokoneen on käynnistytävä automaattisesti uudestaan (BIOS-asetus) ja käynnistettävä tarvittavat palvelut (virtuaalikone, Tailscale, SFTP, RDP). Järjestelmään liitettyjen älylaitteiden tulee palautua sopivaan tilaan, eli mikäli valaistus oli päällä, tulee sen olla päällä myös sähkökatkon jälkeen. Sähkökatko voi osua myös hetkeen, jolloin esimerkiksi talon ulkopuolella valoisuus laskee siten, että ulkovalaistus tulisi sytyttää. Automaatioita suunniteltaessa on siis huomioitava se, että miten toimitaan, jos automaation saama heräte jää saamatta vikatilanteen takia. Automaatioita tehdessä on luokiteltava eri toiminnot kriittisistä ei-kriittisiin, ja suunniteltava viansieto ja varakäyttömahdollisuudet sen mukaisesti. Järjestelmä on osoittanut useita kertoja kykenevänsä palautumaan sähkökatkoista. Myös talon lämmitysjärjestelmään liittyvää vikatilannetta on onnistuneesti selvitetty etäyhteydellä toiselta puolelta maapalloa Home Assistantiin tuodun datan perusteella. Yksittäiseen laitteeseen kohdistuvia vikatilanteita ovat esimerkiksi pariston loppuminen tai yksittäisen laitteen yhteyskatkos, joita sattuu ajoittain. Jotta nämä tilanteet eivät jää huomaamatta, kannattaa laatia automaatiot, jotka hälyttävät, kun johonkin laitteeseen ei ole saatu yhteyttä hetkeen. Lisäksi esimerkiksi hälytysjärjestelmää tehdessä kannattaa

määritellä tarkkaan, mistä laitteen tilasta mihin tilaan siirtyminen aiheuttaa hälytyksen, jotta vältetään turhia hälytyksiä, jotka johtuvat siitä, että laite vain tippuu verkosta tai sen paristo tyhjenee.

5.4 Järjestelmän tuottamat hyödyt ja havaitut haasteet

Tässä alaluvussa esitellään järjestelmällä saavutettuja hyötyjä ja käytössä havaittuja haasteita. Hyödyt on jaoteltu kolmeen osa-alueeseen: sähkönkulutuksen optimointiin, asuinmukavuuden parantamiseen sekä turvallisuuden lisäämiseen, jotka vastaavat järjestelmälle asetettuja tavoitteita. Lisäksi käsitellään järjestelmän käytössä havaittuja haasteita ja huomioita.

5.4.1 Sähkönkulutuksen optimointi

Järjestelmä optimoi kodin energiankäyttöä kahdella tapaa. Se pyrkii ajoittamaan käyttöä pörssisähkön halvimmille tunneille, sekä vähentämään kulutusta rajoittamalla joidenkin laitteiden käyttöaikaa tai vähentämällä esimerkiksi ilmanvaihtoa. Koska järjestelmä on ollut talossa talon käyttöönotosta asti, saavutettua energian kulutuksen vähentymistä on vaikea mitata, koska sopivaa vertailukohdetta ei ole. Sopivan vertailukiinteistönkin löytäminen on vaikeaa, sillä kohdekiinteistössä on muun muassa poreallas ja tehokas 11 kW sähkökiuas, jotka lisäävät sähkönkulutusta merkittävästi. Sähköstä maksettua hintaa voidaan sen sijaan verrata pörssisähkön keskihintoihin ja esimerkiksi siihen, mitä kustannus olisi ollut kiinteähintaisella sähkösopimuksella. Seuraavalla sivulla olevassa taulukossa (Taulukko 3) on esitetty järjestelmällä aikaansaatuja säästöjä. Pörssisähkön keskihintaan vertailtaessa marginaali on poistettu molemmista luvuista vertailukelpoisuuden vuoksi. Kiinteähintaiseen sopimukseen vertailtaessa marginaali (0,49 snt/kWh) on mukana, koska kiinteässä sopimuksessa se sisältyy hintaan. Tämä yksinkertaistettu vertailulaskenta olettaa, että optimoimatonta pörssisähköä olisi ostettu tasaisesti ympäri vuorokauden. Laskenta on konservatiivinen arvio, sillä optimoimaton kulutus osuisi todennäköisesti kalliimmille tunneille, jolloin optimoinnilla saavutettu todellinen säästö olisi taulukossa esitettyä suurempi (Fingrid Lehti, 2022). Taulukossa on

myös vertailtu kustannuksia siihen, jos talossa olisi ollut käyttöönottohetken hintatasolla tehty kiinteähintainen sopimus. Marraskuussa 2024 12–24 kuukauden määräaikaisten sopimusten hinnat vaihtelivat 8–10 snt/kWh välillä. Esimerkissä on käytetty hintaa 8,99 snt/kWh. Vertailu koskee ainoastaan ostettua sähköenergiaa, eikä huomioi siirtomaksuja tai veroja. Siirtomaksuja voi myös optimoida esimerkiksi sopimuksella, jossa öisin sähkön siirto on halvempaa. Siirtomaksut ovat kuitenkin samat riippumatta siitä, ostetaanko pörssi- vai kiinteähintaista sähköä, ja siksi siirtomaksut on jätetty laskelman ulkopuolelle. Taulukko kattaa aikavälin marraskuu 2024 – kesäkuu 2025. Rajaus on tehty siten, että kyseisellä aikavälillä talossa ei ole ollut käytössä muita sähkön käyttömäärään, ostohintaan tai ajankohtaan vaikuttavia järjestelmiä, kuten kotiakkua tai aurinkopaneeleita. Aikaväli kattaa lämmityskauden, jolloin omakotitalon kulutus on korkeimmillaan sekä kesäajan, jolloin kulutus on pienempää. Taulukosta voidaan havaita, että kiinteähintaiseen sopimukseen verrattuna säästö on ollut merkittävä, noin 670 euroa. Myös pörssisähkön keskihintaan verrattuna säästö on ollut lähes 200 euroa kahdeksan kuukauden jaksolla. Vertailu kiinteähintaiseen sopimukseen on relevantti siitä syystä, että energiakäytön optimointimahdollisuus voi kallistaa kuluttajan valitsemaan pörssisähkön kiinteähintaisen sijaan.

Taulukko 3. Vertailu ostetun sähköenergian hinnoista aikavälillä marraskuu 2024-kesäkuu 2025.

	Marras	Joulu	Tammi	Helmi	Maalis	Huhti	Touko	Kesä	
Pörssisähkön keskihinta	5,69	4,87	6,63	5,93	5,96	5,99	2,29	2,33	snt/kWh
Kiinteähintainen määräaikainen sopimus	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	8,99	snt/kWh
Ostetun pörssisähkön keskihinta	5,47	4,4	5,7	5,54	5,2	3,99	2,39	1,81	snt/kWh
Ostohinta pörssisähkön keskihinta ilman marginaalia	4,98	3,91	5,21	5,05	4,71	3,5	1,9	1,32	snt/kWh
Säästö vrt. pörssisähkön keskihintaan	-0,71	-0,96	-1,42	-0,88	-1,25	-2,49	-0,39	-1,01	snt/kWh

Säästö vrt. kiinteähintainen sopimus	-3,52	-4,59	-3,29	-3,45	-3,79	-5	-6,6	-7,18	snt/kWh
Kulutus	1990	2464	2632	1999	2113	1674	1452	1078	kWh
Säästö euroina vrt. Pörssisähkön keskihinta	14,1	23,7	37,4	17,6	26,4	41,7	5,7	10,9	eur
Säästö euroina vrt. kiinteä sopimus	70,0	113,1	86,6	69,0	80,1	83,7	95,8	77,4	eur

1.10.2025 Suomessa siirryttiin pörssisähkön varttihinnoitteluun aikaisemmin käytetystä tuntiperusteisesta hinnoittelusta (Helen, 2025). Tämä tarkoittaa sitä, että hintajaksoja on vuorokauden sisällä aikaisemman 24:n sijaan 96, mikä aiheuttaa omat haasteensa käytön ajoittamisessa halvimpiin jaksoihin. Esimerkiksi älyreleen avulla hintaperusteisesti ohjattu kontaktori joutuu huomattavasti kovemmalle käytölle, jos kytkentäkertoja tulee vuorokaudessa moninkertainen määrä. Myöskään esimerkiksi lämmitystä ei ole mielekästä ohjata 15 minuutin jaksoissa. Varttihinnoittelun aiheuttamia haasteita voi vähentää siten, että lasketaan esimerkiksi 30 tai 60 minuutin keskiarvoja varttihinnoista, ja tehdään optimointi niiden perusteella. Alla on lyhyesti esitelty miten säästöjä ja optimointia on pyritty tekemään järjestelmän eri osa-alueilla. Säästöt ja optimointi keskittyvät talon merkittävimpiin kulutuksen lähteisiin, jättäen esimerkiksi astianpesukoneen ja pesukoneen optimoinnin ulkopuolelle.

Lämmitys

Talon lämmitysjärjestelmä pyrkii ajoittamaan lämmityksen ja käyttöveden lämmittämisen vuorokauden edullisille hetkille. Tämä itsestään ei vähennä energian kulutusta, mutta se auttaa laskemaan ostetun pörssisähkön keskihintaa, sillä lämmityskustannukset ovat omakotitalossa yksi merkittävimmistä kustannuksista. Energiansäästöjä pyritään saavuttamaan sillä, että pitkien poissaolojen yhteydessä talon lämmityskäyrää voidaan automaattisesti siirtää muutaman pykälä alemmas. Varaston yhteydessä olevan puolilämpimän varaston sähköpatteria ohjataan siten, että korkeammilla sähkönhinnoilla varaston lämpötilaa pudotetaan muutamalla asteella, ja

korkeimmat hintapiikit leikataan kokonaan pois sammuttamalla patteri hetkeksi. Lämmityksen ohjauksessa käytettiin 30.9.2025 asti pörssisähkön tuntihintoja, ja 1.10.2025 alkaen 15 minuutin hinnoista laskettuja 30 minuutin keskiarvohintoja varttihinnoitteluun siirtymisen takia.

Käyttövesi

Talon lämmitysjärjestelmä hoitaa myös käyttöveden lämmittämisen. Sen lisäksi talossa on puskurivaraaja, jonka kautta käyttövesi kulkee käytettäväksi. Puskurivaraajan lämmitystä ohjaa Shelly-älyrele, joka lämmittää vuorokauden edullisimpina hetkinä Home Assistantin ohjaamana. Ohjausta tehdään siten, että valitaan haluttu määrä perättäisiä edullisimpia 30-min jaksoja (keskiarvo 15-min hinnoista), jolloin lämmitys on päällä. Pidempien poissaolojen yhteydessä sekä lämmitysjärjestelmän että puskurivaraajan käyttöveden lämmitys on kokonaan pois päältä. Koska talon suihkutilat sijaitsevat kaukana lämminvesivaraajista, on lämpimän veden puolelle asennettu kiertovesipumppu. Kiertovesipumpun tarkoitus on lyhentää aikaa, joka kuluu hanan avaamisesta siihen, että lämmintä vettä alkaa tulla. Kiertovesipumppu oli talotehtaan luovutuksen jälkeen kytketty siten, että se oli aina päällä. Kiertovesipumpun yhteyteen laitettiin Shelly-älypistorasia, jonka toimintaa ohjataan Home Assistantin avulla perustuen siihen, onko joku kotona vai ei. Kun kotona ei olla, kiertovesipumppu pyörii kerran vuorokaudessa lyhyen jakson. Kun kotona ollaan, kiertovesipumppu aktivoituu muutamaksi minuutiksi, kun pukuhuoneessa havaitaan liikettä, ja edellisestä käyttökerrasta on kulunut aikaa. Kiertovesipumpun ohjauksella pyritään säästämään useammalla eri tavalla. Se vähentää veden juoksuttamista, säästää kiertovesipumpun käyttötunteja sekä vähentää lämpöhäviötä, jota lämpimän veden jatkuva kierrättäminen putkistossa aiheuttaa.

Valaistus

Nykyaikaiset LED-valot ovat energiankulutukseltaan pieniä ja kestävät tuhansia tunteja käyttöä. Valojen automatisoinnista aiheutuva kustannus ei siis välttämättä maksa itseään kovin nopeasti takaisin, mutta se on omiaan parantamaan asumismukavuutta. Kun LED-

valoja on paljon ja ne palavat pitkiä aikoja, voi niidenkin ohjaamisella saavuttaa säästöjä pitkällä aikavälillä, erityisesti jos automatisoinnin saa toteutettua edullisesti. Takaisinmaksuaikaan vaikuttaa olennaisesti laitteen käyttöikä sekä sähkön hinta, joten esimerkkejä säästöistä on vaikea laskea. Tätä järjestelmää varten valaistus automatisoitiin ensisijaisesti mukavuustekijöiden takia, mutta esimerkiksi ulkovalot sammutetaan kotona ollessa yöksi valaisimien käyttöiän pidentämiseksi sekä energiansäästöjen saavuttamiseksi, valaistuksen syttyessä yöaikaan ainoastaan havaitun liikkeen perusteella. Valaistusta käsitellään tarkemmin asuinmukavuutta sekä turvallisuutta käsittelevissä alaluvuissa.

5.4.2 Asuinmukavuus

Asuinmukavuuden parantamisella tarkoitetaan tässä yhteydessä esimerkiksi arkea helpottavia automaatioita ja mahdollisuutta ohjata toimintoja etäältä. Sähkökulutuksen optimointi voi aiheuttaa ristiriidan asuinmukavuus tavoitteen kanssa, sillä yksi merkittävä tapa optimoida sähkön käyttöä on kohdistaa lämmitystä sähkön halvoille tunneille. Tämä aiheuttaa sen, että asunnon lämpötila ei ole yhtä tasainen, kun tilanteessa, jossa lämmitys toimisi tasaisesti ympäri vuorokauden. Sopiva kompromissi näiden kahden tavoitteen väliltä löytyy asetuksia säätämällä käyttäjien tarpeiden mukaan.

Valaistuksen automatisointi on yksi yleisimpiä kotiautomaation käyttökohteita. Valaistusta voi automatisoida esimerkiksi valoisuuteen, havaittuun liikkeeseen tai kellonaikaan perustuen, ja nämä perustoiminnot löytyvät lähes kaikkien laitevalmistajien ratkaisuista. Home Assistantin avulla valaistuksen automatisointi voidaan viedä vielä pidemmälle hyödyntämällä eri laitteista ja sensoreista saatavaa tietoa monipuolisesti. Tutkimuksen kohteena olevassa järjestelmässä automatisoinnin piirissä ovat kaikki ulkovalaisimet sekä osa sisävalaistuksesta. Ulkovalaistus toimii siten, että valtaosa valoista syttyy automaattisesti, kun ulkona olevan liiketunnistimen antama valoisuustieto alittaa ennalta määritellyn arvon. Talon kadun puolella oleva valaistus on

osittain tämän automaation ulkopuolella, ja niitä sytytetään vain tiettyjen ehtojen täytyessä. Näitä ehtoja ovat:

- Talon asukas saapuu kotiin. Tunnistus matkapuhelimen GPS-datan perusteella, valot syttyvät, kun matkapuhelin havaittu kodin lähellä.
- Kamera havaitsee ihmisen tai ajoneuvon, tai kun liiketunnistin havaitsee liikettä useamman sekunnin ajan.
- Talon eteisen tai arkieteisen ovi avataan.
- Edellä mainitut ehdot vaativat toteutuakseen sen, että ulkona on hämärää.

Kaikki sisätiloissa olevat valaisimet ovat perinteisten valokatkaisijoiden avulla ohjattavia. Valaisimet, joissa on kiinteä polttimo, ovat osittain automatisoinnin piirissä älypistorasioiden avulla. Osa sisävalaisimista, joissa on irrotettava polttimo, ovat varusteltu Ikean Zigbee-tekniikkaa hyödyntävillä älypolttimoilla, mikä mahdollistaa kyseisten valojen ohjaamisen Home Assistant -järjestelmän kautta. Älypolttimoiden ohjaus onnistuu järjestelmän kautta vain, jos valokatkaisija on päällä asennossa. Älypolttimot mahdollistavat portaattoman kirkkauden ja värilämpötilan säädön. Lisäksi niitä voidaan ohjata automaatioiden avulla siten, että esimerkiksi värilämpötila säädetään vallitsevan kirkkauden tai kellonajan perusteella. Talossa esimerkiksi eteisen valaistus toimii liiketunnistimen ja ovisensorien perusteella, kun sisällä on hämärää. Etäohjattava sisävalaistus mahdollistaa myös sen, että pitkän poissaolon ajaksi voidaan valoja sytyttää manuaalisesti tai automaattisesti siten, että se luo kuvan siitä, että talossa on paikalla asukkaita.

Yksi asuinmukavuutta parantava osa-alue on ilmanvaihdon ohjaus. Ilmanvaihdon ohjauksessa on myös energiansäästöön liittyvä puoli, jota on käsitelty tarkemmin sähkönkulutuksen optimoinnin yhteydessä. Asuinmukavuutta voi ilmanvaihdon automatisoinnilla parantaa siten, että ilmanvaihtoa lisätään hetkellisesti, mikäli talon hiilidioksiditaso nousee ennalta määritellyä tasoa korkeammaksi, tai mikäli talon sisäilmassa havaitaan kohonnut määrä pienhiukkasia. Kesällä ilmanvaihtoa tehostetaan

silloin, kun talon sisälämpötilan ja ulkolämpötilan ero on riittävän suuri. Tämä yöviilennystoiminto tuo kylmempää ulkoilmaa sisälle jäähdyttäen talon ilmaa.

Home Assistant mahdollistaa myös ilmoitusten lähettämisen iOS ja Android -puhelimiin. Tätä on hyödynnetty muun muassa siten, että matkapuhelimeen lähetetään ilmoitus, jos astianpesukoneen ohjelma on valmistunut, ja luukku on unohtunut avata. Lisäksi ilmoitus lähetetään, jos talon etupihalla on havaittu ajoneuvo, ilmoittamaan saapuneista vieraista. Turhien ilmoitusten välttämiseksi ilmoitukset lähetetään ainoastaan sellaisen käyttäjän puhelimeen, jonka tunnistetaan olevan kotona puhelimen sijaintietoon perustuen.

5.4.3 Turvallisuus

Turvallisuudella viitataan tässä yhteydessä kiinteistön sekä kodintekniikan valvontaan. Kiinteistön kameravalvonta on toteutettu kahdella kiinteästi asennetulla kameralla, sekä yhdellä akkukäyttöisellä, vapaasti sijoitettavalla kameralla. Kiinteät kamerat ovat sijoitettu autokatoksen molemmin puolin, siten että toinen kuvaa autokatoksen edustaa ja kiinteistön liittymää tielle, ja toinen kuvaa talon takapihaa kattaen myös talon terassilla sijaitsevat kaksi sisäänkäyntiä. Kamerat asennettiin ensisijaisesti turvallisuuden vuoksi pienentämään riskiä mahdollisille varkauksille tai murtautumiselle. Kameroille löytyi järjestelmää rakentaessa muitakin käyttökohteita, joita ei osattu suunnitteluvaiheessa huomioida. Kamerat osaavat esimerkiksi päätellä, onko havaittu liike ihmisen, eläimen tai ajoneuvon aiheuttamaa. Tätä toimintoa on hyödynnetty siten, että kun pimeällä havaitaan ajoneuvo tai ihminen, sytytetään havaintoalueen ulkovalaistus automaattisesti, mikäli ulkona on pimeää. Tämä mahdollistaa sen, että kaikkia ulkovaloja ei pidetä pimeällä päällä jatkuvasti, vaan osaa käytetään vain tarvittaessa. Kameraan sisäänrakennetun kohteentunnistuksen perusteella vältetään myös tilanteet, jossa eläin tai muu liike, esimerkiksi heiluva oksa tai lumisade sytyttäisi valoja. Samaa tunnistusominaisuutta on hyödynnetty myös siten, että mikäli järjestelmän Kotona-tila on pois päältä, järjestelmä lähettää asukkaiden matkapuhelimiin ilmoituksen pihalla havaitusta autosta tai ihmisestä. Kun kamerat havaitsevat hämärällä liikettä, niihin

sisäänrakennettu LED-valo syttyy. Mikäli ulkona on riittävän pimeää, kamerat sytyttävät ulkovalaistuksen. Kun Kotona-tila on pois päältä, kamerat sytyttävät myös pienellä viiveellä muutaman talon sisävalon. Tämän automaation tarkoitus on tehdä luvattomalle kulkijalle selväksi, että talossa on kameravalvonta sekä luoda myös kuva siitä, että talo ei välttämättä ole tyhjillään. Kameravalvonnan lisäksi talon ja varaston ulko-ovissa on ovitunnistimet, jotka havaitsevat onko ovi auki vai kiinni. Kotona-tilan ollessa päällä, tunnistimia hyödynnetään valojen sytyttämiseen. Tätä toimintoa on käsitelty tarkemmin asuinmukavuutta käsittelevässä alaluvussa. Kun Kotona-tila on pois päältä, aiheuttaa oven avaaminen hälytyksen asukkaiden matkapuhelimiin sekä hälytysäänen talossa ja talon ulkopuolella. Hälytyksen aktivoituessa myös kaikki talon sisä- ja ulkovalot sytytetään naapureiden huomion kiinnittämiseksi. Turvallisuuden alle voidaan myös laskea rakennuksiin asennetut älypalovaroittimet, joita asennettiin yksi kappale autokatoksessa sijaitsevaan varastoon sekä talon tekniseen tilaan. Talossa on lisäksi lakisääteiset verkkovirtaan kytketyt, paristovarmistetut perinteiset palovaroittimet. Nämä palovaroittimet hälyttävät vain paikallisesti, mutta älypalovaroittimet antavat hälytyksen myös asukkaiden matkapuhelimiin. Tämä mahdollistaa tulipaloon puuttumisen varhaisessa vaiheessa, vaikka talossa ei olisi syttymishetkellä ketään paikalla. Omakotitaloissa näkee tyypillisesti ulkopuolisten toimittajien hälytysjärjestelmiä. Kotiautomaatiojärjestelmään toteutetuilla turvallisuusominaisuuksilla pyrittiin kattamaan ulkopuolisten toimittajien järjestelmien sisältämät toiminnot, sekä tarjoamaan vielä paremmat laajennus- ja hallittavuusmahdollisuudet kustannustehokkaasti.

5.4.4 Järjestelmän käyttöön liittyvät haasteet ja huomiot

Aikaisempi tutkimustieto on havainnut lukuisia haasteita kotiautomaatiojärjestelmiin liittyen, näitä on käsitelty tarkemmin luvussa 2. Järjestelmää suunniteltaessa pyrittiin ennakoimaan haasteita ja ongelmia mahdollisimman hyvin, mutta siitä huolimatta joitakin haasteita on esiintynyt. Valtaosa haasteista liittyi järjestelmän käyttöönoton jälkeiseen aikaan, ja ne olivat pääasiassa automaatioihin liittyviä epäloogisuuksia, jotka oli helppo korjata. Järjestelmän ylläpitäminen ei ole vaatinut paljoa aktiivista työtä ja se

on ollut edullista, mutta kuten aikaisempi tutkimus on osoittanut, nämä työt kasaantuvat herkästi yhdelle henkilölle (Bannon ja muut, 2007, s. 339). Zigbee-älylaitteiden paristot kestävät tyypillisesti pitkään, mutta kun laitteita on kymmeniä, joutuu myös pariston vaihtoja tekemään aina ajoittain. Paristojen vaihto on yleisin epäsäännöllisesti tehtävä ylläpitotoimi. Sitä on helpotettu hankkimalla ladattavia AAA-paristoja, joten paristot eivät lopu kesken. Toinen jatkuvasti toistuva ylläpitotoimi on laitteiden ja ohjelmistojen päivittäminen. Päivitysten suhteen on haettava kompromissi ylläpidon helppouden ja tietoturvan välillä. Mikäli päivityksiä tekee jatkuvasti, säilyy tietoturva parempana, mutta päivittäminen muuttuu työlääksi. Tutkimuksen kohteena olevassa järjestelmässä nämä haasteet on ratkaistu siten, että mahdollisimman moni IoT-laite päivittyy automaattisesti. Home Assistantiin ja Windows-käyttöjärjestelmään liittyvät päivitykset tehdään manuaalisesti noin kuukauden välein, jotta voidaan ensin tarkistaa päivitysten sisältö ja ottaa tarvittavat varmuuskopiot.

Järjestelmän aiheuttamat kustannukset ovat olleet suunnitteluvaiheessa arvioidulla tasolla. Vaikeasti ennakoitavia piilokustannuksia kuitenkin syntyy herkästi juuri paristojen vaihdoista, palaneista polttimoista tai pienistä kuukausimaksuista, joita moni palvelu saattaa veloittaa. Myös ylläpitotoimiin käytetylle ajalle voi laskea jonkin arvon, joka on myös järjestelmän yksi kustannus.

5.5 Järjestelmän toteutus ja vaatimusten täytyminen

Tässä alaluvussa arvioidaan järjestelmän tuottamia tuloksia ja vastataan luvussa 1 esitettyihin tutkimuskysymyksiin. Ensimmäisen tutkimuskysymyksen osalta tärkeimmiksi suunnittelussa ja toteutuksessa huomioitaviksi seikoiksi nousivat järjestelmälle asetetut kolme vaatimusta: yhteentoimivuus, käyttökokemus sekä ylläpidettävyys ja toimintavarmuus. Järjestelmän kontekstitietoisuus, käyttäjänäkökulman huomioiminen jokaisessa projektin vaiheessa sekä kriittisten toimintojen vikasetoisuus ja vikatilanteista palautumisen varmistaminen ovat tämän projektin havaintojen perusteella tärkeimmät huomioitavat asiat. Toiseen tutkimuskysymykseen vastaa Home Assistant, joka osoittautui luotettavaksi ja monipuoliseksi hallinta-alustaksi eri valmistajien laitteiden

integroimiseen varmistuen myös tulevaisuuden teknologioille, kuten Thread ja Matter. Kolmanteen tutkimuskysymykseen vastaavat alaluvussa 5.4 esitellyt mitatut säästöt sähkön kustannuksissa, automaatioiden tuoma arjen sujuvoittaminen sekä valvontajärjestelmän tuoma turvallisuuden lisääntyminen. Seuraavassa arvioidaan tarkemmin, miten nämä vaatimukset toteutuivat ja miten koetut haasteet suhteutuvat aiemmassa tutkimuksessa tunnistettuihin ongelmiin.

Yhteentoimivuuden osalta vaatimus täyttyi selkeästi. Järjestelmä yhdistää onnistuneesti useita eri valmistajien Zigbee- ja Wi-Fi-laitteita sekä Modbus-protokollaa hyödyntävän lämmitysjärjestelmän yhdeksi kokonaisuudeksi. Tulevaisuuden teknologioihin on myös varauduttu siten, että nykyisillä laitteilla ja Home Assistant -järjestelmällä voidaan hyödyntää myös Thread- ja Matter-teknologioita. Brush ja muut (2011, s. 6) tunnistivat, että eri ekosysteemeistä peräisin olevien laitteiden integroiminen on yksi suurimmista kotiautomaatioon liittyvistä haasteista, ja tässä järjestelmässä käytetty Home Assistant -ohjelmisto ratkaisee tämän ongelman laajan integraatiotuen ansiosta. Käyttökokemuksen osalta vaatimus täyttyi pääosin. Järjestelmän toiminta on lähes näkymätöntä: perustoiminnot kuten valaistus ja turvajärjestelmä toimivat myös ilman sovellusta käyttäen tavallisia valokatkaisijoita tai kaukosäätimiä. Hargreaves ja muut (2018, s. 128–129, 137) toteavat, että käyttäjänäkökulma jää älykotijärjestelmissä usein liian vähälle huomiolle. Tässä projektissa käyttäjänäkökulma huomioitiin alusta asti suunnitteleamalla järjestelmä siten, että sen käyttö ei vaadi teknistä osaamista. Käyttöönoton yhteydessä havaittiin joitakin automaatioihin liittyviä epäloogisuuksia, jotka korjattiin nopeasti. He ja muut (2019, s. 152–154) tunnistivat tämän haasteen ja esittivät ratkaisuksi automaatioiden testaamista ennen käyttöönottoa. Tämä on havainto huomioitu seuraavassa alaluvussa esiteltävässä metamallissa. Ylläpidettävyyden ja toimintavarmuuden osalta vaatimukset täyttivät myös hyvin. Järjestelmä on toiminut vakaasti sekä palautunut useista sähkökatkoksista, ja sitä on voitu hallita etäyhteydellä eri puolilta maailmaa. He ja muut (2019, s. 152–153) tunnistivat vikatilanteista palautumisen yhdeksi yleisimmistä kotiautomaation haasteista. Tässä järjestelmässä tämä seikka huomioitiin siten, että tärkeiden automaatioiden rakenne on suunniteltu

siten, että ne osaavat jatkaa toimintaa myös katkoksen jälkeen. Lisäksi tietokone, joka pyörittää Home Assistant -ohjelmistoa, käynnistyy itsestään uudestaan ja käynnistää tarvittavat palvelut sähkökatkon jälkeen. Ylläpito on vaatinut vain vähän aktiivista työtä, mutta Bannonin ja muiden (2007, s. 339) havaitsema ylläpitotyön kasautuminen yhdelle henkilölle toteutui myös tässä järjestelmässä. Tämä on haaste, jota ei pystytty tässä tutkimuksessa ratkaisemaan. Brushin ja muiden (2011, s. 9) tunnistama haaste koskien älykotijärjestelmien korkeita kustannuksia ratkottiin tässä projektissa siten, että järjestelmä toteutettiin edullisilla ja laajasti saatavilla olevilla kuluttajille tarkoitetuilla laitteilla. Myös järjestelmän ylläpitokustannukset ovat pysyneet alhaisina. Järjestelmän tuottamat, taulukossa 3 esitellyt säästöt energiakuluissa myös osaltaan auttavat kattamaan järjestelmästä aiheutuvia kuluja. Tietoturvahuolet, jotka Jacobsson ja muut (2016) tunnistivat merkittäväksi riskitekijäksi, pyrittiin huomioimaan valitsemalla paikallisesti hallinnoitu järjestelmä, jonka etäkäyttö toteutettiin VPN-pohjaisella ratkaisulla pilvipalvelun sijaan. Kokonaisuutta tarkasteltaessa voidaan todeta järjestelmän täyttäneen hyvin sille asetetut vaatimukset ja osoittaneen sen, että aiemmassa tutkimuksessa tunnistettuja haasteita on mahdollista ratkaista tai ainakin merkittävästi vähentää hyvällä suunnittelulla. Seuraavassa alaluvussa esiteltävä metamalli perustuu juuri tässä projektissa havaittuihin toimiviin käytäntöihin aiemman kirjallisuuden havaintojen lisäksi.

5.6 Metamalli kotiautomaatiojärjestelmän suunnittelun ja toteutuksen tueksi

Tämä metamalli kotiautomaatiojärjestelmän suunnittelusta, rakentamisesta, käyttöönotosta ja ylläpitämisestä on koostettu tässä projektissa sekä aikaisemmassa tutkimuksessa havaittujen seikkojen perusteella. Luvuissa 5.1–5.4 dokumentoitu järjestelmä toimii konkreettisena esimerkkinä siitä, miten metamallin periaatteet ilmenevät käytännössä. Metamalli on kuitenkin tarkoitettu hyödynnettäväksi missä tahansa vastaavassa kotiautomaatioprojektissa. Tämän mallin noudattaminen auttaa välttämään tai vähentämään aikaisemmassa tutkimuksessa havaittuja yleisiä ongelmia ja haasteita sekä varmistamaan järjestelmän ylläpidettävyyden, käytettävyyden ja

täysimääräisen hyödyntämisen. Kuviossa 7 on esiteltyä tiivistettynä eri työvaiheiden keskeisimmät muistettavat asiat, jotka on avattu tarkemmin seuraavissa alaluvuissa.



Kuvio 7. Kotiautomaatiojärjestelmän metamalli: suunnittelu-, rakennus-, käyttöönotto- ja ylläpitovaiheet sekä iteratiivinen rakenne.

5.6.1 Suunnitteluvaihe

Järjestelmälle tulee asettaa selkeät tavoitteet, ja muodostaa sitä kautta eri osa-alueet kattava lista vaatimuksista, joita järjestelmälle asetetaan. Kun tavoitteet ja vaatimukset ovat selvillä, on syytä kartoittaa mitkä eri teknologiat ja laitteet mahdollistavat tavoitteisiin pääsyn siten, että järjestelmä kestää aikaa hyvin ja on mahdollisimman helposti käytettävissä sekä ylläpidettävissä. Laitevalinnoissa tulee huomioida niiden integroitavuus hallintajärjestelmään ja tehdä laitevalinnat siten, että ne mahdollistavat siirtymisen tuleviin standardeihin ilman kalliita uusinvestointeja. On syytä miettiä, miten käyttäjät haluavat tietojansa käsiteltävän, paikallisesti vai pilvessä. Tietoturva on huomioitava suunnittelun jokaisessa vaiheessa (Jacobsson ja muut, 2016). Teknologisia ratkaisuja tehdessä on huomioitava järjestelmän asennuskohteen asettamat vaatimukset ja rajoitukset. Riittävätkö pistorasiat, verkkokaapelointi, ovatko etäisyydet sellaisia, että langattomat yhteydet toimivat. Myös käyttäjien asettamat vaatimukset on huomioitava. Lisäksi on varmistettava, että kaikenikäiset talossa asuvat tai vierailevat

henkilöt pystyvät käyttämään järjestelmää (Balta-Ozkan ja muut, 2013, s. 370; Hargreaves ja muut, 2018, s. 128–129). On myös varmistettava, että tärkeimmät toiminnot toimivat sähkökatkon tai internetyhteyden katkeamisen aikana ja sen jälkeen (He ja muut, 2019, s. 152–153). Automatisoitavia kohteita pohdittaessa tulee arvioida, onko automatisointi taloudellisesti ja ajankäytöllisesti järkevää. Automatisointia ei tule tehdä vain automatisoinnin ilosta. Jos automaation toimimiseen tarvitaan 300 euroa maksava laite, ja se säästää 10 euroa vuodessa, ei laite maksa itseään todennäköisesti takaisin sen käyttöiän aikana (Balta-Ozkan ja muut, 2013, s. 370). Energian käyttöä optimoidessa on syytä keskittyä merkittäviin sähkökuormiin. Omakotitalossa niitä ovat lämmitys, ilmanvaihto ja käyttövesi ja esimerkiksi sähköauton lataus. Rivitalossa merkittäviä kuormia voivat olla sähkökäyttöinen lämmitys, huoneistokohtainen lämminvesivaraaja ja kylpyhuoneen mukavuuslämmitys. Kerrostaloasunnossa säästöpotentiaali on pienin, ja tasaista kuormaa aiheuttavat lähinnä kylmälaitteet ja muu elektroniikka, valaistus sekä mahdollinen kylpyhuoneen mukavuuslämmitys (Turku Energia, 2026). Automaatioita voi tehdä myös mukavuus- tai turvallisuussyistä, jolloin kustannus on helpommin perusteltavissa asuinmukavuuden parantumisella tai lisääntyneenä turvallisuudentunteena. Samoja laitteita kannattaa hyödyntää mahdollisimman monessa eri automaatiossa. Kannattaa myös varautua tilanteeseen, jossa älykotijärjestelmää ei enää haluta käyttää. Etukäteen on syytä miettiä, toimivatko kaikki kodin perustoiminnot, jos järjestelmän käytöstä luovutaan (Brush ja muut, 2011, s. 6).

5.6.2 Rakennusvaihe

Kun teknologiset valinnat ja infrastruktuuria koskevat vaatimukset on määritelty suunnitteluvaiheessa, on aika siirtyä järjestelmän fyysiseen toteuttamiseen. Rakennusvaiheessa havaitaan todennäköisesti, että osa suunnitteluvaiheessa tehdyistä ratkaisuista ei ole toimivia käytännössä. On normaalia, että järjestelmää rakentaessa tulee useita iteraatioita. Kun näin käy, asennus tulee toteuttaa siten kuin se on rakennusvaiheessa tehtyjen havaintojen perusteella järkevää, ja päivittää tarvittaessa aikaisempaa dokumentaatiota. Rakennusvaiheessa on syytä pohtia sitä, miten voidaan

helpottaa tulevaa ylläpitotyötä ja vian selvittelyä. Laitteet kannattaa asentaa mahdollisuuksien mukaan siten, että niihin pääsee myöhemmin helposti käsiksi. On myös huolehdittava, että laitteissa ja sähkökaapeissa on selkeät merkinnät siitä, mitä mikäkin laite tekee ja mitä eri käyttötilat ovat. Valokuvia kannattaa ottaa johtovedoista, kaapelinsuojaputkista sekä paikoista, joita on myöhemmin vaikea nähdä. Nämä kuvat voivat auttaa myöhemmin, jos pihalla joudutaan kaivamaan, tai jos esimerkiksi sisäseiniin porataan reikiä. Laitteiden pakkauksista on syytä kuvata tai kirjata tiedot ylös, jotta myöhemmin on helpompi selvittää laitteen tarkka mallinumero. Laitteiden kuitit ja takuutodistukset on syytä säilyttää vikatapauksien varalta, tai jos huomataan, että jokin hankittu laite jää tarpeettomaksi ja pitää palauttaa.

5.6.3 Käyttöönotto

Kun järjestelmää otetaan käyttöön, on tärkeää huolehtia siitä, että kaikki asukkaat saavat riittävät ja oikeatasoiset käyttöoikeudet järjestelmään. Lapsille ei esimerkiksi ole välttämättä tarpeellista antaa oikeuksia tehdä järjestelmään päivityksiä tai muuttaa automaatioita. On tärkeää pitää huoli siitä, että järjestelmä on muiden asukkaiden käytettävissä myös silloin, kun pääkäyttäjä ei ole paikalla. Järjestelmään kuuluvat älylaitteet tulee nimetä siten, että nimestä käy ilmi vähintään laitteen käyttötarkoitus ja sijainti. Myös automaatiot on nimettävä selkeästi, jotta niiden tarkoitus on helppo ymmärtää myöhemmin. Automaatiot kannattaa jakaa eri kategorioihin, kuten esimerkiksi sisävalaistus, ulkovalaistus, talotekniikka jne. Automaatioita tehdessä kannattaa miettiä, miten ne kestävät erilaiset vikatilanteet, kuten sähköjen katkeamisen tai internetyhteyden puuttumisen. Lisäksi on pohdittava sitä, mitä erilaisia käyttötapoja talon asukkailla on. Luodun automaation toimivuus on syytä testata heti. Myös talon muita asukkaita kannattaa pyytää testaamaan automaatio (He ja muut, 2019, s. 152). Kun automaatioita on kymmeniä tai satoja, voi olla jälkikäteen vaikea hahmottaa mistä epätoivottu toiminta johtuu. Tärkeimmille toiminnoille on aina jätettävä sellainen käyttömahdollisuus, joka ei vaadi älykotijärjestelmän toimimista (He ja muut, 2019, s. 152–153; Wang ja muut, 2022).

5.6.4 Ylläpito

Järjestelmään kuuluvien laitteiden ja ohjelmistojen säännöllisestä päivittämisestä sekä varmuuskopioinnista on huolehdittava. Ylläpito on helpompaa, jos edellä mainitut asiat tapahtuvat automaattisesti, mutta se lisää riskiä ongelmille. Automaattisesti tehty päivitys voi jäädä jumiin tai tapahtua ajankohtana, jolloin järjestelmän odotetaan toimivan normaalisti. Järjestelmää päivitettäessä tai muutettaessa on muistettava päivittää myös dokumentaatio. Kotiautomaatiojärjestelmän rakentaminen on jatkuva prosessi, jossa iteraatioita tulee useita. Ylläpitotoimet tulisi ajoittaa sellaisiin ajankohtiin, jotka eivät häiritse talon arkea (Bannon ja muut, 2007, s. 331, 339). Järjestelmään ei tule tehdä myöskään isoja muutoksia tai ohjelmistopäivityksiä esimerkiksi ennen pitkää poissaoloa. Ohjelmistopäivityksiä ei tule asentaa heti, kun ne julkaistaan, vaan on syytä odottaa, jotta mahdolliset havaitsematta jääneet viat löydetään ja korjataan. Lämmityskaudella esimerkiksi talon pääasiallisen lämmönlähteen päivittäminen voi olla riskialtista, koska aina on mahdollista, että päivitysprosessi menee pieleen. Mikäli järjestelmään kuuluu paristokäyttöisiä laitteita, varaparistoja tai valmiiksi ladattuja akkuparistoja kannattaa pitää kotona valmiina. Kannattaa myös luoda automaatioita, jotka hälyttävät, mikäli laitteen paristo on käymässä vähiin tai jos laite putoaa verkosta pidemmäksi aikaa. Säännöllisistä ylläpito- ja huoltotoimenpiteistä on syytä tehdä lista, jotta niiden suorittaminen on nopeampaa, ja onnistuu myös tarvittaessa muulta kuin pääkäyttäjältä.

6 Johtopäätökset

Tämän tutkielman tulokset osoittavat, että eri valmistajien laitteita ja teknologioita yhdistävän kotiautomaatiojärjestelmän rakentaminen on mahdollista tehdä kuluttajakäyttöön tarkoitetuilla laajasti saatavilla olevilla ja kohtuuhintaisilla laitteilla. Tämä haastaa Brushin ja muiden (2011, s. 9) tunnistaman korkeiden kustannusten asettaman esteen kotiautomaatiojärjestelmien yleistymiselle. Järjestelmä on mahdollista toteuttaa siten, että se huomioi kaikkien käyttäjien tarpeet ja pysyy hyvin laajennettavissa ja ylläpidettävissä.

Tutkimuskysymyksiin saatiin kattavasti vastauksia. Ensimmäiseen tutkimuskysymykseen liittyen keskeisinä havaintoina voidaan pitää sitä, että järjestelmä on suunniteltava ja dokumentoitava hyvin. Talon asukkaiden vaatimukset on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa, ja kaikille kriittisille toiminnoille on mietittävä varakäyttömahdollisuus. Järjestelmän palautuminen vikatilanteista pitää myös suunnitella hyvin. Tämä havainto on linjassa Hen ja muiden (2019, s. 152–153) kanssa, joiden mukaan kotiautomaatiojärjestelmien palautuminen vikatilanteista on yksi yleisimmistä järjestelmiä koskevista haasteista. Tämän kaltaisen järjestelmän suunnittelu lähtee helposti teknisistä näkökulmista, mutta tämän tutkimuksen perusteella käyttäjänäkökulma on vähintään yhtä tärkeä ja tulisi huomioida jokaisessa vaiheessa. Hargreavesin ja muiden (2018, s. 128–129) tutkimus älykotitalouksissa vahvistaa tämän, sillä he havaitsivat käyttäjänäkökulman jäävän usein liian vähälle huomiolle älykotijärjestelmää suunniteltaessa. Toinen tutkimuskysymys käsittelee laitteiden integroimista yhdeksi toimivaksi ja ylläpidettäväksi kokonaisuudeksi. Eri valmistajien ja eri tekniikkaa käyttävien laitteiden yhteistoiminnan mahdollistamiseksi tarvitaan alusta, joka osaa keskustella kaikkien laitteiden kanssa. Phanin ja Kimin (2020) sekä Setzin ja muiden (2021) havaintojen mukaan yhtenäisen hallinta-alustan rooli on ratkaiseva eri ekosysteemien yhteen sovittamisessa. Tässä tutkielmassa esitelty avoimen lähdekoodin Home Assistant -sovellus on yksi lukuisista tähän tarkoitukseen käytetyistä sovelluksista. Monen laitevalmistajan laitteilla on mahdollisuus tehdä laitekohtaisia automaatioita, mutta ne eivät mahdollista erimerkkisten laitteiden välisiä automaatioita. Jotta

energiankäytön optimointi, asuinmukavuus ja turvallisuus saadaan maksimoitua, tulee tärkeimpien laitteiden pystyä keskustelemaan keskenään ja hyödyntämään dataa mahdollisimman monesta eri sensorista. Laitteiden keskinäinen yhteentoimivuus on tärkeää sille, että järjestelmästä tulee kontekstittietoinen, mikä on tämän tutkielman tulosten perusteella olennainen ominaisuus älykodissa (Perera ja muut, 2014, s. 414–423). Kolmas tutkimuskysymys käsittelee järjestelmällä saavutettavia hyötyjä. Tämän tutkimuksen perusteella hyvin toteutetulla järjestelmällä on mahdollista optimoida energiankäyttöä, lisätä asumismukavuutta ja turvallisuutta. Sovacool ja Furszyfer Del Rio (2020, s. 1–3) tunnistivat samat osa-alueet keskeisiksi tekijöiksi älykotien yleistymiselle Euroopassa, ja tämän tutkimuksen havainnot vahvistavat näiden hyötyjen olevan saavutettavissa yksittäisessä kotitaloudessa. Jacobsson ja muut (2016) korostivat tietoturvariskien merkitystä älykotijärjestelmissä, ja tässä tutkielmassa nämä riskit pyrittiin minimoimaan valitsemalla paikallisesti hallinnoitu järjestelmä, jonka etäkäyttö perustuu VPN-pohjaiseen ratkaisuun. Tutkielman tuloksissa on esitelty analyysi toteutetusta järjestelmästä, ja osoitettu, että kotitalouskäyttöön tarkoitetuilla laitteilla ja ohjelmistoilla on mahdollista saavuttaa monimutkaisiakin automaatioita siten, että järjestelmä pysyy hyvin ylläpidettävänä ja laajennettavana.

Tutkimusta voidaan arvioida luvussa 4.3 esitettyjen Hevnerin ja muiden (2004) seitsemän suosituksen avulla. Tutkimus täyttää suositukset 1, 2, 5, 6 ja 7, sillä se tuotti toimivan artefaktin, käsittelee relevanttia ongelmaa, perustuu vakiintuneisiin menetelmiin, se rakennettiin iteratiivisesti ja on esitelty sekä akateemiselle että käytännön yleisölle. Suositus 4 täyttyy metamallin osalta, sillä se yhdistää aiemman tutkimuksen havainnot ja tämän projektin kokemukset yleistettäväksi malliksi, jota ei aiemmassa kirjallisuudessa ole esitetty vastaavassa muodossa. Suositus 3 täyttyy vain osittain, sillä tulokset kohdistuvat vain tähän yhteen järjestelmään. Järjestelmää on kuitenkin arvioitu kuvailevaa menetelmää käyttäen sen todellisessa käyttöympäristössä, esittäen mitattuja säästöjä ja käytännön ongelmia, joita sillä on ratkaistu. Tutkielmassa esitelty metamalli perustuu tämän yhden projektin havaintoihin ja aikaisempaan tutkimuskirjallisuuteen. Vaikka mallin suositukset perustuvatkin laajaan tutkittuun

tietoon ja todellisiin havaintoihin, sitä ei ole testattu tai validoitu muissa kohteissa. Yksittäiseen projektiin perustuvan mallin yleistettävyyden rajallisuus on selvä, ja se ei välttämättä täysin sovellu kaikkiin erilaisiin asumismuotoihin, rakennuksiin tai teknologisiin lähtötilanteisiin. Esimerkiksi vanhaan rakennukseen jälkikäteen asennettava järjestelmä voi kärsiä rajoitteista, joita tämä uudiskohteeseen rakennettu järjestelmä ei kohdanna. Jatkotutkimusaiheena tutkielmassa esiteltyä metamallia voisi soveltaa ja arvioida useammassa erilaisissa kohteissa, jolloin mallia voisi täydentää ja sen yleistettävyyttä vahvistaa. Tutkimuksessa tehtyjä havaintoja ja niiden perusteella laadittua metamallia voi kuitenkin hyödyntää missä tahansa kotiautomaatiota käyttävässä kohteessa soveltuvien osien. Tähän tutkielmaan tutustumalla voi saada neuvoja huomioon otettavista asioista suunnittelu- ja rakennusvaiheissa, sekä välttää virheitä järjestelmää käyttöönottaessa ja ylläpidettäessä, oli kohde mikä tahansa. Kotiautomaatioon liittyvä tekniikka on jatkuvassa kehityksessä. Matter-standardin yleistyminen ja tekoälyteknologian nopea kehitys tulevat todennäköisesti vaikuttamaan merkittävästi älykotien yleistymiseen ja tässä tutkielmassa esitettyjen ratkaisujen kehittämiseen.

Lähteet

- Ait Mouha, R. (2021). Internet of Things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 9, 77–101. <https://doi.org/10.4236/jdaip.2021.92006>
- Airam. (2026). *Airam SmartHome – Frequently Asked Questions*. Noudettu 18.4.2026 osoitteesta <https://airam.fi/en/articles/airam-smarthome-frequently-asked-questions/>
- Amazon. (2026a). *What is Alexa?* Noudettu 5.3.2026 osoitteesta <https://developer.amazon.com/en-US/alexa>
- Amazon. (2026b). *Echo and Alexa devices*. Noudettu 5.3.2026 osoitteesta <https://www.amazon.co.uk/Echo-and-Alexa-Devices/b?ie=UTF8&node=10983873031>
- Apple. (2026). *Home App*. Noudettu 5.3.2026 osoitteesta <https://www.apple.com/home-app/>
- Aqara. (2026). *Aqara Smart Space Products*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://www.aqara.com/en/product>
- Atzori, L., Iera, A. & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*, Volume 54, Issue 15, 2787–2805. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>
- Balta-Ozkan, N., Davidson, R., Bicket, M. & Whitmarsh, L. (2013). Social barriers to the adoption of smart homes. *Energy Policy* 63, 363–374. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.08.043>
- Bannon, L., Wagner, I., Gutwin, C., Harper, R., Schmidt, K., Tolmie, P., Crabtree, A., Rodden, T., Greenhalgh, C. & Benford, S. (2007). Making the home network at home: Digital housekeeping. *ECSCW'07: Proceedings of the Tenth European Conference on Computer Supported Cooperative Work*. https://doi.org/10.1007/978-1-84800-031-5_18
- Baskerville, R. (1999). Investigating Information Systems with Action Research. *Communications of the Association for Information Systems*, 2(19). <https://doi.org/10.17705/1CAIS.00219>

- Brush, A., Lee, B., Mahajan, R., Agarwal, S., Saroiu, S. & Dixon, C. (2011). Home Automation in the Wild: Challenges and Opportunities. *CHI '11: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979249>
- Consilium. (2026). *How did the EU respond to the 2022 energy crisis?* Noudettu 18.4.2026 osoitteesta <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/how-did-the-eu-respond-to-the-2022-energy-crisis/>
- Cozify. (2026). *IoT-alusta uuden sukupolven palveluillesi*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://www.cozify.fi>
- Domoticz. (2026). *Open Source Home Automation – Control Your Smart Home*. Noudettu 10.3.2026 osoitteesta <https://www.domoticz.com/>
- Ezugwu, A., Taiwo, O., Egwuche, O., Abualigah, L. & Van Der Merwe, A. (2025). Smart Homes of the Future. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*. <https://doi.org/10.1002/ett.70041>
- Fingrid Lehti. (2022). *Näin vältät aamun ja alkuillan sähköruuhkan*. Noudettu 5.4.2026 osoitteesta <https://www.fingridlehti.fi/nain-valtat-aamun-ja-alkuillan-sahkoruuhkan/#:~:text=N%C3%A4in%20v%C3%A4lt%C3%A4t%20aamun%20ja%20alkuillan%20s%C3%A4hk%C3%B6ruuhkan%20%2D%20Fingrid%2DLehti>
- Fernandes, E., Jung, J. & Prakash, A. (2016). Security Analysis of Emerging Smart Home Applications. *IEEE Symposium on Security and Privacy*, 636–654. <https://doi.org/10.1109/SP.2016.44>
- GitHub. (2026). *The top open source projects by contributors*. Noudettu 10.3.2026 osoitteesta <https://github.blog/news-insights/octoverse/octoverse-a-new-developer-joins-github-every-second-as-ai-leads-typescript-to-1/#the-top-open-source-projects-by-contributors>
- Google. (2026a). *About Google Home*. Noudettu 5.3.2026 osoitteesta <https://home.google.com/about-google-home/>
- Google. (2026b). *Hubs for Google Home Wi-Fi and Thread*. Noudettu 5.3.2026 osoitteesta <https://home.google.com/explore-devices/#hubs-for-google-home-wifi-and-thread/>

- Google. (2026c). *Gemini 3 Flash* (14.1.2026) [laaja kielimalli]. Noudettu 13.4.2026 osoitteesta <https://gemini.google.com/app>
- Gregor, S. & Hevner, A. (2013). Positioning and presenting Design Science Research for maximum impact. *MIS Quarterly*, 37(2), 337–355. <http://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37.2.01>
- Hargreaves, T., Wilson, C. & Hauxwell-Baldwin, R. (2018). Learning to live in a smart home. *Building Research & Information*, 46(1), 127–139. <https://doi.org/10.1080/09613218.2017.1286882>
- Harper, R. (2003). *Inside the Smart Home: Ideas, Possibilities and Methods*. Springer. https://www.doi.org/10.1007/1-85233-854-7_7
- He, W., Martinez, J., Padhi, R., Zhang, L. & Ur, B. (2019). When Smart Devices Are Stupid: Negative Experiences Using Home Smart Devices. *IEEE Security and Privacy Workshops*, 150–155. <http://doi.org/10.1109/SPW.2019.00036>
- Helen. (2025). *Tietoa varttihinnoitteluun siirtymisestä*. Noudettu 7.4.2026 osoitteesta <https://www.helen.fi/sahko/tietoa-varttihinnoitteluun-siirtymisesta>
- Hevner, A., March, S., Park, J. & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. Noudettu 12.3.2026 osoitteesta https://www.researchgate.net/publication/201168946_Design_Science_in_Information_Systems_Research
- Home Assistant. (2026a). *Installation*. Noudettu 10.3.2026 osoitteesta <https://www.home-assistant.io/installation/>
- Home Assistant. (2026b). *Integrations*. Noudettu 10.3.2026 osoitteesta <https://www.home-assistant.io/integrations?brands=featured>
- Home Assistant. (2026c). *Automating Home Assistant*. Noudettu 10.3.2026 osoitteesta <https://www.home-assistant.io/docs/automation>
- Home Assistant. (2026d). *Dashboards*. Noudettu 10.3.2026 osoitteesta <https://www.home-assistant.io/dashboards>
- Home Assistant. (2026e). *Awaken your home*. Noudettu 10.3.2026 osoitteesta <https://www.home-assistant.io>

- Home Assistant. (2026f). *Aqara integration*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://www.home-assistant.io/integrations/aqara/>
- Homey. (2026a). *The world's most advanced smart home platform*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://homey.app/en-us/>
- Homey. (2026b). *Homey Pro*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://homey.app/en-us/homey-pro/>
- Ikea. (2026). *IKEA launches new smart home range with 21 Matter-compatible products*. Noudettu 4.3.2026 osoitteesta <https://www.ikea.com/global/en/newsroom/retail/the-new-smart-home-from-ikea-matter-compatible-251106/>
- Jacobsson, A., Boldt, M. & Carlsson, B. (2016). A risk analysis of a smart home automation system. *Future Generation Computer Systems*. <http://doi.org/10.1016/j.future.2015.09.003>
- Katre, S. & Rojatkar, D. (2017). Home Automation: Past, present and future. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 04 (10). Noudettu 15.3.2026 osoitteesta <https://www.irjet.net/archives/V4/i10/IRJET-V4I1061.pdf>
- Kasubi, J. & Huchaiah, M. (2021). A review of Internet of Things for Smart Homes Environment: Applications and Challenges. *International Journal of Academic Multidisciplinary Research*, 5(11), 1–6. Noudettu 15.3.2026 osoitteesta <http://ijeais.org/wp-content/uploads/2021/11/IJAMR211101.pdf>
- Luo, Y. & Wang, J. (2021). Technical Introduction of Wireless Mesh Network. *International Journal of Advanced Network, Monitoring and Controls*, 06(02), 73–78. <http://doi.org/10.21307/ijanmc-2021-019>
- Madadi-Barough, S., Ruiz-Blanco, P., Lin, J. & Gomez, C. (2024). Matter: IoT Interoperability for Smart Homes. *IEEE Communications Magazine*, 64(4). <http://doi.org/10.1109/MCOM.001.2400274>
- Matter Alpha. (2026) *Philips Hue introduced dual-protocol lightbulb and new bridge*. Noudettu 17.3.2026 osoitteesta <https://www.matteralpha.com/news/philips-hue-introduced-dual-protocol-lightbulb-and-new-bridge>

- Mocrii, D., Chen, Y. & Musilek, P. (2018). IoT-based smart homes: A review of system architecture, software, communications, privacy and security. *Internet of Things*, 1–2, 81–98. <http://doi.org/10.1016/j.iot.2018.08.009>
- Modbus Organization. (2026). *What is Modbus?* Noudettu 7.4.2026 osoitteesta <https://www.modbus.org/faq>
- Nabu Casa (2026). *Home Assistant Cloud: Remote access - Deep dive*. Noudettu 4.3.2026 osoitteesta <https://support.nabucasa.com/hc/en-us/articles/25619268678557-Remote-access-Deep-dive>
- Nedis. (2026). *Nedis SmartLife App*. Noudettu 18.4.2026 osoitteesta <https://nedis.com/en-us/smartlife>
- Omavahti. (2026). *TUYA Smart Älykoti Ekosysteemin Laitteet*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://www.omavahti.fi/tuotteet/laitevalmistajat/tuya/>
- OpenHAB. (2026). *A vendor and technology agnostic opensource automation software for your home*. Noudettu 10.3.2026 osoitteesta <https://www.openhab.org/>
- Orfanos, V., Kaminaris, S., Papageorgas, P., Piromalis, D. & Kandris, D. (2023). A Comprehensive Review of IoT Networking Technologies for Smart Home Automation Applications. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 12(2). <http://doi.org/10.3390/jsan12020030>
- Parnas, D. & Clements, P. (1986). A rational design process: How and why to fake it.
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of Management Information Systems*, 24(3), 45–77. <http://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Perera, C., Zaslavsky, A., Christen, P. & Georgakopoulos, D. (2014). Context Aware Computing for The Internet of Things: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 16(1), 414–454. <http://doi.org/10.1109/SURV.2013.042313.00197>
- Phan, L. & Kim, T. (2020). Breaking Down the Compatibility Problem in Smart Homes: A Dynamically Updatable Gateway Platform. *Sensors*, 20(10). <https://doi.org/10.3390/s20102783>

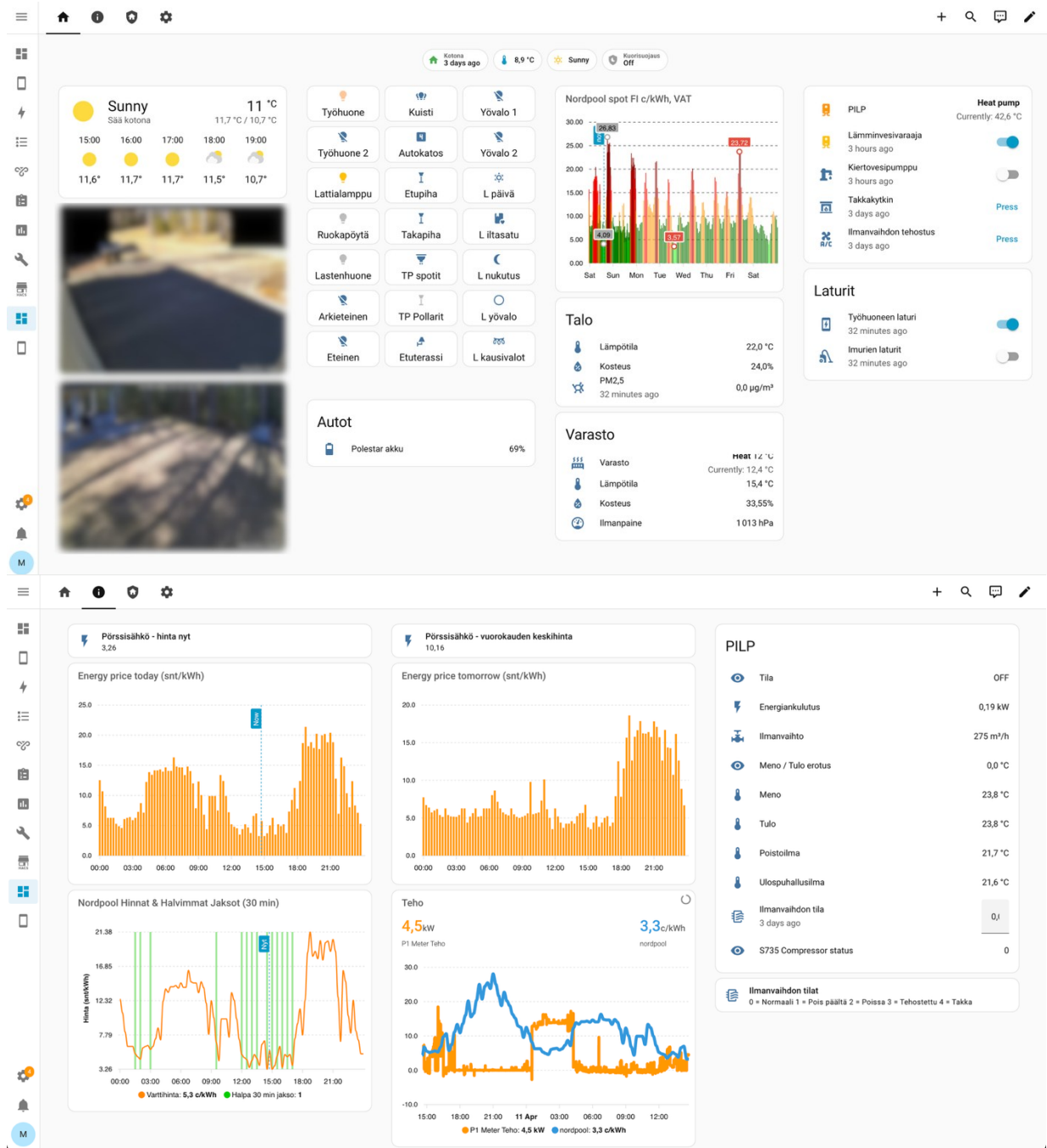
- Philips. (2026a). *Älykodin tuotteet*. Noudettu 17.3.2026 osoitteesta <https://www.philips-hue.com/fi-fi/products/all-products>
- Philips. (2026b). *Näin Hue Toimii*. Noudettu 17.3.2026 osoitteesta <https://www.philips-hue.com/fi-fi/explore-hue/how-it-works>
- Philips. (2026c). *Philips Hue ja Matter*. Noudettu 17.3.2026 osoitteesta <https://www.philips-hue.com/fi-fi/explore-hue/works-with/matter>
- Risteska Stojkoska, B. & Trivodaliev, K. (2017). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1454–1464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.006>
- Rose, K., Eldridge, S. & Chapin, L. (2015). The Internet of Things: An overview understanding the issues and challenges of a more connected world. Noudettu 5.3.2026 osoitteesta <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2017/08/ISOC-IoT-Overview-20151221-en.pdf>
- Samsung. (2026a). *SmartThings Edge Provides Reliable, Faster Smart Home Experiences*. Noudettu 5.3.2026 osoitteesta <https://developer.samsung.com/smartthings/blog/en/2021/10/29/smartthings-edge-provides-reliable-faster-smart-home-experiences>
- Samsung. (2026b). *SmartThings ja AI Home*. Noudettu 5.3.2026 osoitteesta <https://www.samsung.com/fi/smartthings/>
- Setz, B., Graef, S., Ivanova, D., Tiessen, A. & Aiello, M. (2021). A Comparison of Open-Source Home Automation Systems. *IEEE Access*, 9. <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3136025>
- Shelly. (2026a). *Collections*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://www.shelly.com/collections/>
- Shelly. (2026b). *Shelly Smart Control*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://www.shelly.com/pages/shelly-app>
- Shelly. (2026c). *Components and Services*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://shelly-api-docs.shelly.cloud/gen2/ComponentsAndServices/HTTP>

- Singh, M. & Dhablia, A. (2023). Smart Home Automation using IoT: Prototyping and Integration of Home Devices. *Research Journal of Computer Systems and Engineering*, 4(2), 130–143.
- SolarPower Europe. (2024). *European Market Outlook for Battery Storage 2024-2028*. Noudettu 18.4.2026 osoitteesta <https://www.solarpowereurope.org/insights/outlooks/european-market-outlook-for-battery-storage-2024-2028>
- Sonnenberg, C. & vom Brocke, J. (2012). Evaluations in the Science of the Artificial – Reconsidering the Build-Evaluate Pattern in Design Science Research. Teoksessa Peffers, K., Rothenberger, M. & Kuechler, B. (toim.) *Design Science Research in Information Systems. Advances in Theory and Practice* (s. 381–397). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29863-9_28
- Sonoff. (2026a). *Explore the Full Range of SONOFF Smart Home Devices*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://sonoff.tech/en-eu/collections>
- Sonoff. (2026b). *SONOFF MINI Extreme Matter Over WiFi Dimmer Switch*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://sonoff.tech/en-eu/products/sonoff-mini-extreme-matter-over-wifi-dimmer-switch-mini-dim>
- Sovacool, B. & Furszyfer Del Rio, D. (2020). Smart home technologies in Europe: A critical review of concepts, benefits, risks and policies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 120. <http://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109663>
- Tailscale. (2026a). *What is Tailscale?* Noudettu 4.3.2026 osoitteesta <https://tailscale.com/docs/concepts/what-is-tailscale>
- Tailscale. (2026b). *How Tailscale works*. Noudettu 4.3.2026 osoitteesta <https://tailscale.com/blog/how-tailscale-works>
- Turku Energia. (2026). *Paljonko on normaali sähkölasku kuukaudessa?* Noudettu 7.4.2026 osoitteesta <https://www.turkuenergia.fi/valopilkku/paljonko-on-normaali-sahkolasku-kuukaudessa>
- Tuya. (2026). *Matter Overview*. Noudettu 16.3.2026 osoitteesta <https://developer.tuya.com/en/docs/iot/matter-overview?id=Kd5alr0t9wetz>

- Unwala, I., Taqvi, Z. & Lu, J. (2018). Thread: An iot protocol. *IEEE Green Technologies Conference*. <http://doi.org/10.1109/GreenTech.2018.00037>
- Wang, C., Liu, Q., Xing, L., Guan, Q., Yang, C. & Yu, M. (2022). Reliability analysis of smart home sensor systems subject to competing failures. *Reliability Engineering & System Safety*, 221. <http://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108327>
- Wireguard. (2026). *Fast, Modern, Secure VPN Tunnel*. Noudettu 4.3.2026 osoitteesta <https://www.wireguard.com/>
- Woox. (2026). *About us*. Noudettu 18.4.2026 osoitteesta <https://wooxhome.com/about-us-i1>
- Yang, H., Lee, W. & Lee, H. (2018). IoT Smart Home Adoption: The Importance of Proper Level Automation. *Journal of Sensors*. <http://doi.org/10.1155/2018/6464036>
- Yin, R.K. (2018). *Case study research and applications: design and methods* (6th edition). SAGE Publications.

Liitteet

Liite 1. Käyttöliittymä web-selaimessa



Liite 2. Käyttöliittymä mobiilisovelluksessa

