Tampereen yliopisto

Oskari Niskanen

MONIÄÄNINEN KIRJALLISUUSKATSAUS ÄLYKOTIJÄRJESTELMIEN INFRASTRUKTUURISTA

Pro gradu -tutkielma
Informaatioteknologian ja viestinnän tiedekunta
Tarkastajat: David Hästbacka
Mikael Filppula
Kesäkuu 2023

TIIVISTELMÄ

Oskari Niskanen: Moniääninen kirjallisuuskatsaus älykotijärjestelmien infrastruktuurista
Pro gradu -tutkielma
Tampereen yliopisto
Tietojenkäsittelyopin maisteriohjelma
Kesäkuu 2023

Älykotijärjestelmät ovat kasvattaneet suosiotaan merkittävästi lähivuosina, ja kuluttajille on jatkuvasti saatavilla uusia älykotituotteita. Valinta paikallisen ja pilvipohjaisen älykotijärjestelmän väliltä on hankalaa ja käsitys niiden konkreettisista eroista on monille kuluttajille hämärän peitossa. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten paikalliset ja pilvipohjaiset älykotijärjestelmät eroavat toisistaan, jolloin älykotijärjestelmistä kiinnostuneiden tahojen on helpompi hahmottaa niiden piirteet. Tutkimus on toteutettu itsenäisesti Tampereen Yliopistolle.

Tutkimus toteutettiin moniäänisenä kirjallisuuskatsauksena ja siinä analysoitiin yhteensä 51 julkaisua, jotka käsittelivät paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien piirteitä ja eroavaisuuksia. Tutkimusaineiston rajaamiseksi tutkimuksessa huomioitiin vain 2017 tammikuun ja 2023 huhtikuun välillä julkaistu englanninkielinen kirjallisuus. Moniäänisyyden mahdollistamana tutkimusaineisto koostui sekä valkoisesta että harmaasta kirjallisuudesta, jolloin aineistoon sisältyi älykotiharrastajien ja muiden alan asiantuntijoiden käytännön kokemuksia tukemaan havaintoja. Tämä mahdollisti myös sen, että tutkimustulokset olivat käytännönläheisiä, jolloin niistä saatava hyöty on helposti saatavilla. Tutkimusaineiston käsittelyssä käytettiin datasynteesiä, jolla toistuvia teemoja ja pääpiirteitä tutkimuskysymykseen liittyen oli mahdollista havaita monista eri lähteistä. Sen avulla tutkimuksessa havaittiin seitsemän pääpiirrettä liittyen älykotijärjestelmien käyttöönottoon, ohjaukseen, internet-yhteyden puuttumisen vaikutuksiin, kommunikaatioprotokolliin, yksityisyyteen ja tietoturvaan, järjestelmän elinkaareen sekä laiteyhteensopivuuteen. Tutkimusaineisto ryhmiteltiin muodostuneisiin pääpiirteisiin niiden sisällön perusteella. Tämän jälkeen aineistoa analysoitiin pääpiirteittäin ja ilmenneitä havaintoja pohdittiin ja vertailtiin muihin havaintoihin, jonka kautta voitiin lopulta vastata tutkimuskysymykseen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksista.

Tutkimuksen tuloksena todettiin, että paikalliset älykotijärjestelmät vaativat enemmän asiantuntemusta, ovat kalliimpia ottaa käyttöön, ja rajoittavat tiettyjen ominaisuuksien, kuten ääniavustajien käyttöä verrattuna pilvipohjaisiin älykotijärjestelmiin. Toisaalta paikalliset älykotijärjestelmät takaavat paremman yksityisyyden hallinnan ja turvan tietomurtoja vastaan, kun taas pilvipohjaisien älykotijärjestelmien todettiin heikentävän käyttäjien yksityisyyttä ja altistavan älykotijärjestelmän tietoturvaan liittyville riskeille. Lisäksi paikalliset älykotijärjestelmät kestävät internet-yhteyden puuttumisen ja katkokset huomattavasti paremmin kuin pilvipohjaiset älykotijärjestelmät, jotka ovat riippuvaisia kokonaan tai osittain yhteydestään pilvipalveluun.

Avainsanat: älykoti, paikallinen, pilvipohjainen, älykotijärjestelmä, kotiautomaatio

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

ABSTRACT

Oskari Niskanen: Multivocal literature review on smart home system infrastructure
Master's thesis
Tampere University
Master's Programme in Computer Science
June 2023

Smart homes have been significantly increasing in popularity over the last years and countless smart home products are available for customers. Choosing between local or cloud-based smart home systems has proven to be difficult and the actual difference between them is unknown for many customers. The aim of this study was to investigate what differences do local and cloud-based smart home systems have, in order to highlight them for interested parties. The study is conducted independently for Tampere University.

The study was done as a multivocal literature review and a total of 51 publications about local and cloud-based smart home systems were reviewed. As a way of limiting the scope of the research material, only publications written in English and published between January 2017 and April 2023 were taken into account. With the help of multivocality, the research material included both white literature and grey literature, which allowed the study to investigate the observations and experiences of smart home enthusiasts and experts in the field. It also had an impact on the study results, making them more pragmatic. To analyse the research material, data synthesis was used to observe common themes and trends relating to the research question. Consequently, 7 main traits were identified about the differences between local and cloud-based smart home systems. The identified traits were about installation process, expenses, controlling the systems, impact of internet outages, communication protocols, privacy and security, system lifespan and device interoperability. After identifying the main traits, the research material was allocated into the traits based on the contents of the publications. This allowed analysing the main traits further and each publication was investigated from the perspective of the trait until a comprehensive answer to the research question could be given.

The results show that local smart home systems require more expertise, are more expensive to install, and limit the usage of some features such as voice assistants when compared to cloud-based smart home systems. However, local smart home systems guarantee better privacy and security, while cloud-based systems were deemed to lessen the security and privacy of the user. Additionally, local smart home systems withstand internet outages considerably better than cloud-based smart home systems, which are partly or completely dependent on their connection to cloud services.

Keywords: smart home systems, local, cloud-based, home automation, domotics

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

ALKUSANAT

Haluan kiittää lämpimästi perhettäni, erityisesti veljeäni, henkisestä tuesta ja tärkeästä roolista tutkimukseni tekemisessä. Veljeni on ollut arvokas keskustelukumppani ja tuki, jonka ansiosta olen jaksanut pysyä motivoituneena ja saavuttaa tavoitteeni.

Haluan myös kiittää ystävääni Elias Haaralahtea, joka on ollut suureksi avuksi ajatusteni pallottelussa. Hänen kanssaan käydyt keskustelut ovat auttaneet minua selkiyttämään ajatuksiani ja ratkaisemaan erilaisia ongelmia tutkimuksessani.

Ohjaajani David Hästbacka ansaitsee suuret kiitokset tuestaan ja ohjauksestaan, jotka olivat korvaamattoman arvokkaita tutkimukseni aikana. Hänen antamiensa arvokkaiden vinkkien ja neuvojen ansiosta kykenin selviytymään monista haastavista tilanteista ja kehittymään entistä paremmaksi tutkimustyössäni.

Tampereella, 27. kesäkuuta 2023

Oskari Niskanen

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto . . . 1
1.1 Käsitteet . . . 1
1.2 Motivaatio . . . 2
1.3 Rajaukset . . . 2
1.4 Tutkimuskysymys . . . 3
1.5 Tutkimuksen rakenne . . . 3
2. Älykotijärjestelmät . . . 4
2.1 Älykotijärjestelmien taustaa . . . 4
2.2 Toimintaperiaate . . . 5
2.3 Älykotijärjestelmien luokittelu . . . 6
2.3.1 Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät . . . 6
2.3.2 Paikalliset älykotijärjestelmät . . . 8
2.3.3 Hybridiälykotijärjestelmät . . . 9
2.4 Älykotijärjestelmät nykyään . . . 10
2.5 Tutkimuksia älykotijärjestelmistä . . . 11
3. Tutkimusmenetelmä . . . 12
3.1 Moniääninen kirjallisuuskatsaus . . . 12
3.2 Harmaa kirjallisuus . . . 12
3.3 Tarpeellisuuden osoittaminen . . . 14
3.4 Hakumenetelmä . . . 15
3.5 Lähteet ja rajaus . . . 15
3.6 Tieteellisen kirjallisuuden hakumerkkijonot . . . 16
3.7 Tieteellisen kirjallisuuden hakutulosten suodatus . . . 16
3.8 Harmaan kirjallisuuden hakumerkkijonot . . . 17
3.9 Harmaan kirjallisuuden hakutulosten suodatus . . . 18
3.10 Valittu tutkimusaineisto . . . 18
3.11 Tulosten analysointi . . . 19
4. Miten paikalliset älykotijärjestelmät eroavat pilvipohjaisista älykotijärjestelmistä? . . . 21
4.1 Asiantuntemuksen tarve, käyttöönotto ja kustannukset . . . 23
4.2 Älykotijärjestelmän ohjaus . . . 25
4.2.1 Ohjauksen vasteaika . . . 26
4.2.2 Etäohjaus . . . 27
4.2.3 Ääniohjaus . . . 28

4.3 Kestävyys internet-katkoksia vastaan 30
4.4 Standardit ja kommunikaatioprotokollat 32
4.5 Yksityisyys ja tietoturvallisuus 34
4.5.1 Yksityisyys 34
4.5.2 Tietoturvallisuus 36
4.6 Järjestelmän elinkaari ja tuki 38
4.7 Laiteyhteensopivuus 39
5. Tulosten tarkastelu 43
5.1 Päähavainnot tuloksista 43
5.2 Tulosten merkitys 45
5.3 Tutkimusmenetelmän sopivuus 46
5.4 Tutkimuksen luotettavuus 46
5.5 Tutkimuksen rajoitukset 47
5.6 Jatkotutkimushaasteet 47
6. Yhteenveto 49
Lähteet 50

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BLE	Bluetooth Low Energy
IoT	Esineiden internet (engl. Internet of Things)
PaaS	Sovellusalusta palveluna (engl. Platform as a service)
TUNI	Tampereen korkeakouluyhteisö (engl. Tampere Universities)

1. JOHDANTO

Älykotien suosio kasvaa vuosi vuodelta, ja niissä asuvat ihmiset hyötyvät monista eduista, kuten paremmasta asuinmukavuudesta, laitteiden automaattisesta ohjauksesta, helppokäyttöisestä kodin hallinnasta sekä energia- ja kustannussäästöistä. Ne ovat räätälöity asuinkäyttöön, ja niihin kuuluu yleisimmin älytermostaatteja, älyvalaistusta, älylukkoja ja muita laitteita, joita voidaan ohjata esimerkiksi mobiilisovelluksella tai virtuaaliavustajalla. Mielenkiintoinen ajatus älykodeista nousee esille Deschamps-Sonsinon [1] kirjassa, jossa hän pohtii älykotien olevan yksinasuville pyrkimys päästä takaisin lapsuuteen, jossa kaikki asiat hoidettiin heidän puolestaan ja vastuun kantamisen sijaan he pystyivät keskittymään vain elämisestä nauttimiseen. Gram-Hanssen ja Darby [2] toteavat, että älykodin voidaan kuvailla olevan koti, joka on varustettu digitaalisilla havainto- ja viestintälaitteilla, jotka voivat kommunikoida keskenään tarjotakseen erilaisia palveluja, kuten energianhallintaa, turvallisuutta, viihdettä, terveyden seurantaa ja avusteista asumista. Tässä tutkimuksessa käsitellään paikallisia ja pilvipohjaisia älykotijärjestelmiä keskittyen niiden eroavaisuuksiin ja siihen, miten eroavaisuudet näkyvät käytännössä.

1.1 Käsitteet

Älykotien keskiössä ovat älykotilaitteet, jotka perustuvat pääasiassa esineiden internetiin. Nämä laitteet mahdollistavat kodin hallinnan ja monitoroinnin langattomasti. Esineiden internetillä tarkoitetaan yhteenliitettyjen anturien ja laitteiden verkostoa, jotka ovat liitetty internetiin mahdollistaen monia eri sovelluksia.

Älykotijärjestelmä kattaa älykodissa sijaitsevat laitteet ja teknologiat, jotka muodostavat älykodin. Älykotijärjestelmässä älylaitteet kommunikoivat keskenään ja älykotiohjelmiston kanssa käyttäen langattomia kommunikaatioprotokollia. Älykotijärjestelmä voi toimia itsenäisesti, mutta yleensä se hyödyntää älykotialustaa.

Älykotialusta puolestaan on ohjelmistopohjainen alusta, joka tarjoaa rajapinnan älykotijärjestelmän eri laitteille ja toiminnoille. Alustat tarjoavat yleensä keskittimen (engl. smart home hub), joka yhdistää kaikki laitteet ja antaa käyttäjälle mahdollisuuden hallita niitä yhden käyttöliittymän kautta. [3] Älykotijärjestelmän ja älykotialustan suhde toisiinsa on se, että älykotijärjestelmä voi pohjautua tiettyyn älykotialustaan, kun taas älykotialusta puolestaan tarjoaa ohjelmiston ja käyttöliittymän, jonka kautta käyttäjä voi hallita älykoti-

järjestelmää. Useat älykotialustat toimivat Platform-as-a-service (lyh. PaaS) periaatteella, jossa älykotijärjestelmän hallinnointi on ulkoistettu alustan tarjoajan omalle pilvipalvelulle. Esimerkkejä älykotialustoista ovat Samsung SmartThings, Google Home ja Apple HomeKit.

Älykotijärjestelmiä on olemassa erilaisia ja yleisesti niitä voidaan toteuttaa kolmella tavalla, joita ovat pilvipohjainen järjestelmä, paikallinen järjestelmä sekä hybridijärjestelmä. Pilvipohjaisella älykotijärjestelmällä tarkoitetaan sellaista älykotijärjestelmää, joka on yhdistetty älykotialustan tarjoajan pilvipalveluun, ja jota kautta älykotilaitteiden ohjaus ja päätöksenteko tapahtuu. Pilvipohjaiseksi järjestelmäksi voidaan mieltää myös sellaiset järjestelmät, joissa jotkin ydinominaisuudet, kuten automaatiosäännöt ja niiden toiminta, ovat riippuvaisia pilvipalvelusta. Vaihtoehtoisena älykotijärjestelmän toteutustapana on paikallinen älykotijärjestelmä, ja sillä tarkoitetaan sellaista järjestelmää, jossa järjestelmän hallinta tapahtuu kodin sisässä informaation pysyessä kodin sisäverkossa. Tällaisessa järjestelmässä kaikki älykotijärjestelmän ominaisuudet ovat käytettävissä myös ilman internet-yhteyttä, sillä se ei ole riippuvainen pilvipalveluista. Sisäverkolla tarkoitetaan tietokoneiden ja laitteiden tietoliikenneverkostoa, jotka sijaitsevat samassa fyysisessä tilassa, kuten kodissa. Hybridijärjestelmä on yhdistelmä edellä mainittuja järjestelmiä, jossa voi esimerkiksi olla paikallisesti hallinnoitu taustajärjestelmä, mutta järjestelmään on liitetty laitevalmistajan pilvipalveluun yhdistyviä laitteita, kuten virtuaaliassitentteja.

1.2 Motivaatio

Älykodeista kiinnostuneena olen kohdannut useita haasteita, joista merkittävimpinä ovat laitevalmistajien painostus käyttämään heidän omaa ekosysteemiään älykotilaitteiden hallinnassa, käyttäjätietojen mahdollinen vuotaminen kodin ulkopuolelle ja älykotijärjestelmän riippuvuus kolmansien osapuolien palveluista ja internet-yhteydestä. Nämä tekijät tekevät monille käyttäjille älykodit epäsopivaksi vaihtoehdoksi. Olen huomannut, että paikallisesti hallinnoidut älykotijärjestelmät lievittävät näitä haasteita, ja haluan selvittää konkreettisia eroja näiden järjestelmätyyppien välillä sekä mitä hyötyjä ja haittoja käyttäjät voivat odottaa kummankin vaihtoehdon käytöstä.

1.3 Rajaukset

Tutkimus käsittelee kotiautomaatiota ja älykotijärjestelmiä kuluttajien kotitalouksien näkökulmasta, jolloin rakennusautomaatio jää tutkimuksen rajauksen ulkopuolelle. Rakennusautomaatio keskittyy yleensä kaupallisiin tai teollisuusrakennuksiin, kun taas kotiautomaatio keskittyy yksittäisen kuluttajan henkilökohtaisiin asuinkiinteistöihin. Vaikkakin rakennusautomaatio liittyy osittain kotiautomaatioon, on niissä käytössä olevat ekosysteemit ja älylaitteet erilaisia ominaisuuksiltaan ja vaatimuksiltaan verrattuna kuluttajien käyt-

töön tarkoitettuihin älykotilaitteisiin ja -järjestelmiin.

Lisäksi älykotijärjestelmät, joita tässä tutkimuksessa käsitellään, ovat esineiden internetiin perustuvia, jolloin esimerkiksi langallisiin yhteyksiin perustuvat järjestelmät jäävät tutkimuksen ulkopuolelle. Perusteluna tälle päätökselle on se, että niiden käyttöaste nykyään on vähäistä ja kehityksen suunta liikkuu jatkuvasti poispäin langallisiin yhteyksiin perustuvista älykotijärjestelmistä.

1.4 Tutkimuskysymys

Tutkimuksessa keskitytään ensisijaisesti yhteen tutkimuskysymykseen, joka kuuluu seuraavanlaisesti:

- Miten paikalliset älykotijärjestelmät eroavat pilvipohjaisista älykotijärjestelmistä?

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien välisiä eroavaisuuksia. Kummallakin toteutustavalla on omat vahvuutensa ja heikkoutensa. Useissa aiheeseen liittyvissä vertailevissa julkaisuissa ja harmaassa kirjallisuudessa on kuitenkin havaittu puolueellisuutta joko paikallisten tai pilvipohjaisten älykotijärjestelmien suuntaan. Tässä tutkimuksessa pyritään kokoamaan nämä havainnot yhteen ja tarkastelemaan niitä puolueettomasti. Tutkimuskysymykseen etsitään vastausta moniäänisen kirjallisuuskatsauksen avulla, jossa hyödynnetään vertaisarvioituja julkaisuja sekä alan asiantuntijoiden ja harrastajien näkemyksiä ja kokemuksia.

1.5 Tutkimuksen rakenne

Luvussa 2 käsitellään tutkimuksen teoriapohjaa, jossa esitellään yleisesti älykotijärjestelmiä ja niiden nykypäivän esiintymismuotoja. Älykotijärjestelmien viimeisimpiä suuntauksia ja aiheeseen liittyviä tutkimuksia käydään läpi. Luvussa 3 keskitytään käytettyyn tutkimusmenetelmään, sen valinnan perusteluun, hakuprosessin vaiheisiin, käytettyihin hakumerkkijonoihin, lopulliseen tutkimusaineistoon ja muihin olennaisiin tietoihin, jotka liittyvät tutkimusmenetelmään. Luvussa 4 käsitellään tutkimuksen tuloksia, jossa tarkastellaan mitä tutkimusaineistosta oli havaittavissa paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksista. Luvussa 5 pohditaan tutkimuksen keskeisiä tuloksia, niiden merkitystä, tutkimuksen luotettavuutta ja rajoituksia sekä esitetään jatkotutkimushaasteita. Luvussa 6 vedetään yhteen tutkimuksen toteutus ja sen avulla tehdyt johtopäätökset.

2. ÄLYKOTIJÄRJESTELMÄT

2.1 Älykotijärjestelmien taustaa

Konsepti älykodeista on melko vanha ja se juontaa juurensa 1960-luvulle, kun Yhdysvalloissa esitettiin sarjaa "The Jetsons", jossa päähenkilöiden kodissa oli robottiavustajia, robotti-imureita, ja erilaisia vipuja kodin hallintaa varten. TV-sarjassa kuvattiin tulevaisuudessa kodin olevan tietokoneen hallinnoima järjestelmä, joka helpottaa siellä asuvien ihmisten elämää. [1] Vasta vuonna 1975 nähtiin varhaisimpia toteutuksia älykotijärjestelmistä, kun protokolla nimeltään X10 julkaistiin. Sen avulla kodin laitteita voitiin ohjata käyttäen kodin sähköjohtoja informaation välitykseen. Älykotijärjestelmän toteuttaminen X10-protokollalla oli kuitenkin kallista ja asennus vaati asiantuntijan apua. [4]

1980- ja 1990 -luvuilla oli jo useita älykotijärjestelmiä ja -laitteita markkinoilla, mutta niiden käyttöönotto oli hankalaa, koska langattomia yhteyksiä hyödyntäviä protokollia ei vielä ollut kuluttajien saatavilla. Älykotijärjestelmien kalliin hinnan vuoksi kotiautomaatiota esiintyi lähinnä varakkaiden perheiden kodeissa. [4] Yksi ongelma sen aikaisissa älykotijärjestelmissä oli langallisten yhteyksien tarve jokaiselle laitteelle, ja vuonna 1990 virallista standardia älykotijärjestelmille yhteensopivien kotien rakentamiseen ei ollut vielä olemassa, mikä vaikeutti järjestelmien asennusta [5]. Deschamps-Sonsinon [1] kirjassa älykodeista todetaan, että näihin aikoihin monet kotitaloudet eivät olleet halukkaita uusimaan kodin sähköjohtoja verrattain pienen hyödyn vuoksi.

Langattomien verkkojen rantautuminen kuluttajien käyttöön 2000-luvun alussa mullisti älykotikentän täysin. Li ym. [6] mukaan niiden käytöllä älykotijärjestelmissä oli useita etuja verrattuna langalliseen yhteyteen. Ensinnäkin se poisti langallisen yhteyden tarpeen ja siten vähensi järjestelmän asennuskustannuksia, sillä laitteita ei tarvinnut enää liittää toisiinsa seinien sisällä kulkevilla sähköjohdoilla. Lisäksi se paransi huomattavasti järjestelmän skaalautuvuutta, koska laitteita voitiin helposti lisätä tai poistaa. [6] Tämän myötä älykotilaitteet alkoivat olla entistä modulääriseempiä, eli niitä voitiin lisätä jälkeenpäin olemassa olevaan älykotijärjestelmään. Tämä mahdollisti kotien asteittaisen älyllistämisen laite kerrallaan [1]. Toisena merkittävänä seurauksena langattomiin verkkoihin siirryttäessä olivat samoihin aikoihin julkaistut uudet kotiautomaatioon tarkoitetut kommunikaatioprotokollat, kuten Z-Wave ja Zigbee. Niiden avulla älykotilaitteiden tietoturva parantui huomattavasti, koska kumpikin protokollista käyttivät salattua tietoliikennettä alusta

alkaen. [4]

Siirryttäessä 2010-luvulle, esineiden internetin suosio oli nousemassa nopeasti, joka toimi langattomien verkkojen jälkeen toisena tärkeänä virstanpylväänä älykotijärjestelmien kehittymisessä. Tämän teknologian avulla älykotilaitteet pystyivät kommunikoimaan keskenään ja olemaan yhteydessä internetiin, mikä mahdollisti laitteiden etäohjauksen. Ensimmäinen kuluttajakäyttöön suunnattu virtuaaliassistentti nähtiin vuonna 2011 julkaistussa iPhone 4S-älypuhelimessa, jonka mukana tuli Siri-virtuaaliassistentti. Se ei kuitenkaan vielä julkaisuhetkellään ollut tarkoitettu älykotijärjestelmien ohjaukseen, mutta se antoi ensimakua hieman sen jälkeen ilmestyneisiin älykoteihin suunnattuihin virtuaaliassistentteihin. [7] Vuoden 2011 aikana ja sitä seuraavina vuosina entistä laajempi skaala älykotilaitteita alkoi ilmaantumaan markkinoille, merkittävimpinä mainittakoon Nest-älytermostaatti, LED-älyvaloja, sekä Ring-älyovikello [1, 7]. Näihin aikoihin pilvipohjaisiin älykotijärjestelmiin alettiin kiinnittämään huomioita ja tutkimuksia, kuten [8, 9], julkaistiin pilvipohjaisista älykotijärjestelmistä ja niiden toiminnasta. Yhtiöt Amazon ja Google nousivat merkittäviksi älykotilaitteiden tarjoajiksi ja julkaisivat 2010-luvun puolivälissä älykotiassistenttinsa ja niihin liittyvät älykotialustat, Amazon Alexan ja Google Homen [7].

2020-luvulle tultaessa älykotijärjestelmät olivat jo laajasti kuluttajien käytössä ja lukuisten eri valmistajien älykotialustoja oli saatavilla. Esineiden internetin jatkaessa suosiossaan älykotilaitteista oli tullut edullisia valmistaa, ja lähes jokainen kodin sähkölaite oli saatavilla älykkäänä versiona kodinkoneista palohälyttimiin. [10] Suosituimmiksi älykotialustoiksi olivat nousseet Google Home, Amazon Alexa, Apple HomeKit, openHAB ja Home Assistant [4, 10].

2.2 Toimintaperiaate

Nykyaikaisissa älykotijärjestelmissä lähes kaikki älykotilaitteet pohjautuvat esineiden internetiin, joka tarkoittaa fyysisten esineiden, laitteiden ja antureiden verkostoa, jotka ovat yhteydessä internetiin ja voivat kommunikoida keskenään sekä ihmisten kanssa [11]. Älykotilaitteet muodostavat langattoman sensoriverkon, jolla tarkoitetaan älylaitteista koostuvaa verkkoa, missä laitteet keräävät informaatiota ympäristöstään ja kykenevät kommunikoimaan sekä keskenään että palvelimen tai keskittimen kanssa radiotaajuuksien avulla [11]. Esimerkiksi jos älylaite havaitsee huoneessa liikettä, niin havainnon pohjalta älykotijärjestelmä voi automaattisesti kytkeä valot päälle tai säätää huoneen lämpötilaa sopivammaksi [12]. Useimmiten nykyisissä älykotijärjestelmissä keskitin toimii älykotijärjestelmän aivoina tai reitittimenä pilvipalveluun, missä päätöksenteko ja prosessointi tapahtuu. Keskittimen avulla älykotilaitteet voidaan sitoa yhteen verkkoon ja informaatio kulkee keskittimen kautta eri laitteille. Tähän on tosin olemassa poikkeuksia, sillä jotkut älykotijärjestelmät ja laitteet ovat suunniteltu toimimaan ilman keskitintä. Älykotijärjestelmät ovat usein yhteydessä julkiseen internetiin, joka mahdollistaa älykotijärjestelmän etä-

ohjauksen kodin ulkopuolelta esimerkiksi älypuhelimen avulla. Tällä tavalla kodin laitteita voidaan ohjata ja seurata mistä tahansa ja milloin tahansa. [13]

Älykotijärjestelmissä käytetyt kommunikaatioprotokollat ovat nykyään pääosin langattomiin yhteyksiin perustuvia, sillä langallisiin yhteyksiin perustuvat älykotijärjestelmät skaalautuvat heikosti ja niiden asennuskulut ovat korkeat [6]. Yleisimmät langattomat tietoliikenneprotokollat älykodeissa ovat Wi-Fi, Bluetooth, Bluetooth Low Energy (lyh. BLE), Zigbee ja Z-Wave [14]. AndroidPolice-verkkosivuston [15] mukaan kasvavassa suosiossa ovat Thread-verkkoprotokolla ja vuonna 2022 julkaistu Matter-standardi [16]. Niiden avulla pyritään ratkaisemaan monia kriittisiä haasteita liittyen älykotijärjestelmien laiteyhteensopivuusongelmiin, tietoturvallisuuteen ja paikalliseen ohjaukseen liittyen [17, 18].

Älykotijärjestelmän on kuvattu koostuvan viidestä osa-alueesta: antureista, prosessoreista, tietokannasta, toimilaitteista ja tietorajapinnasta [13]. Antureita käytetään älykodeissa sisäisten ja ulkoisten olosuhteiden mittaamiseen keräämällä tietoja ympäristöstä. Näitä esiintyy kodin älylaitteissa, ja niiden keräämät tiedot siirtyvät jatkuvasti älykotipalvelimelle, joka voi sijaita joko kodin sisällä tai pilvipalvelussa. Prosessoreita käytetään älykodeissa paikallisten toimintojen suorittamiseen. Prosessorit voivat sijaita myös pilvipalvelussa, joka tarjoaa lisäresursseja tiedon käsittelyyn ja päätöksentekoon. Tietokantaan kerätään laitteiden tuottamaa informaatiota, josta voidaan luoda kuvaajia, tehdä analyysejä, käyttää kerättyä tietoa päätöksenteossa ja seurata kodin olosuhteita myös pidemmällä aikavälillä. Toimilaitteet ovat vastuussa päätöksen pohjalta tapahtuvien toimintojen suorittamisesta älykotilaitteissa. Älykotijärjestelmän hallinta ja sen käyttö sovellusten avulla toteutetaan tietorajapinnan kautta. [13]

2.3 Älykotijärjestelmien luokittelu

Nykyaikaiset älykotijärjestelmät voidaan luokitella pääosin kolmeen toteutustapaan, pilvipohjaisiin järjestelmiin, paikallisiin järjestelmiin, ja sellaisiin järjestelmiin, joissa on kumpaankin toteutustapaan liittyviä piirteitä [19]. Seuraavissa aliluvuissa esitellään tarkemmin edellä mainittuja älykotijärjestelmien toteutustapoja.

2.3.1 Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät

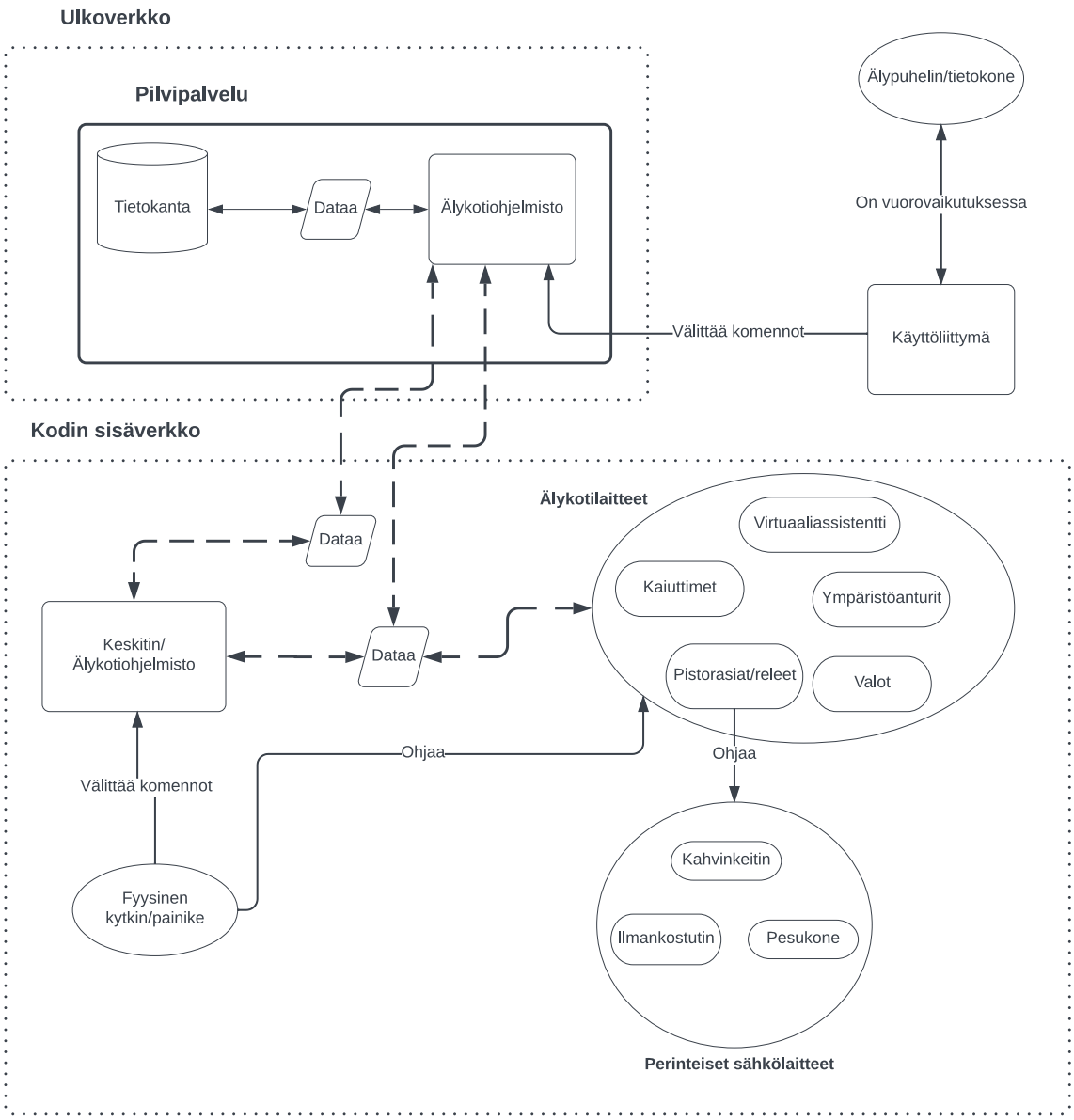
Pilvipohjaisten älykotijärjestelmien nimi tulee pilvipalvelun keskeisestä roolissa niiden toiminnassa [20]. Yleisesti pilvipohjaisessa älykotijärjestelmässä kodissa sijaitsevat älykotilaitteet keräävät informaatiota ympäristöstään ja lähettävät ne pilvipalveluun joko suoraan tai älykodin keskittimen kautta [21]. Mocriin ym. [22] artikkelin mukaan pilvipalvelun rooli älykotijärjestelmissä on aggregoida informaatiota monesta eri lähteestä, kuten antureista, toimilaitteista ja muista älylaitteista, ja käsitellä se. Tällaisissa älykotijärjestelmissä älykkyyden sijainti on älykotialustan tarjoajan pilvipalvelussa, eli informaation käsittely tapah-

tuu kodin ulkopuolella. Pilvipalvelussa suoritetaan laskentaa ja analyysejä älykotilaitteiden keräämän informaation perusteella. Lopputulokseksi pilvipalvelu luo ohjauskäskyjä älykotiympäristön laitteiden hallintaan käyttäjän määrittämällä tavalla. [21] Jos järjestelmässä käytetään keskitintä, niin sen tehtävänä on välittää viestejä laitteiden ja pilvipalvelun välillä sekä joidenkin älykotijärjestelmien tilanteessa suorittaa paikallista informaation käsittelyä. On olemassa myös pilvipohjaisia älykotijärjestelmiä, jotka toimivat ilman erillistä keskitintä välittäen informaation suoraan älylaitteelta pilvipalvelimelle. [20]

Lähivuosina pilvipohjaisten älykotijärjestelmien kehitys on siirtynyt entistä enemmän reuna- ja sumulaskentaan, jossa tiedon prosessointi ja järjestelmän ohjaus tehdään lähempänä käyttäjää sen sijaan, että kaikki älykotilaitteiden keräämä informaatio vietäisiin pilvipalveluun [23]. Reunalaskennalla tarkoitetaan tietojen käsittelyä laitetasolla tai sen läheisyydessä sen sijaan, että ne lähetettäisiin keskitettyyn pilvipalveluun, mikä mahdollistaa nopeamman vasteajan laitteiden ohjauksessa, vähentää verkon ruuhkautumista ja parantaa yksityisyyden sekä tietoturvan tasoa [24]. Joissakin pilvipohjaisten älykotijärjestelmien keskittimissä hyödynnetään reunalaskentaa, mikä tarjoaa useita etuja käyttäjille verrattuna täysin pilvilaskentaan perustuviin älykotijärjestelmiin [25].

Useimmat nykyaikaiset älykotialustat, kuten Amazon Alexa, Samsung SmartThings, Google Home ovat pilvipohjaisia älykotialustoja, joissa jotkin alustan toiminnallisuudet ovat riippuvaisia yhteydestä pilvipalveluun. Pilvipohjaisten älykotijärjestelmien yksi ongelmista ilmenee internet-yhteyden ollessa saavuttamattomissa, jolloin siitä riippuvaiset keskeiset ominaisuudet voivat lakata toimimasta. [21]

Kuvassa 2.1 näkyy yleistetty rakenne pilvipohjaisen älykotijärjestelmän toiminnasta ja niihin kuuluvista elementeistä. Kuvassa esitetty rakenne on johdettu useiden pilvipohjaisia älykotijärjestelmiä käsittelevien artikkelien [26, 27] pohjalta. Esitetty rakenne on pyritty piirtämään siten, että se käsittäisi monentyyppiset pilvipohjaiset älykotijärjestelmät, sillä siinä on sekä keskitin, joka välittää informaatiota älylaitteiden ja pilvipalvelun välillä, että myös suora yhteys älylaitteiden ja pilvipalvelun välillä. Jotkut älykotilaitteista, kuten Amazon Echo-virtuaaliassistentti, ovat yhteydessä pilvipalveluun suoraan, eivätkä tarvitse keskitintä kommunikointiin [28].



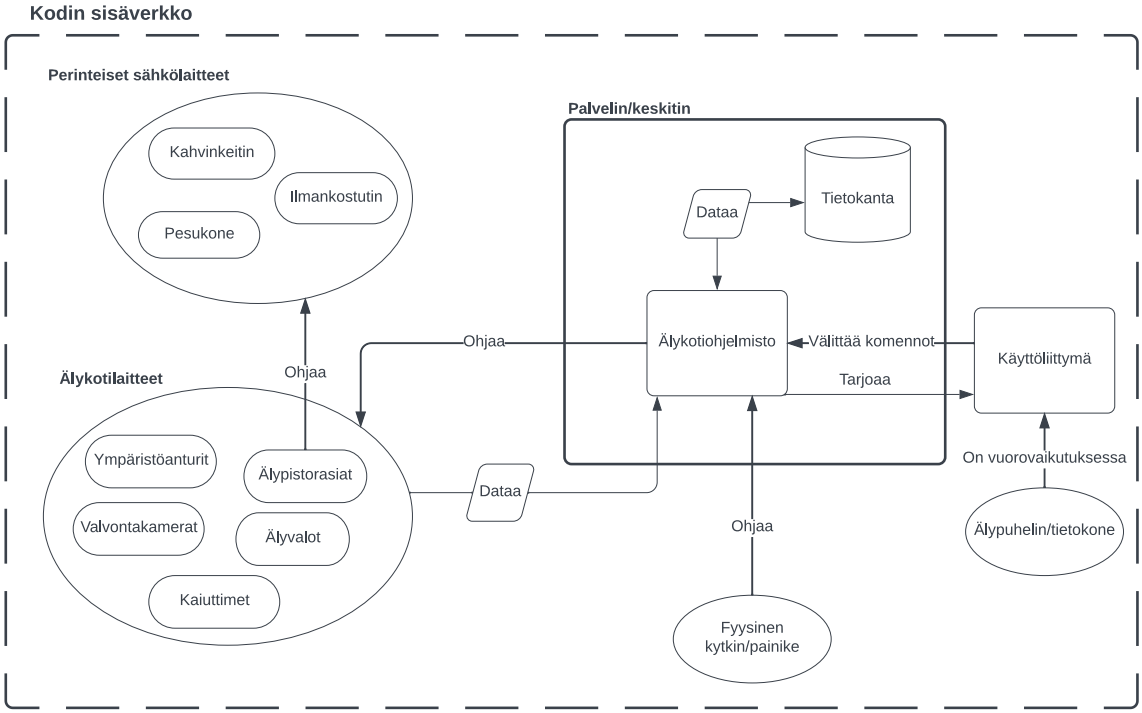
Kuva 2.1. *Pilvipohjaisen älykotijärjestelmän tyypillinen rakenne ja tiedon kulkeminen [26, 27].*

2.3.2 Paikalliset älykotijärjestelmät

Paikalliset älykotijärjestelmät toimivat täysin kodin lähiverkossa, eivätkä ne itsessään ole riippuvaisia kolmannen osapuolen palvelimista, pilvipalveluista, tai edes internet-yhteydestä [29]. Ne tarjoavat käyttäjilleen monia hyötyjä, kuten paremman henkilökohtaisten tietojen hallinnan, kestävyyden internet-katkoksia vastaan ja nopeamman vasteajan älykotilaitteiden ohjauksessa [30]. Paikallisia älykotijärjestelmiä ylläpidetään kodin sisällä, joka vaatii palvelimen tai tietokoneen, missä paikallisen älykotialustan ohjelmisto suoritetaan [29]. Tällöin älykotijärjestelmän älykkyys sijaitsee kodin sisällä, eikä pilvipalvelimella, kuten pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä menetellään. Paikallisiin älykotijärjestelmiin liittyy kuitenkin niiden monista hyödyistä huolimatta myös omat haasteensa, kuten teknisen asian-

tuntemuksen tarve ja korkeammat kustannukset [31].

Kuvassa 2.2 on esillä tyypillisen paikallisen älykotijärjestelmän rakenne. Kuvassa näkyy palvelin tai keskitin, jossa älykotiohjelmisto suoritetaan. Laitteiden tuottama data tallennetaan tietokantaan ja sitä käytetään esimerkiksi apuna päätöksenteossa. Käyttäjille tarjotaan käyttöliittymä, jota kautta älykotijärjestelmää voidaan hallita ja monitoroida. Fyysiset kytkimet, kuten painikkeet, välittävät komennot keskittimelle. Älykotiohjelmisto käsittelee ohjauskomennot ja välittää ne käskyinä älykotilaitteille. Älykotilaitteet välittävät älykotiohjelmistolle keräämäänsä dataa ja ilmaisevat sen hetkistä tilaansa. Paikalliset älykotijärjestelmät toimivat kodin sisäverkossa, jolloin järjestelmän toiminta ei edellytä yhteyttä julkiseen internet-verkkoon. [32]

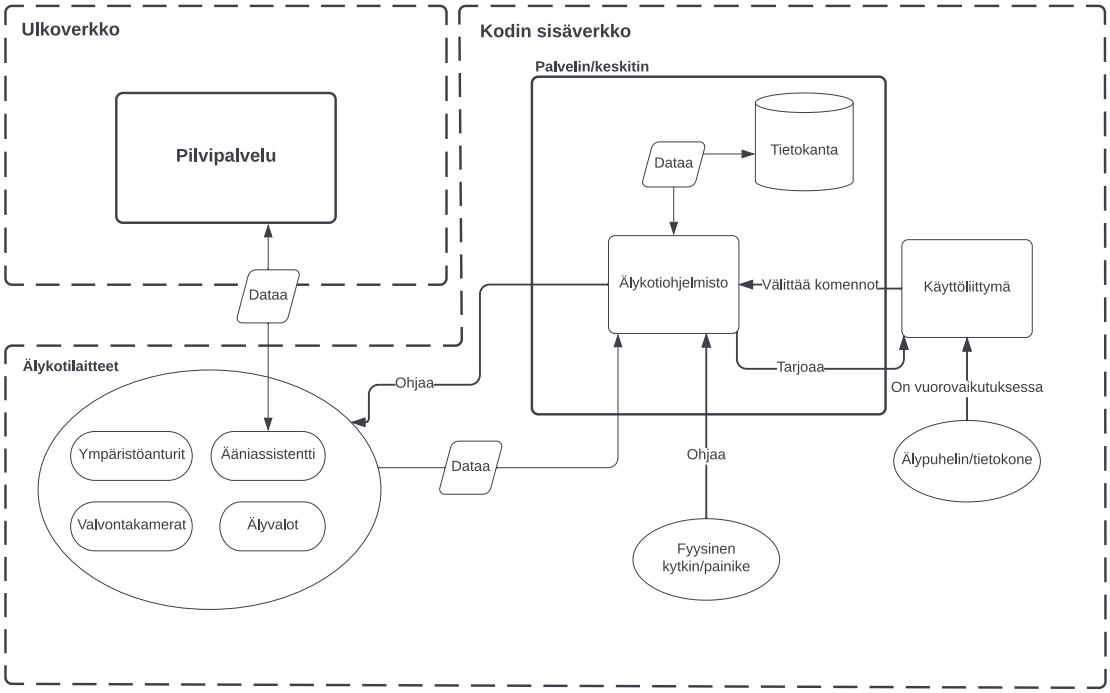


Kuva 2.2. *Paikallisen älykotijärjestelmän rakenne ja tiedon kulku järjestelmässä [32].*

2.3.3 Hybridiälykotijärjestelmät

Kaikki älykotialustat eivät sijoitu täysin joko paikalliseen tai pilvipohjaiseen luokitteluun, vaan niissä esiintyy piirteitä kummastakin toteutustavasta [33]. Esimerkkinä tällaisesta älykotialustasta voidaan ottaa Apple HomeKit, jonka avulla kodissa sijaitsevia laitteita voi ohjata täysin paikallisesti, mutta jotkin ominaisuudet, kuten älykotijärjestelmän etäohjaus kulkee Applen pilvipalvelun kautta [34]. Myös täysin paikalliset älykotijärjestelmät, kuten Home Assistant, voidaan konfiguroida käyttämään pilvipohjaisia palveluita, kuten Google Assistant-virtuaaliavustajaa [35]. Näin ollen älykotijärjestelmän hallinnointi pysyy paikallisena, vaikkakin osa toiminnallisuudesta tukeutuu pilvipalveluun. Nguyen ym. [36] kuvasivat tällaisen älykotijärjestelmän rakennetta artikkelissaan, jonka pohjalta kuvan 2.3 ra-

kenne on määritelty. Kuvassa havainnollistetaan paikallisesti ohjattua älykotijärjestelmää, johon on liitetty ääniohjatta virtuaaliassistentti, joka on riippuvainen yhteydestä pilvipalveluun. Tällaisen älykotijärjestelmän toiminnallisuus on monipuolisempaa kuin täysin paikallisen järjestelmän, ja internet-yhteyden ollessa saavuttamattomissa ainoastaan pilvipalvelusta riippuvaiset osat lakkaavat toimimasta mahdollistaen järjestelmän perustoimintojen jatkumisen [19].



Kuva 2.3. *Hybridiälykotijärjestelmän rakenne ja tiedon kulku järjestelmässä [36].*

2.4 Älykotijärjestelmät nykyään

Suosituimmat älykotijärjestelmät nykyään ovat pilvipohjaisia, jolloin pilvipalveluntarjoaja suorittaa laskennan, analytiikan ja tiedon säilytyksen pilvipalvelimella [21]. Yleisimpiin älykotialustoihin kuuluvat Google Home, Samsung SmartThings, Amazon Alexa, Apple HomeKit, Home Assistant ja openHAB [12, 37]. Älykotimarkkinat ovat kamppailleet kasvaakseen entisestään, sillä eri ekosysteemejä, viestintäprotokollia ja standardeja käyttävät laitteet eivät ole olleet keskenään täysin yhteensopivia, mikä on rajoittanut kuluttajien vaihtoehtoja ja hankaloittanut asennusprosessia [18]. Vuoden 2022 loppupuolella julkaistiin uusi älykotistandardi nimeltään Matter, jonka vaikutukset älykotijärjestelmiin ovat huomattavia, erityisesti internet-katkosten kestävyyden ja laiteyhteensopivuuden osalta. Matter-standardin mukana kulkeva Thread-protokolla on myös alkanut yleistyä uusissa älykotilaitteissa, mikä mahdollistaa niille matalan ohjauksen vasteajan ja toimivuuden myös ilman internet-yhteyttä. [15]

2.5 Tutkimuksia älykotijärjestelmistä

Älykotijärjestelmistä on tehty useita tutkimuksia, mutta paikallisten älykotijärjestelmien ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien vertailusta on julkaistu vain vähän tieteellistä kirjallisuutta. Parochan ja Macabeben [38] tutkimuksessa toteutettiin paikallisen älykotijärjestelmän asennus ottaen huomioon laiteyhteensopivuuden, skaalautuvuuden ja käyttäjäystävällisyyden. Lisäksi he vertailivat sitä pilvipohjaiseen Samsung SmartThings-älykotialustaan muun muassa asennuksen vaativuuden, helppokäyttöisyyden, laiteyhteensopivuuden sekä tietoturvan näkökulmista. Heidän tutkimuksessaan ei kuitenkaan yleistetty havaintoja paikallisisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroista, vaan vertailtiin vain kahta tiettyä älykotialustaa keskenään. Tässä tutkimuksessa pyritään paikkaamaan tieteellisen kirjallisuuden puutetta paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksista yleisemmällä tasolla.

Doan ym. [21] julkaisivat vuonna 2018 tutkimuksen, jossa tutkittiin pilvipohjaisten älykotijärjestelmien toiminnallisuutta sellaisessa tilanteessa, jossa pilvipalvelu ei ollut saatavilla. Tutkimuksessa he pohtivat pilvipalvelun saavuttamattomuuden seurauksia pilvipohjaiseen älykotijärjestelmään ja ehdottivat ratkaisuksi RES-Hub nimistä keskitintä, joka paikkaa pilvipalvelun puutetta. Heidän ratkaisunsa oli yhdistelmä pilvipohjaista ja paikallista älykotijärjestelmää, mutta he eivät syventyneet vertailemaan älykotijärjestelmätyyppien piirteitä muista kuin pilvipalvelun saavuttamattomuuden näkökulmasta.

Tutkimuksessaan Danev ym. [39] toteuttivat älykotijärjestelmän asennuksen käyttäen avoimeen lähdekoodiin perustuvaa paikallista älykotialustaa. He esittelivät tutkimuksessaan paikallisen älykotijärjestelmän infrastruktuuria ja toiminnallisuutta korostaen erityisesti älykotijärjestelmissä vallitsevia ongelmia laiteyhteensopivuuteen liittyen. Yang [27] tutki pilvilaskennan merkitystä älykotijärjestelmille ja esitteli useita osa-alueita, kuten kustannukset, etäohjaus, suorituskyky ja käyttökokemus, missä pilvipalvelut ovat hyödyksi älykotijärjestelmän toiminnalle.

Vuonna 2013 julkaistussa Nikayin ja De Reuverin [40] tutkimuksessa analysoitiin 42 sen aikaista älykotialustaa. Ne luokiteltiin älykkyyden sijainnin (kodissa, pilvipalvelimella tai niiden välillä) ja järjestelmän avoimuuden perusteella. Tutkimuksen mukaan suurin osa älykotijärjestelmistä olivat paikallisia, sijaiten kuluttajan kotona ja toimien itsenäisesti ilman kolmannen osapuolen palveluita. Vain harvat järjestelmät olivat yhdistettyjä pilvipalveluihin, mikä on nykytilanteessa melko päinvastainen havainto. He [40] korostivat myös tutkimuksen toistettavuuden merkitystä, mikäli haluttaisiin tarkastella nykyisiä trendejä älykodeissa.

3. TUTKIMUSMENETELMÄ

Tutkimus on toteutettu moniäänisenä kirjallisuuskatsauksena ja siihen on käytetty aineistona sekä valkoista kirjallisuutta, eli vertaisarvioituja tieteellisiä julkaisuja, että harmaata kirjallisuutta. Päätös moniäänisen kirjallisuuskatsauksen toteuttamisesta systemaattisen kirjallisuuskatsauksen sijaan syntyi siksi, koska modernit älykotijärjestelmät ovat verrattain uusi ilmiö, jotka kehittyvät jatkuvasti, eikä uusimmista suuntauksista löydy tarpeeksi kattavasti tieteellisiä vertaisarvioituja julkaisuja. Lisäksi älykotijärjestelmien harrastajapiiri on laaja, ja suuri osa varsinkin paikallisiin älykotijärjestelmiin liittyvästä informaatiosta julkaistaan harmaana kirjallisuutena.

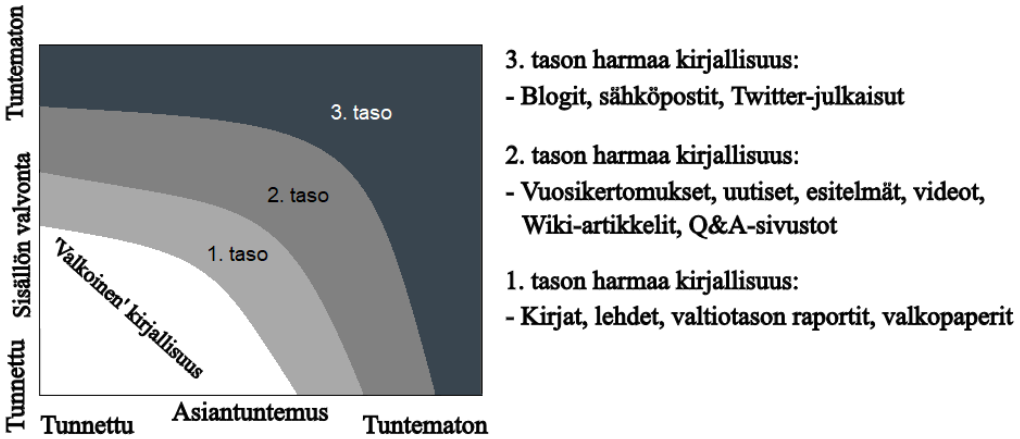
3.1 Moniääninen kirjallisuuskatsaus

Moniäänisen kirjallisuuskatsauksen pohjana on systemaattinen kirjallisuuskatsaus, jossa kartoitetaan tietystä aihepiiristä julkaistua tieteellistä vertaisarvioitua kirjallisuutta pyrkien luomaan kokonaiskuvaa aiheesta, analysoimaan tuloksia sekä löytämään puutteita tutkimustiedosta [41]. Kitchenhamin ja Chartersin [42] artikkelissa mainitaan, että löydettyjen tutkimustiedon puutteiden perusteella voidaan nostaa esille mahdollisia uusia tutkimuskohteita. Iso osa aihepiiristä julkaistusta kirjallisuudesta voi jäädä huomiotta, jos tutkimuksessa kartoitetaan vain vertaisarvioituja tieteellisiä julkaisuja, sillä alan harjoittajat julkaisevat tietoa aiheesta pääosin harmaana kirjallisuutena. Moniäänisessä kirjallisuuskatsauksessa käytetään kirjallisuuden lähteinä myös harmaata kirjallisuutta, jolloin yleistyvät suuntaukset ja uudet teknologiat voidaan huomioida tutkimuksessa. Harmaan kirjallisuuden sisällyttäminen tutkimuksessa paikkaa vertaisarvioidussa kirjallisuudessa esiintyvän tuoreen informaation puutetta. [41]

3.2 Harmaa kirjallisuus

Harmaalla kirjallisuudella tarkoitetaan Faracen ja Schöpfelin [43, s. 7] mukaan “sitä, mitä tuotetaan kaikilla hallinnon, korkeakoulujen, liike-elämän ja teollisuuden tasoilla painetussa ja sähköisessä muodossa, mutta mikä ei ole kaupallisten kustantajien valvonnassa” (kirjoittajan kääntämä). Tampereen Yliopiston kirjaston [44] ohjeiden mukaan harmaalta kirjallisuudelta puuttuu systemaattinen jakelukanava, jolloin sen etsiminen voi tuottaa haasteita. Samassa ohjeessa [44] painotetaan sitä, että koska harmaata kirjallisuutta ei

ole vertaisarvioitu, niin niissä esiintyvä tieto voi olla ajankohtaisempaa kuin vertaisarvioiduissa tieteellisissä julkaisuissa. Tämä johtuu siitä, että julkaisuprosessi on huomattavasti nopeampi ilman vertaisarviointia [44]. Adams ym. [45] esittävät artikkelissaan kaavion, jossa kuvataan kirjallisuuden sävyä valkoisesta harmaan eri tasoihin. Heidän kaavion pohjalta luodun kaavion 3.1 vaaka-akselilla merkitään sitä, kuinka paljon lähteen asiantuntemuksesta tiedetään. Pysty-akselilla merkitään sisällön valvontaa, eli sitä kuinka tiukasti julkaistu sisältö on valvottua. Valkoinen kirjallisuus sijoittuu tasolle 0., sillä siinä lähteen asiantuntemus ja sisällön valvonta on täysin tiedossa, sillä julkaisut ovat vertaisarvioituja [41]. Tason 1. harmaa kirjallisuus käsittää julkaisut, joiden asiantuntemus ja luotettavuus on melko hyvin tiedossa, mutta niitä ei ole vertaisarvioitu. Tasolla 2. on tasoa 1. harmaampaa kirjallisuutta, joiden luotettavuudesta ja asiantuntemuksesta ei voida olla yhtä varmoja. Garousi, Felderer ja Mäntylä [41] lisäsivät tasolle 2. Q&A-sivustot, jotka käsittävät sivut, kuten StackOverflow. Kolmannella tasolla ovat sellaiset julkaisut, joiden asiantuntemuksesta ei tiedetä ja tietoa sisällön valvonnasta ei ole saatavilla [41]. Adams ym. [45] painottavat, että harmauden raja eri tasojen välillä on sumea, eikä tarkkaa rajaa niiden välille voida vetää.



Kuva 3.1. *Harmaan kirjallisuuden sävyt [45] (kirjoittajan kääntämä).*

Koska harmaan kirjallisuuden luotettavuutta on hankala arvioida, tulee sen julkaisualustaan kiinnittää enemmän huomiota. Artikkelissaan Garousi ym. [41] viittaavat Giustinin määrittelemään kategorisointiin harmaan kirjallisuuden tuottajista. Tuottajia identifioitiin seitsemän tahoa, joita olivat valtiollisen tason tuottajat, voittoa tavoittelemattomat järjestöt, akateemiset organisaatiot, sosiaaliset ja poliittiset järjestöt, kirjastot ja museot, yritykset, ja viimeisenä yksityishenkilöt. Tietojenkäsittelytieteiden alalla olisi hyvä kiinnittää erityistä huomiota myös siihen, että minkälaisia harmaata kirjallisuutta tuottavat tahot ovat, esimerkiksi onko kyseessä startup-yritys vai alalla pitkään vaikuttanut tekijä [41].

3.3 Tarpeellisuuden osoittaminen

Artikkelissaan Garousi ym. [41] esittävät viitekehyksen, jonka avulla voidaan arvioida tarvetta moniäänisen kirjallisuuskatsauksen toteuttamiselle systemaattisen kirjallisuuskatsauksen sijaan. Taulukossa 3.1 on esillä viitekehys suomennettuna kirjoittajan toimesta, jossa ensimmäisessä sarakkeessa on kysymyksen tunniste, toisessa sarakkeessa on kysymys, kolmannessa sarakkeessa vastausvaihtoehdot ja viimeisessä sarakkeessa on tämän tutkimuksen aihepiiri tarkastelun alla. Jo yksi "Kyllä" vastaus mihinkään viitekehyksen kysymyksistä antaa syyn sisällyttää harmaata kirjallisuutta tutkimuksessa [41].

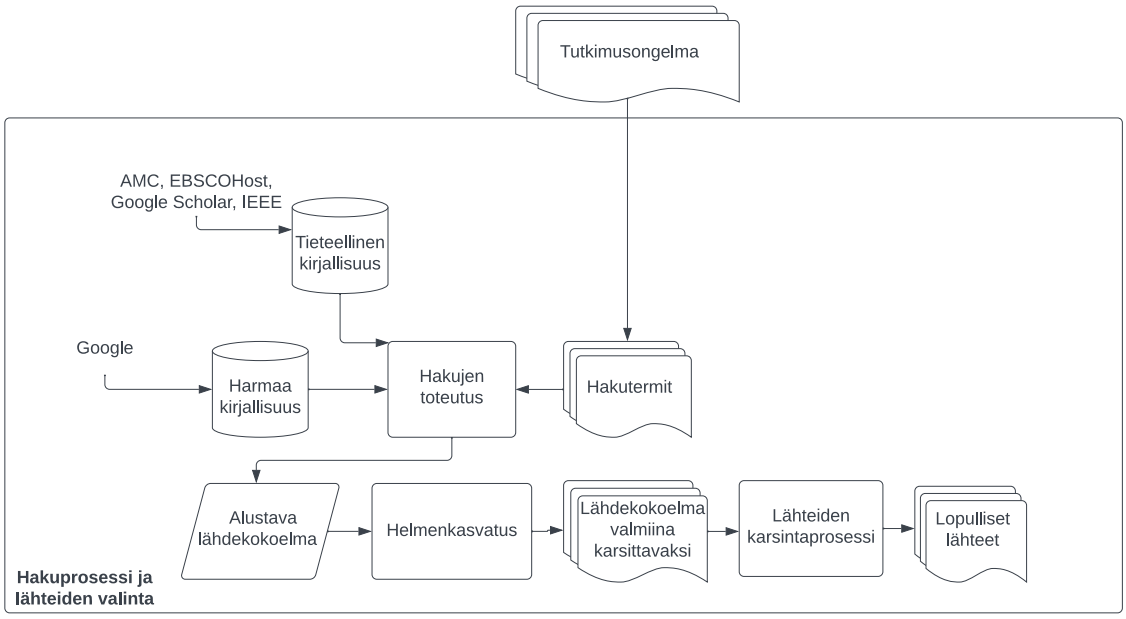
Taulukko 3.1. *Kysymyksiä harmaan kirjallisuuden sisällyttämisen tarpeellisuudesta kirjallisuuskatsauksessa [41].*

#	*Kysymys*	*Vastausvaihtoehdot*	*Älykotijärjestelmät*
1	Onko aihe kompleksi, eikä siihen löydy vastausta vain valkoisesta kirjallisuudesta?	Kyllä/Ei	Kyllä
2	Onko näytön määrä tai laatu puutteellinen tai puuttuuko vertaisarvioidussa tieteellisessä kirjallisuudessa yksimielisyys tulosten mittaamisesta?	Kyllä/Ei	Kyllä
3	Onko asiayhteyteen liittyvä tieto tärkeää tutkittavan aiheen kannalta?	Kyllä/Ei	Kyllä
4	Onko tavoitteena validoida tai vahvistaa tieteellisiä tuloksia käytännön kokemuksilla?	Kyllä/Ei	Kyllä
5	Onko käytännön toimijoiden lähteitä paljon, mikä osoittaa, että aihe kiinnostaa alan ammattilaisia suuresti?	Kyllä/Ei	Kyllä

Tämän tutkielman kontekstissa vastaus kaikkiin taulukossa 3.1 esitettyihin kysymyksiin on "Kyllä". Informaatiota paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien erojen tutkimisesta ei ole saatavilla kattavasti valkoisesta kirjallisuudesta. Paikalliset älykotijärjestelmät ovat erityisesti harrastajien ja alan asiantuntijoiden keskuudessa suosittuja, jolloin suuri osa niissä esiintyvistä ongelmista, piirteistä ja ominaisuuksista julkaistaan harmaana kirjallisuutena blogeissa, verkkoartikkeleina tai ohjeina muille harrastajille. Vertailua paikallisista ja pilvipohjaisista älykotijärjestelmistä löytyy kattavasti harmaana kirjallisuutena, mikä tukee väitettä siitä, että aihe kiinnostaa alan ammattilaisia.

3.4 Hakumenetelmä

Hakumenetelmä johdettiin Garousin ym. [41] artikkelin pohjalta, jossa esiteltiin moniäänisen kirjallisuuskatsauksen toteutusta tietojenkäsittelytieteissä. Kuvassa 3.2 on näkyvillä käytetty menetelmä lähteiden valintaan saakka.



Kuva 3.2. *Tutkimuksessa käytetyn hakumenetelmän ja lähteiden valintaa kuvaava vuokaavio [41] (kirjoittajan kääntämä).*

Ensimmäisessä vaiheessa hakutermit luotiin tutkimusongelman pohjalta. Näitä olivat “smart home”, “home automation”, “smart home platform”, “smart home system”, “cloud”, “local” sekä erinäisten pilvipohjaisten ja paikallisten älykotialustojen nimiä. Hakutermit muokattiin yhteen käyttäen AND- ja OR-operaattoreita, hipsuja merkitsemään eksakteja vastaavuuksia sekä sulkuja eri operaattorien apuna. Hakutermeistä johdettuja hakumerkkijonoja käytettiin lähteiden hakemiseen sekä harmaasta että valkoisesta kirjallisuudesta.

3.5 Lähteet ja rajaus

Tutkimuksessa käytettiin lähteinä sekä tieteellisen kirjallisuuden tietokantoja että Googlen hakukonetta kirjallisuuden kartoittamiseen. Tieteellisiä julkaisuja haettiin tietokannoista AMC, Andor, EBSCOHost, IEEE Xplore ja Google Scholar. Harmaan kirjallisuuden haut tehtiin käyttäen Googlen hakukonetta.

Tieteellistä vertaisarvioitua kirjallisuutta etsiessä on tarpeen käyttää rajausperusteita, jotta tutkimukseen saadaan tarpeeksi relevanttia ja sopivaa kirjallisuutta. Tieteellisen kirjallisuuden tietokannoissa tehtiin hakurajaus, jossa näytettiin vain tammikuun 2017 ja huhtikuun 2023 välillä julkaistua kirjallisuutta. Harmaan kirjallisuuden kohdalla tehtiin sama aikavälirajaus kuin tieteellisen kirjallisuuden kohdalla. Julkaisun ajankohdan perusteella

tehty rajaus oli tarpeellinen, sillä älykotiteknologioiden kehittyessä nopeasti, vanhemmat julkaisut voivat mahdollisesti sisältää vanhentunutta tietoa ja antaisivat väärän käsityksen nykytilanteesta. Vain englanninkieliset julkaisut huomioitiin tutkimuksessa. Lisäksi vain sellaiset julkaisut, joista oli saatavilla kokoteksti, otettiin huomioon.

3.6 Tieteellisen kirjallisuuden hakumerkkijonot

Tietoa hakiessa tieteellisestä kirjallisuudesta on keskitytty asiasanojen määrittelyyn ja niiden yhdistelyyn hakutulosjoukon rajaamiseksi mahdollisimman osuvaksi. Taulukossa 3.2 on esillä hakujen ajankohdat, kohdistuneet tietokannat, hakulausekkeet sekä yhteenlaskettu hakutulosten lukumäärä.

Taulukko 3.2. *Tieteellisen kirjallisuuden hakutiedot.*

Päivämäärä	Tietokannat	Hakulauseke	Tuloksia yhteensä
20.4.2023	Google Scholar, EBSCOHost, Andor, ACM	(“smart home” OR “smart homes” OR “smart home system” OR “smart home platform” OR “home automation”) AND (cloud* OR local* OR *hosted) AND (“SmartThings” OR “Google Home” OR “Google Assistant” OR “Wink” OR “Amazon Echo” OR “Apple HomeKit” OR “Amazon Alexa” OR compar*)	4 000
28.4.2023	IEEE, Google Scholar, EBSCOHost, Andor, ACM	(“smart home” OR “smart homes” OR “smart home system” OR “smart home platform” OR “home automation”) AND (cloud* OR local*)	15 557

3.7 Tieteellisen kirjallisuuden hakutulosten suodatus

Tieteellisen kirjallisuuden tietokantojen hakutuloksia oli hakurajausten jälkeen tarpeen vielä suodattaa. Lähteitä suodatettiin jäljelle jääneistä hakutuloksista otsikon ja asiasanojen pohjalta sekä poistamalla duplikaatit. Jos otsikon ja asiasanojen perusteella julkaisussa vaikutti olevan tutkimuksen aihepiiriin liittyvää tietoa, se otettiin tarkempaan käsittelyyn, jolloin tutkimuksesta luettiin lisäksi abstrakti. Abstraktien lukuvaiheeseen päästessä suurin osa hakutuloksista oli suodattunut pois, ja lähteitä oli jäljellä 242. Mikäli abstraktin perusteella julkaisussa oli edelleen relevanttia tietoa aihepiiriin liittyen, otettiin se jatkokä-

sittelyyn. Tällaisia julkaisuja oli 58 kappaletta. Niistä luettiin johdanto ja yhteenveto, sekä tutkimuskysymykseen liittyviä asiasanoja, kuten “cloud” ja “local”, etsittiin hakutoiminnolla. Jos julkaisu läpäisi kaikki edellä mainitut suodatukset, otettiin se mukaan suodatettuun lähdekokoelmaan. Tämän jälkeen suoritettiin helmenkasvatusta, eli lähteiden viiteluetteloista etsittiin sopivia tutkimuksia, joihin on viitattu tai tutkimuksia, jotka ovat viitanneet kyseisiin lähteisiin [41]. Tällä tavalla löydettyjä julkaisuja suodatettiin samoin tavoin kuin miten alustavat lähteet suodatettiin. Helmenkasvatuksen jälkeen tieteellisen kirjallisuuden lähteitä oli jäljellä 72 julkaisua. Jäljelle jääneelle lähdekokoelmalle suoritettiin karsintaa lukemalla julkaisuja tarkemmin, tekemällä niistä muistiinpanoja ja arvioimalla niiden merkitystä tutkimuskysymyksen kannalta sekä vertaamalla niiden tuloksia muihin löydettyihin julkaisuihin. Lisäksi karsintaprosessissa otettiin huomioon tutkimusmenetelmä, tutkimusasetelma ja tutkimuksen laatu perustuen Kitchenhamin ym. [42] artikkelin ohjeistukseen. Lopulta tieteellisen kirjallisuuden lähteitä jäi karsintaprosessin jälkeen jäljelle 29 kappaletta.

3.8 Harmaan kirjallisuuden hakumerkkijonot

Harmaata kirjallisuutta hakiessa keskityttiin hakemaan tietoa luonnollisempien kysymysten muodossa, jolloin hakukoneena käytetty Google löytää parhaan mahdollisimman vastaavuuden. Taulukossa 3.3 on näkyvillä Googlen hakukoneeseen syötetyt hakumerkkijonot ja hakujen ajankohdat. Kaikkien hakutulosten määrää ei ole merkitty taulukkoon, sillä Googlen hakukone tuotti lähes kaikille hauille miljoonia tuloksia. Garousin ym. [41] mukaan hakukoneiden käyttämiin algoritmeihin sivujen osuvuudesta ja näkyvyydestä on luotettava ja valittava vain osa haun tuottamista tuloksista. Tämän tutkimuksen tapauksessa kunkin haun ensimmäiset 50 tulosta huomioitiin.

Taulukko 3.3. *Harmaan kirjallisuuden hakutiedot.*

Päivämäärä	Hakulauseke
2.3.2023	local smart home systems and cloud based comparison
14.4.2023	difference between cloud-based and locally-controlled smart homes
14.4.2023	local and cloud smart home platforms
16.4.2023	privacy in cloud and local smart homes
20.4.2023	locally controlled smart home
23.4.2023	cloud-based smart home platforms
24.4.2023	smart home system comparison

3.9 Harmaan kirjallisuuden hakutulosten suodatus

Harmaan kirjallisuuden kohdalla on tärkeää korostaa luotettavuuden arviointia ja tulosten suodattamista, koska harmaa kirjallisuus ei ole käynyt läpi vertaisarviointia tieteellisissä piireissä. Harmaan kirjallisuuden hakujen jälkeen tarkempaan käsittelyyn otettiin 131 julkaisua, jotka luettiin ja arvioitiin niiden sopivuutta tutkimukseen. Tämän tutkimuksen sisältämä harmaa kirjallisuus on seulottu huolellisesti, jotta siinä esiintyisi vain luotettavaa tietoa. Kun mahdollisesti sopivia harmaan kirjallisuuden lähteitä on löydetty, niitä on arvioitava monesta näkökulmasta ennen niiden sisällyttämistä tutkimukseen [41].

Harmaan kirjallisuuden luotettavuutta arvioidessa on kiinnitetty huomiota seuraaviin kriteereihin, jotka perustuvat Garousin ym. [41] artikkeliin:

- Julkaisun kirjoittajan nimi on esillä.
- Julkaisualusta on tunnettu ja luotettava.
- Kirjoittajan asiantuntemus on tiedossa.
- Julkaisupäivä on esillä.
- Julkaisuun ei liity selvää puolueellisuutta tai oman edun ajamista.
- Julkaisussa on taustalähteet esillä.
- Julkaisussa esitetty tieto on tasapainoista, eikä käsittele aihetta yksipuolisesti.
- Julkaisussa ei esiinny perustelematonta ristiriitaista tietoa muuhun kirjallisuuteen verrattuna.

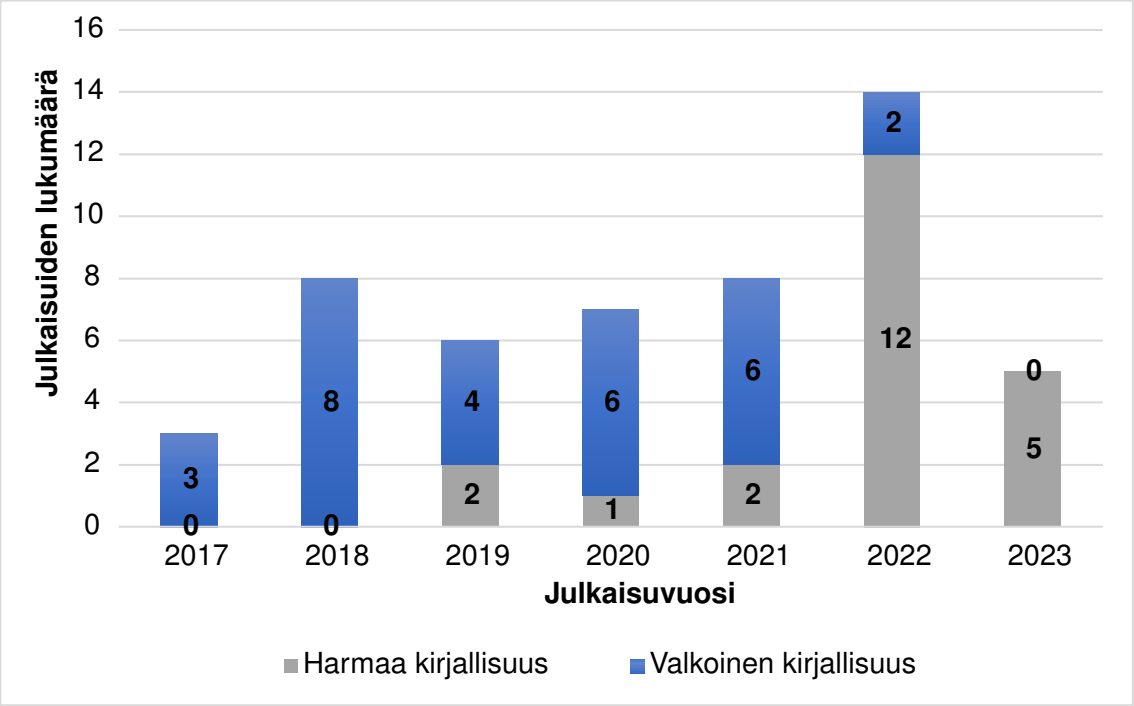
Sellaiset harmaan kirjallisuuden lähteet sisällytettiin tähän tutkimukseen, jotka vastasivat vähintään puolia edellä mainituista kriteereistä, pitäen kuitenkin mielessä julkaisun yleisen luotettavuuden.

Lähteet luokiteltiin tutkimukseen sopiviksi, jos niissä käsiteltiin älykotijärjestelmiä tutkimuskysymykseen liittyen. Tutkimukseen sopivien lähteiden piti käsitellä joko paikallisten älykotijärjestelmien ja/tai pilvipohjaisten älykotijärjestelmien piirteitä, ominaisuuksia tai ongelmia. Mikäli julkaisussa ei käsitelty älykoteja kummankin järjestelmätyypin näkökulmasta, niin lähteen havaintoja pyrittiin vertaamaan muiden julkaisuiden tuloksiin ja havaintoihin. Luotettavuuden ja tutkimuskysymykseen sopivuuden arvioinnin jälkeen harmaan kirjallisuuden lähteitä jäi jäljelle 22 kappaletta.

3.10 Valittu tutkimusaineisto

Hakuprosessin pohjalta lopulliseksi tutkimusaineistoksi muodostui 51 julkaisua, joista 22 oli harmaata kirjallisuutta ja loput 29 olivat valkoista kirjallisuutta. Kuviossa 3.3 on esillä pinottu pylväskaavio lähdejoukon kirjallisuustyyppien jakaumasta julkaisuvuosittain. Kuvaajassa harmaata kirjallisuutta merkitään harmaalla värillä, ja valkoista kirjallisuutta sini-

sellä värillä. Julkaisuvuosikohtaiset lukumäärät ovat merkitty pylväisiin, joista alempi numero viittaa harmaan kirjallisuuden lähteisiin ja ylempi numero valkoisen kirjallisuuden lähteisiin.



Kuva 3.3. *Valkoisen ja harmaan kirjallisuuden suhde ja jakauma julkaisuvuosien mukaan.*

3.11 Tulosten analysointi

Tuloksia analysoitiin lukemalla tutkimusaineistoa ja keräämällä niistä talteen tiedot, jotka olivat relevantteja tutkimuskysymykseen liittyen. Tiedonpoiminnassa käytettiin tiedonkeruulomaketta, joka luotiin tutkimuksen aihepiirin pohjalta. Garousin ym. [41] mukaan informaatiota on tiedonkeruuvaiheessa tarpeen kerätä tarpeeksi laajasti, jotta tutkimuskysymykseen voidaan vastata perusteellisesti kerätyn tiedon pohjalta. Tiedonkeruulomakkeen suunnittelussa käytettiin Kitchenham ym. [42] artikkelissa esitettyjä ohjeistuksia. Tiedonkeruulomakkeen sarakkeita olivat seuraavat:

- Lähdetyyppi (valkoinen/harmaa)
- Otsikko
- Julkaisupäivämäärä
- Yleistason kuvaus julkaisun aiheesta
- Paikallisten järjestelmien ongelmat ja hyödyt
- Yleiset huomiot paikallisista järjestelmistä
- Pilvipohjaisten järjestelmien ongelmat ja hyödyt

- Yleiset huomiot pilvipohjaisista järjestelmistä
- Mainitut älykotialustat

Lähteistä johdetun informaation keräämisen jälkeen, voitiin aloittaa datasynteesi. Garousin ym. [41] mukaan kokemuspohjaiseen ja laadulliseen aineistoon, mitä esiintyy erityisesti harmaassa kirjallisuudessa, on tarpeen käyttää laadullisen data-analyysin menetelmiä. Tiedonkeruulomakkeeseen kerätyistä havainnoista etsittiin laadullisen synteesin avulla toistuvia teemoja ja piirteitä, kunnes pääpiirteet paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksista alkoivat hahmottua. Mikäli pieniä toisiinsa liittyviä pääpiirteitä alkoi muodostumaan, ne yhdistettiin isommiksi kokonaisuuksiksi, kunnes jäljellä oli vain ne pääpiirteet, jotka kuvasivat tutkimusaineiston havaintoja tarpeeksi tarkasti, mutta kuitenkin liikaa rajoittamatta havaintojen sopivuutta pääpiirteisiin. Pääpiirteitä luodessa otettiin huomioon niiden suhde tutkimusaineistossa esitettyyn informaatioon ja niiden abstraktion taso pidettiin tarpeeksi korkealla, jotta ne kuvasivat tutkimusaineistossa esiintyviä havaintoja kattavasti. Samaa menetelmää käytettiin Garousin ym. [41] artikkelissa. Kitchenham ym. [42] mukaan laadullisen synteesin avulla voidaan huomioida myös sellaisten lähteiden havainnot, mitkä käsittelevät vain rajattua osaa tutkimuskysymykseen liittyvästä aiheesta.

Löydettyjen pääpiirteiden perusteella luotiin toinen taulukko, jossa lähteet olivat riveinä ja pääpiirteet olivat sarakkeina. Muita lähteeseen liittyviä tietoja, kuten julkaisutyyppi, kirjallisuuden tyyppi ja julkaisuvuosi, merkittiin taulukkoon. Jokaisen lähteen kohdalla käytiin läpi siinä esiintyvät piirteet ja taulukkoon tehtiin merkintä niiden pääpiirteiden kohdalle, mitä lähteessä käsiteltiin.

Pääpiirteiden muodostamisen jälkeen, voitiin niiden pohjalta aloittaa raportointivaihe, jossa pääpiirteitä alettiin käymään tarkemmin läpi yksi kerrallaan, kirjoittaen niitä käsittelevistä lähteistä ja pyrkien muodostamaan kattavan kuvan siitä, mitä eri lähteet toivat niistä ilmi [41]. Pääpiirteisiin liittyvien havaintojen käsittelyn jälkeen niistä muodostettiin yksityiskohtaisempia havaintoja, jotka kuvasivat yleisimpiä mainintoja liittyen kuhunkin pääpiirteeseen. Muodostetuista havainnoista luotiin taulukoita, joihon havainnot merkittiin. Kunkin pääpiirteen havaintotaulukon perusteella oli mahdollista nähdä, mitkä asiat nousivat päällimmäisinä esille piirteeseen liittyen, jolloin paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroja ja erityisesti eroihin vaikuttavia syitä oli mahdollista tarkastella.

4. MITEN PAIKALLISET ÄLYKOTIJÄRJESTELMÄT EROAVAT PILVIPOHJAISISTA ÄLYKOTIJÄRJESTELMISTÄ?

Tutkimuksessa analysoitiin 51 lähdettä sekä valkoisesta että harmaasta kirjallisuudesta liittyen paikallisiin ja pilvipohjaisiin älykotijärjestelmiin keskittyen niiden eroavaisuuksiin. Lähteiden analysoinnin tuloksena erottuivat seitsemän pääpiirrettä, joiden pohjalta paikallisen- ja pilvipohjaisen älykotijärjestelmän välillä voidaan havaita eroavaisuuksia. Näitä olivat 1) "Asiantuntemuksen tarve, käyttöönotto ja kustannukset", 2) "Älykotijärjestelmän ohjaus", 3) "Kestävyys internet-katkoksia vastaan", 4) "Standardit ja kommunikaatioprotokollat", 5) "Yksityisyys ja tietoturvallisuus", 6) "Järjestelmän elinkaari ja tuki", 7) "Laiteyhteensopivuus". Aliluvuissa 4.1 - 4.7 käsitellään paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksia havaittujen pääpiirteiden näkökulmasta ja esitetään lähteistä löydettyjä huomioita. Olennaisimmat erot paikallisen ja pilvipohjaisen älykotijärjestelmän välillä liittyivät järjestelmän ohjaukseen, yksityisyyteen ja tietoturvaan sekä kestävyyteen internet-katkoksia vastaan.

Taulukkoon 4.1 on koottu lähteistä johdetut pääpiirteet. Ensimmäisessä sarakkeessa on pääpiirteen tunniste, toisessa sarakkeessa on pääpiirteen nimi, kolmannessa on piirteeseen liittyneiden havaintojen lukumäärä, ja viimeisessä sarakkeessa on lähteet, joissa piirrettä käsiteltiin.

Taulukko 4.1. *Lähteissä esiintyneet pääpiirteet.*

Tunniste	*Pääpiirre*	*Havaintojen lukumäärä*	*Lähteet*
1	Asiantuntemuksen tarve, käyttöönotto ja kustannukset	13	[19, 27, 29, 31, 32, 33, 38, 46, 47, 48, 49, 50, 51]
2	Älykotijärjestelmän ohjaus	27	[3, 11, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60]
3	Kestävyys internetkatkoksia vastaan	17	[15, 19, 21, 24, 29, 30, 31, 46, 48, 49, 50, 52, 53, 60, 61, 62]
4	Standardit ja kommunikaatioprotokollat	17	[3, 15, 19, 20, 31, 33, 39, 46, 47, 48, 49, 50, 61, 63, 64, 65, 66]
5	Yksityisyys ja tietoturvallisuus	27	[11, 21, 22, 24, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 38, 49, 50, 52, 53, 60, 61, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74]
6	Järjestelmän elinkaari ja tuki	8	[29, 30, 33, 49, 50, 52, 60, 61]
7	Laiteyhteensopivuus	19	[3, 11, 12, 15, 19, 20, 22, 31, 33, 38, 39, 47, 48, 50, 56, 63, 65, 75, 76]

Analysoidut harmaan kirjallisuuden lähteet luokiteltiin julkaisutyypin mukaan ja ovat näkyvissä taulukossa 4.2. Useimmat tutkimukseen sisällytetyt harmaan kirjallisuuden lähteet olivat artikkeleita.

Taulukko 4.2. *Harmaan kirjallisuuden lähdetyypit*

Lähdetyyppi	*Lukumäärä*	*Lähteet*
Artikkelit	16	[15, 19, 29, 31, 33, 48, 49, 50, 52, 53, 59, 60, 61, 62, 66, 70]
Blogitekstit	1	[30]
Dokumentaatiot	2	[51, 54]
Uutiset	2	[46, 55]
Tiedotteet	1	[63]

4.1 Asiantuntemuksen tarve, käyttöönotto ja kustannukset

Analyysin tuloksena havaittiin 13 lähteen mainitsevan eroja paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien välillä liittyen asiantuntemuksen tarpeeseen, järjestelmän käyttöönottoon ja käyttäjälle koituviin kustannuksiin. Vain yhdestä valkoisen kirjallisuuden lähteistä ([27]) löytyi mainintoja tähän pääpiirteeseen liittyen. Lähteistä havaitut erot koskivat erityisesti asiantuntemuksen tarvetta, järjestelmän asentamista, käyttöönottoa ja ylläpitoa. Tavallisen käyttäjän, jonka asiantuntemuksen tasoon analysoidut lähteet nojautuivat, voidaan kuvitella olevan tyypillinen kuluttaja, jolla ei ole taustaa tietotekniikasta tai älykotijärjestelmistä siinä määrin, että tiedoista olisi merkittävää hyötyä järjestelmän asennukseen liittyen. Taulukossa 4.3 on esillä pääpiirteittäin havaintoja liittyen asiantuntemuksen tarpeeseen, käyttöönottoon ja kustannuksiin. Kunkin pääpiirteen yhteyteen on merkitty lähteen tunniste, mikäli lähteessä käsiteltiin kyseistä pääpiirrettä.

Taulukko 4.3. *Havainnot liittyen älykotijärjestelmän asiantuntemuksen tarpeeseen, käyttöönottoon ja kustannuksiin.*

Havainto	*Havaintojen määrä*	*Esiintyy lähteissä*
Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät ovat helppoja asentaa, käyttää, tai vaativat vähän asiantuntemusta.	8	[19, 29, 31, 33, 38, 47, 48, 49]
Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät ovat usein edullisempia verrattuna paikallisiin älykotijärjestelmiin.	8	[27, 29, 31, 33, 47, 48, 49, 65]
Paikalliset älykotijärjestelmät voivat olla kalliimpia alkuinvestoinniltaan verrattuna pilvipohjaisiin älykotijärjestelmiin.	7	[19, 27, 29, 31, 32, 47, 48, 49]
Paikalliset älykotijärjestelmät voivat olla haastavia asentaa ja vaativat enemmän asiantuntemusta.	5	[19, 31, 38, 46, 49]
Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät tarjoavat asiakastukea ja tutun ympäristön suurten teknologiayritysten, kuten Samsungin, Amazonin ja Googlen, kautta.	3	[29, 31, 33]
Tarpeiden kasvaessa pilvipohjaiset järjestelmät voivat osoittautua rajoittuneiksi, kun taas paikalliset älykotijärjestelmät tarjoavat enemmän joustavuutta tai kasvuvaraa.	3	[33, 39, 47]

Pilvipohjaisten älykotijärjestelmien asentamisen helppoudesta oli löydettävissä useita mainintoja kirjallisuudessa, ja se on nähtävissä myös taulukosta 4.3, jossa kyseinen piirre esiintyi 9 analysoidussa lähteessä. Perusteluja pilvipohjaisen järjestelmän asentamisen helppoudelle esittää Bey [31] kertoen niiden vaativan vain toimivan internet-yhteyden ja sovelluksen älypuhelimeen toimiakseen. Tällainen älykotijärjestelmän käyttöönotto onnistuu tosin vain sellaisissa pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä, joissa älykotilaitteita ohjataan käyttäen Wi-Fi- tai Bluetooth-yhteyttä ilman erillistä keskitintä [33]. Asennuksen ja käyttöönoton matalaa kynnystä tukee myös Tedee-verkkosivulla julkaistu artikkeli [19], jossa todetaan pilvipohjaisten älykotijärjestelmien olevan suhteellisen helppoja asentaa käyttäjän toimesta. Dance [33] suosittelee vasta-alkajille pilvipohjaisia älykotijärjestelmiä ilman erillistä keskitintä, sillä niiden käyttöönottoon ei tarvitse ostaa erillistä laitteistoa, mikä tekee myös älykotijärjestelmän hankkimisen kynnyksestä matalemman. Tutkimuksessaan Parocha ym. [38] esittävät vertailun suositun pilvipohjaisen ja paikallisen älykotialustan välillä, ja toteavat pilvipohjaisen SmartThings-älykotialustan olevan helpompi asentaa ja oppia käyttämään verrattuna paikalliseen openHAB-älykotialustaan. Myös Hendrickson [49] tuo ilmi pilvipohjaisten järjestelmien helppokäyttöisyyden, mutta samalla esittää kritiikkiä niitä kohtaan mainiten yksityisyyteen ja järjestelmän käyttöikään liittyviä ongelmia. Dance [33] huomauttaa, että vaikkakin aluksi täysin pilvipohjaiset älykotijärjestelmät ovat helppoja ja edullisia ottaa käyttöön, niiden rajoitukset tulevat nopeasti esille tarpeiden kasvaessa. Tätä piirrettä tukee myös Danbattan ja Varolin [47] toteamus Wi-Fi- ja Bluetooth-protokollia käyttävien älykotilaitteiden helppokäyttöisyydestä. He [47] huomauttavat Wi-Fi:n ja Bluetoothin tukevan rajoitetumpaa määrää laitteita, kuin paikallisissa älykotijärjestelmissä usein esiintyvät älykotiprotokollat, kuten Zigbee ja Z-Wave. Artikkelissaan Yang [27] korostaa pilvipohjaisista järjestelmistä sen hyödyn, että erillisen laitteiston tarpeettomuuden vuoksi ne eivät vie fyysistä tilaa käyttäjän kodista, mikä voidaan nähdä eduksi verrattuna paikallisiin älykotijärjestelmiin.

Asiakastuen saatavuus on tärkeä asia monelle kuluttajalle, ja Upton [29] sanookin pilvipohjaisissa älykotialustoissa olevan kattavampi asiakastuki ongelmatilanteissa verrattuna paikallisiin älykotialustoihin. Lisäksi pilvipohjaisten älykotijärjestelmien todetaan tarjoavan käyttäjilleen tutun ympäristön, sillä tällaisten älykotialustojen tarjoajat, kuten Samsung, Amazon ja Google, ovat tuttuja kuluttajille muistakin teknologian osa-alueista [31].

Joidenkin paikallisten älykotijärjestelmien todetaan olevan hankalia asentaa aloittelijoiden toimesta [19, 31, 48]. Tätä toteamaa tukee Hendricksonin [49] esittämä huomio siitä, että Home Assistant-älykotialustan asennuksessa käyttäjä ikäänkuin rakentaa oman älykotikeskittimen toteamalla sen olevan ”build-your-own-hub solution”. Myös Parocha ym. [38] toteavat tutkimuksessaan paikallisen openHAB-älykotijärjestelmän oppimiskäyrän olevan jyrkkä ja vaativan paljon asiantuntemusta. He [38] kuitenkin lisäävät sen olevan yhtä helppo käyttää kuin SmartThings-älykotialustaan pohjautuvan järjestelmän, kunhan asennusvaihe on saatu valmiiksi. Vaikkakin Hendricksonin [49] vuonna 2019 tekemä väite Home

Assistant-älykotialustan asennuksen hankaluudesta pitää osittain paikkaansa vielä vuonna 2023, niin vuonna 2021 Home Assistant alkoi tarjoamaan valmiiksi asennettua ratkaisua, joka on täysin käyttövalmis ilman monimutkaista asennusprosessia [51]. Tästä voidaan huomata se, että paikalliset älykotijärjestelmät ovat alkaneet lähivuosina etenemään käyttäjäystävällisempään suuntaan, jotta niiden kohdekäyttäjiksi sopisivat myös muutkin kuin harrastelijat ja asiantuntijat [46]. Vastapainona paikallisten älykotijärjestelmien asennuksen vaativuudelle Upton [29] argumentoi paikallisten älykotijärjestelmien olevan yksinkertaisempia asentaa, koska laitteisto on fyysisesti käyttäjän saatavilla.

Älykotijärjestelmien asennuskustannuksiin liityviä havaintoja löytyi monista lähteistä, kuten taulukosta 4.3 voidaan nähdä. Yang [27] toteaa, että pilvipohjaiset älykotijärjestelmät ovat yleensä halvempia kuin paikalliset älykotijärjestelmät. Tämä johtuu siitä, että tiedon prosessointi ja tallennus tapahtuvat pilvipalvelussa, jolloin käyttäjän ei tarvitse hankkia erillistä laskentatehoa vaativaa laitteistoa kotiinsa [29, 31, 32, 33]. Hendrickson [49] tukee tätä näkemystä todeten, että paikallisten älykotijärjestelmien kustannukset ovat korkeampia kuin pilvipohjaisten järjestelmien, mutta korostaa samalla, että paikallisen toteutuksen etuja ei pitäisi unohtaa, koska ne ovat sijoituksen arvoisia. AndroidPolice-verkkosivulla [48] julkaistussa artikkelissa huomautetaan, että Wi-Fi-pohjaiset älykotilaitteet voivat olla halvempia, kun taas paikalliseen ohjaukseen sopivat Zigbee-, Z-Wave- ja Thread-pohjaiset tuotteet voivat olla hieman kalliimpia, mutta laadukkaampia. Myös Bonnici [50] mainitsee Wi-Fi- ja Bluetooth-ohjauksella toimivat älykotilaitteet halvemmiksi, mutta pohtii muiden älykodille tärkeiden piirteiden, kuten suorituskyvyn, turvallisuuden ja skaalautuvuuden, jäävän toissijaisiksi sellaisia älykotilaitteita käytettäessä. Hän [50] pohtii myös sitä, että älykotijärjestelmää suunnitellessa ei tulisi miettiä vain halvinta hintaa, sillä älykodeilla on merkittävä vaikutus niissä asuvien elämään.

Yhteenvetona paikallisen ja pilvipohjaisen älykotijärjestelmän asentamiseen ja asiantuntemuksen tarpeeseen liittyen voidaan todeta, että pilvipohjaiset järjestelmät ovat helpommin asennettavissa ja vaativat vähemmän asiantuntemusta. Lisäksi ne ovat yleensä edullisempia, mutta voivat olla melko rajoittuneita tarpeiden kasvaessa. Toisaalta paikalliset älykotijärjestelmät ovat monipuolisempia käyttää, mutta niiden asentaminen voi olla hankalampaa ja alkuinvestointi on suurempi. [27, 29, 31, 33, 48, 49]

4.2 Älykotijärjestelmän ohjaus

Yhteensä 27 valkoisen ja harmaan kirjallisuuden lähteessä mainittiin piirteitä liittyen pilvipohjaisten tai paikallisten älykotijärjestelmien ohjaukseen ja niiden eroihin. Tähän pääpiirteeseen on sisällytetty havainnot liittyen ohjauksen vasteaikaan, etäohjaukseen ja ääniohjaukseen. Ohjauksella tarkoitetaan tässä kontekstissa älykotijärjestelmän ja sen kautta älykotilaitteiden hallintaa. Suurin osa havainnoista liittyen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroihin ohjauksessa mainitsi erityisesti ohjauksen vasteajan. Taulu-

kossa 4.4 on esillä älykotijärjestelmän ohjaukseen liittyvät keskeiset havainnot.

Taulukko 4.4. *Havainnot liittyen älykotijärjestelmien ohjaukseen.*

Havainto	*Havaintojen määrä*	*Esiintyy lähteissä*
Pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä voi esiintyä suurempaa ohjauksen vasteaikaa verrattuna paikallisiin järjestelmiin.	9	[24, 29, 30, 31, 48, 50, 57, 59, 60]
Paikallisten älykotijärjestelmien ohjauksen vasteaika on välitön tai minimaalinen.	6	[15, 30, 31, 48, 50, 59]
Hyödyntämällä sumu- ja reunalaskentaa on mahdollista vähentää pilvipohjaisten älykotijärjestelmien vasteaikaa.	4	[20, 23, 24, 57]
Tuki ääniavustajille on parempi pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä kuin paikallisissa järjestelmissä.	7	[19, 28, 48, 49, 53, 55, 77]

Paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien keskeisenä erona ohjauksessa on se, että pilvipohjaisissa järjestelmissä ohjauskomennot kulkevat pilvipalvelun kautta [19, 21, 49]. Uptonin [29] verkkojulkaisussa havainnollistetaan paikallisen älykotijärjestelmän toimintaa antamalla esimerkki liiketunnistimella käynnistyvästä valosta. Esimerkissä liikettä havaitessa liiketunnistin lähettää paikallista kommunkaatioprotokollaa käyttäen viestin keskittimelle. Viestin saatuaan keskitin lähettää valolle viestin, joka ohjaa sitä käynnistymään. Esimerkin avulla voi huomata, kuinka yksinkertainen ja nopea kulku tapahtumilla on paikallisissa älykotijärjestelmissä. Hän esittää toisen esimerkin samasta tilanteesta pilvipohjaisessa älykotijärjestelmässä, jossa erona on se, että viestin saatuaan keskitin välittää viestin pilvipalvelimelle, jossa päätös valon ohjaamisesta tehdään. Tehty ohjauskäsky kulkee verkon yli pilvipalvelimelta takaisin keskittimelle, joka välittää sen valolle käynnistäen sen. [29]

4.2.1 Ohjauksen vasteaika

Älykotijärjestelmän ja sitä kautta älykotilaitteiden ohjaus tapahtuu lähes poikkeuksetta etänä, eli laitteita ei ohjata fyysisesti, vaan niitä ohjataan ohjauskomentojen avulla, jotka välittyvät laitteille kommunikaatioprotokollien välityksellä [58]. Älykotijärjestelmien ohjauksen vasteaika on tärkeä ominaisuus, joka on otettava huomioon optimaalisen käyttökokemuksen saavuttamiseksi. Wankhede [48] huomauttaa tiedon käsittelyn paikallisesti tarjoavan välittömän vasteen, kun taas internet-pohjaisten älykotilaitteiden ohjauksessa voi esiintyä hitaampaa vasteaikaa. Ovens [60] lisää, että vasteaika voi olla jopa useita sekunteja, kun informaatio siirtyy kodista pilvipalveluun ja sieltä takaisin kotiin. Threadin,

Zigbeen ja Z-Waven kaltaiset protokollat mahdollistavat paikallisen käsittelyn, mikä johtaa luotettavampaan ja nopeampaan ohjaukseen [48]. Pilvipohjaisten älykotijärjestelmien näkökulmaa tuovat lisäksi esille lähteet [29, 31, 50], joissa niiden mainitaan usein kärsivän hitaasta vasteajasta verrattuna paikallisten älykotijärjestelmien ohjaukseen. Yhdeksi mahdolliseksi viiveen aiheuttajaksi pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä Upton [29] mainitsee sen, että informaatio käsitellään kodin ulkopuolella, jolloin jo itse tiedonsiirtoon kuluu aikaa. Beyn [31] mukaan informaation käsittely kodissa sijaitsevalla keskittimellä vähentää vasteaikaa verrattuna pilvipohjaisiin järjestelmiin ja voi tarjota paremman suorituskyvyn. Bonnici [50] lisää, että pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä voi esiintyä suorituskykyongelmia erityisesti suuren verkkokysynnän aikana. Esimerkkinä hitaan vasteajan tuomista ongelmista Barclay [30] pohtii, että termostaattien kaltaisissa laitteissa muutaman sadan millisekunnin viive vasteajassa ei välttämättä ole merkittävä, mutta liiketunnistimilla ohjattavien valojen kaltaisissa laitteissa jopa muutaman sadan millisekunnin viive huoneeseen saapumisen ja valojen syttymisen välillä voi vaikuttaa huomattavasti käyttäjäkokemukseen. Pilvipohjaisten älykotijärjestelmien vasteajan parantamiseksi on ehdotettu ratkaisuja [20, 22, 24] ottamalla käyttöön sumu- ja reunalaskentaa, joiden avulla laskentaresursseja voidaan sijoittaa lähemmäs tietoja tuottavia laitteita vähentäen tiedonsiirron viivettä. Tällöin pilvipalveluun siirrettävän informaation määrä laskee ja sitä myötä tiedonsiirtoon ja sen käsittelyyn käytetty aika vähentyy [20]. Sumulaskennan käytöstä vasteajan nopeuttamiseen tukevat myös Rahimin ym. [23] havainnot. Tutkimuksessaan Chour ym. [57] tutkivat pilvipohjaisten älykotijärjestelmien vasteaikojen eroja, kun hyödynnettiin sumu- ja reunalaskentaa. He [57] havaitsivat, että yhdistämällä sumu-, reuna- ja pilvilaskentaa älykotijärjestelmässä saavutettiin sekä hyvä laskentateho että nopea vasteaika.

Havaintojen pohjalta voidaan päätellä, että pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä voi esiintyä hitaampaa vasteaikaa älykotilaitteiden ohjauksessa verrattuna paikallisiin älykotijärjestelmiin, sillä paikallisissa älykotijärjestelmissä informaatio käsitellään kodin sisällä minimoiden tiedonsiirtoon kuluva aika.

4.2.2 Etäohjaus

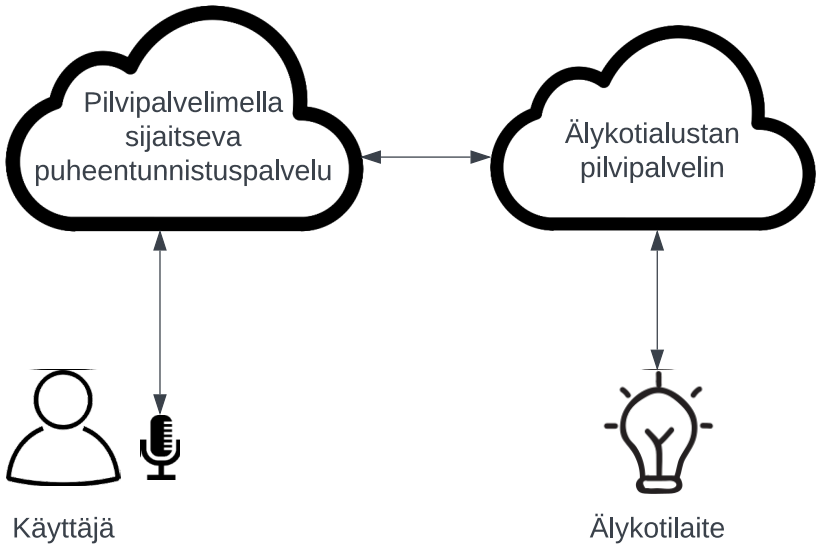
Tutkimuksessaan Balakrishnan ym. [11] toteavat, että yhtenä älykotijärjestelmien vetovoimana on etäohjaus kodin ulkopuolelta, ja erityisesti pilvipohjaiset älykotijärjestelmät mahdollistavat tämän ominaisuuden [27]. Balakrishnan ym. [11] viittaavat tutkimukseen, jossa etäohjauksen oltiin todettu olevan käyttäjille yksi tärkeimmistä ominaisuuksista älykodissa. Lisäksi Bey [31] mainitsee verkkojulkaisussaan etäohjauksen mistä päin tahansa maailmaa yhdeksi pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eduiksi verrattuna paikallisiin älykotijärjestelmiin. Zimmermann ja muut [32] huomauttavat, että paikallisissa älykotijärjestelmissä etäohjaus puuttuu, koska niitä ei ole kytketty julkiseen internet-verkkoon. Edellä mainittujen toteamusten vastapainoksi Homeagenius-verkkosivulla [61] huomautetaan,

että paikallisia älykotijärjestelmiä voidaan myös ohjata etänä, mutta sitä varten järjestelmä on yhdistettävä julkiseen internet-verkkoon. Tätä väitettä tukee se, kun Rahimi ym. [23] mainitsevat tutkimuksessaan, että paikallisia älykotijärjestelmiä, kuten Home Assistant ja OpenHAB, voidaan ohjata myös etänä. Home Assistant-älykotialustan luoneen yrityksen verkkosivuilla [54] kerrotaan, kuinka Home Assistantia voidaan ohjata etänä käyttäen heidän tarjoamaa pilvipalvelua. He [54] huomauttavat, että etäohjauksen käyttäminen voi altistaa järjestelmän väliintulohyökkäykselle (engl. man-in-the-middle), jossa henkilökohtaisia tietoja voi päätyä hyökkäävälle taholle. Tästä voidaan havaita se, että jos paikallisen älykotijärjestelmän pääsy julkiseen internetiin avataan, se altistuu samanlaisille uhille kuin pilvipohjainen älykotijärjestelmä. Lisäksi jos paikallisen älykotjärjestelmän yhdistää pilvipalveluun etäohjauksen mahdollistamiseksi, on sen määritelmä lähempänä hybridijärjestelmää kuin täysin paikallista älykotijärjestelmää.

Analysoidun kirjallisuuden pohjalta voidaan nähdä, että pilvipohjaiset älykotijärjestelmät mahdollistavat etäohjauksen helposti ja turvallisesti ilman että käyttäjän tarvitsee huolehtia järjestelmän ylläpidosta tai tietoturvasta. Paikallisia älykotijärjestelmiä sen sijaan ei voi ohjata etänä, ellei niitä yhdistä julkiseen internet-verkkoon, joka voidaan nähdä olevan vastaan paikallisten älykotijärjestelmien ideaa.

4.2.3 Ääniohjaus

Ääniohjauksella ja virtuaaliassistenteilla on merkittävä rooli älykotijärjestelmissä. Niistä yleisimpiä ovat Amazon Alexa, Google Assistant, ja Apple Siri. [28] Useimmiten ääniohjattavia virtuaaliavustajia on käytössä pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä, sillä lähes poikkeuksetta ne tarvitsevat internet-yhteyden toimiakseen, sillä äänikomennot käsitellään pilvipalvelussa [48]. Which Home Automation-verkkosivun artikkelissa [53] todetaan paikallisten älykotijärjestelmien tukeutuvan enempi antureiden ja automaatioiden varaan verrattuna pilvipohjaisiin järjestelmiin, sillä ne eivät voi hyödyntää ääniohjausta yhtä tehokkaasti. Tähän on kuitenkin tulossa muutoksia, sillä paikallisia älykotijärjestelmiä varten on kehitteillä paikallisia ääniavustajia ja älykotialusta Home Assistant on julkaisemassa vuonna 2023 täysin paikallisen ääniavustajan, joka ei tarvitse internet-yhteyttä toimiakseen [55]. Eric ym. [77] esittävät artikkelissaan kolme eri tapaa, miten ääniohjattavat virtuaaliassistentit voidaan toteuttaa älykotijärjestelmässä. Kuvassa 4.1 on näkyvillä täysin pilvipohjainen ääniohjaus, jossa käyttäjän syöte lähtee suoraan pilvipalvelimelle käsittelyä varten. Tämän jälkeen puheentunnistuksen tarjoava pilvipalvelin välittää ohjauskomennon siihen yhdistettyyn älykotialustan pilvipalvelimeen, josta ohjauskomento lopulta kulkeutuu kodissa sijaitsevalla älykotilaitteelle saaden aikaan halutun lopputuloksen.



Kuva 4.1. *Älykotijärjestelmä, jossa ääniohjaus perustuu kolmannen osapuolen pilvipalvelun tarjoamaan puheentunnistukseen [77] (kirjoittajan kääntämä).*

Toinen tapa toteuttaa älykotijärjestelmän ääniohjaus on Eric ym. [77] mukaan sellainen, missä älykodissa oleva keskitin välittää äänikomennot älykotialustan pilvipalvelimelle, jossa syöte käsitellään. Keskitin saa käsitellyn ohjauskomennon takaisin pilvipalvelimelta, jonka perusteella se osaa tehdä tarvittavat toimet laitteiden ohjaukseen tai muuhun toiminnallisuuteen liittyen. Kuvassa 4.2 on näkyvissä älykotijärjestelmän infrastruktuuri, missä ääniohjaus on perustuu keskittimen ja pilvipalvelun yhteistyöhön.

Kuva 4.2. *Älykotijärjestelmän infrastuktuuri, jossa ääniohjaus on toteutettu kytkimen ja pilvipalvelun yhteistyönä [77] (kirjoittajan kääntämä).*

Kolmas ja täysin kodin sisällä toimiva toteutus ääniohjaukseen on sellainen, missä äly-

kotijärjestelmän keskitin käsittelee äänikomennot paikallisesti, eikä pilvipalvelun tarvetta ole. Eric ym. [77] sanovat tällaisen toteutuksen toimivan täysin ilman internet-yhteyttä. He [77] kuitenkin huomauttavat, että äänen käsittely reaaliajassa on kuormittavaa laskennallisesti, joten keskittimeltä vaaditaan paljon laskentatehoa, joka vastavuoroisesti nostaa älykotijärjestelmän kustannuksia. Kuvassa 4.3 on esillä Eric ym. [77] artikkelissa esitetty älykotijärjestelmän infrastruktuuri, missä on käytössä täysin paikallinen ääniohjaus. Näin toteutettu ääniohjaus sopisi parhaiten erityisesti paikalliseen älykotijärjestelmään, sillä sen toimintaan ei vaadita internet-yhteyttä.

Kuva 4.3. *Älykotijärjestelmä, jossa ääniohjaus käsitellään paikallisesti ilman internet-yhteyden tarvetta [77] (kirjoittajan kääntämä).*

Mikäli paikallisen älykotijärjestelmän käyttäjä ei halua kuitenkaan olla käyttämättä ääniavustajia, mutta haluaa pitäytyä paikallisessa ohjauksessa muiden laitteiden osilta, niin on usein mahdollista integroida pilvipalvelua käyttävä ääniavustaja myös paikalliseen älykotijärjestelmään [19].

Analysoiduissa lähteissä ilmeni, että pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä on tällä hetkellä parempi tuki ääniavustajille verrattuna paikallisiin älykotijärjestelmiin, sillä äänikomentojen käsittely vaatii huomattavaa laskentatehoa.

4.3 Kestävyys internet-katkoksia vastaan

Kirjallisuudesta havaittiin useita mainintoja internet-katkosten vaikutuksista älykotijärjestelmiin. Erityisesti pilvipohjaisten älykotijärjestelmien internet-katkosten kestävyyttä käsiteltiin monessa analysoidussa lähteessä. Yhteensä internet-katkoksiin liittyviä havaintoja esiintyi 17 lähteessä. Taulukossa 4.5 on esillä kirjallisuudesta havaitut pääpiirteet liittyen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien kestävyydestä internet-katkoksia vastaan.

Taulukko 4.5. *Havainnot liittyen älykotijärjestelmien internet-katkosten kestävyyteen.*

Havainto	*Havaintojen määrä*	*Esiintyy lähteissä*
Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät voivat menettää toimintakykynsä osittaisesti tai kokonaan internet-yhteyden puuttuessa.	13	[15, 19, 21, 29, 30, 31, 48, 49, 50, 52, 60, 61, 66]
Paikalliset älykotijärjestelmät kestävät internet-katkoksia hyvin, sillä ne eivät vaadi internet-yhteyttä toimiakseen.	10	[19, 29, 30, 31, 46, 48, 49, 50, 52, 61]
Internet-katkokset voivat johtaa epämukaviin tilanteisiin pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä.	5	[19, 21, 48, 61, 66]
Matter-standardin myötä pilvipohjaisten älykotijärjestelmien internet-katkosten kestävyys tulee paranemaan.	2	[15, 62]

Kuten lähteet [31, 50, 61] toteavat, pilvipohjaisessa järjestelmässä älykotilaitteet voivat menettää toimintakykynsä, kun yhteys pilvipalveluun katkeaa. Pahimmassa tapauksessa käyttäjät eivät voi hallita kodin älylaitteita, jolloin laitteet voivat olla käytännössä hyödyttömiä [48]. Tätä tukee myös Doan ym. [21] maininta siitä, että yhteyden katkeaminen pilvipalveluun voi johtaa käyttäjien kannalta epämukaviin olosuhteisiin, kuten älytermostaattien sammumiseen ja sen johdosta kodin viilentymiseen. He [21] lisäävät, että yhteyden katkeaminen voi johtaa myös turvallisuusongelmiin, kuten älylukkojen virheelliseen toimintaan, jolloin ovet voivat jäädä tahattomasti lukitsematta. Ilman internet-yhteyttä voi olla Jakobin ym. [56] havaintojen mukaan mahdotonta muuttaa älykotilaitteiden asetuksia. Syitä yhteyden katkeamiseen voi Doanin ja muiden [21] mukaan olla väliaikaiset häiriöt verkkoyhteydessä, luonnonkatastrofit, ja kohdistuneet hyökkäykset häirintätarkoituksessa. Ovens [60] puolestaan nostaa verkkojulkaisussaan esille tunnettujen pilvipalveluiden, kuten Cloudflaren, kokeneen katkoksia lähivuosina. Hän [60] myös pohtii sitä, onko pilvipohjaisen älykotijärjestelmän tuoma helppokäyttöisyys ja mukavuus sen arvoista, että automaatiot ja älylaitteiden ohjaus mahdollisesti lakkaavat toimimasta internet-yhteyden katketessa.

Kääntöpuolena lähteissä [19, 31] todetaan paikallisten älykotijärjestelmien kestävän erinomaisesti internet-katkokset, koska paikalliset älykotijärjestelmät eivät ole riippuvaisia internet-yhteydestä. Myös Buchanan [52] mainitsee paikallisten älykotijärjestelmien yhdeksi suurimmaksi eduksi verrattuna pilvipohjaisiin älykotijärjestelmiin sen, että järjestelmän käyttäminen onnistuu ilman internet-yhteyttä. Suositun paikallisen älykotialustan Home Assistantin yhdeksi sen suurimmaksi vetovoimaksi sanotaan [46] sen tuoma mah-

dollisuus ohjata älykotilaitteita, vaikka internet-yhteyttä ei olisi saatavilla.

Ratkaisuna pilvipalvelusta riippuvaisiin älykotilaitteisiin on ehdotettu [66] myös hybridi-toteutusta, jossa älykotilaitteet hyödyntävät pilvipalveluja, mutta eivät kuitenkaan ole täysin riippuvaisia niistä. Viime kädessä käyttäjien on harkittava mukavuuden ja luotettavuuden välisiä kompromisseja valitessaan paikallisten ja pilvipohjaisten älykotialustojen välillä, kuten Ovens ja Barclay [30, 60] korostavat.

Pilvipohjaisten älykotijärjestelmien internet-katkosten kestävyyteen on kuitenkin tulossa suuria muutoksia, sillä älykotistandardi Matter julkaistiin marraskuussa 2022. Matter on avoimeen lähdekoodiin perustuva standardi, jossa laitteet saavat IP-protokollan mukaiset osoitteet. Matterin ja usein sen rinnalla kulkevan Thread-protokollan avulla älylaitteet voivat toimia ilman jatkuvaa yhteyttä pilvipalveluihin, jolloin niitä voidaan ohjata paikallisesti internet-yhteyden ollessa saavuttamattomissa. [15] Tofelin [62] verkkojulkaisussa todetaan, että Matter ja Thread eivät kuitenkaan poista täysin internet-yhteyden tarvetta pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä, sillä joidenkin älykotilaitteiden kohdalla, kuten Philips Huen, Matter tarjoaa vain perustoiminnot käytettäviksi ilman internet-yhteyttä. Näin ollen kaikkien ominaisuuksien hyödyntäminen tietyissä älykotilaitteissa tulee vielä tarvitsemaan internet-yhteyden [62].

4.4 Standardit ja kommunikaatioprotokollat

Pilvipohjaisissa ja paikallisissa älykotijärjestelmissä havaittiin eroja myös niissä käytetyissä standardeissa ja kommunikaatioprotokollissa. Tähän pääpiirteeseen liittyviä havaintoja löytyi 17 lähteestä. Taulukossa 4.6 on esillä lähteistä nostettuja pääpiirteitä liittyen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksiin käytetyissä standardeissa ja kommunikaatioprotokollissa.

Taulukko 4.6. *Havainnot liittyen standardeihin ja kommunikaatioprotokolliin.*

Havainto	*Havaintojen määrä*	*Esiintyy lähteissä*
Paikallisissa älykotijärjestelmissä käytetyimpiä kommunikaatioprotokollia ovat Zigbee, Z-Wave, Bluetooth ja Thread.	12	[3, 33, 39, 46, 47, 48, 49, 50, 53, 64, 66]
Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät hyödyntävät laitteiden ohjauksessa Wi-Fi-protokollaa enemmän kuin paikalliset älykotijärjestelmät.	9	[19, 20, 31, 33, 48, 49, 61, 65, 66]
Matter-standardi ja Thread-protokolla ovat yleistymässä sekä paikallisissa että pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä.	5	[15, 46, 48, 62, 63]

Etenkin julkaisuissa vuosilta 2017-2021 nousi esille havaintoja, joissa näiden kahden järjestelmätyypin eroja kommunikaatioprotokollien suhteen käsiteltiin. Suosituimpia protokollia älykodeissa olivat vuonna 2019 julkaistun artikkelin [78] mukaan Wi-Fi, Zigbee, Z-Wave ja Bluetooth. Kuitenkin vuonna 2023 julkaistuissa verkkojulkaisuissa [15, 62] liittyen pilvipohjaisiin älykotijärjestelmiin on alkanut esiintyä enenevissä määrin mainintoja Matter-standardin käytöstä. Matter-standardin ja sen mukana kulkeva Thread-protokollan käyttö on alkanut yleistyä myös paikallisissa älykotijärjestelmissä [46, 63]. Tämä voi kertoa siitä, että Matter-standardin alkaessa yleistyä, ovat erot paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien käyttämissä standardeissa ja kommunikaatioprotokollissa vähentyneet.

Analysoiduissa lähteissä yleisenä huomiona oli se, että pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä yleisimmin käytetty kommunikaatioprotokolla on Wi-Fi, jonka avulla älykotilaitteet ovat yhteydessä pilvipalveluun [20, 48]. Kuitenkin myös Zigbee- ja Z-Wave-protokollia käytetään pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä, esimerkiksi Samsung SmartThings-älykoti alustassa, joka mahdollistaa sille osittaisen paikallisen ohjauksen [64]. Bonnici [50] huomauttaa, että Wi-Fi-protokollaa käyttävät pilvipohjaiset älykotijärjestelmät eivät ole yhtä tietoturvallisia kuin Zigbee tai Z-Wave -protokollaan perustuvat järjestelmät, etenkin jos kyseessä on vielä laajassa käytössä oleva Wi-Fi 5-versio [15].

Paikallisissa älykotijärjestelmissä yleisimpinä kommunikaatioprotokollina ovat Zigbee, Z-Wave, Bluetooth ja Thread [3, 48]. Laitteet kommunikoivat tälläisissa järjestelmissä joko toisille laitteille suoraan tai sitten keskittimelle, jossa on protokollaa tukeva radiovastaanotin [33]. Zigbee, Z-Wave ja Thread-protokollat mahdollistavat suoran laitekohtaisen viestinnän paikallisverkossa ja luovat toisiinsa liitettyjen laitteiden mesh-verkon [53]. Niissä asetetaan etusijalle alhainen virrankulutus ja matalan vasteajan viestintä, ja ne tarjoavat luotettavan kattavuuden koko kodin alueella. Useimmat näistä kommunikaatioprotokollista eivät ole yhteensopivia keskenään. Tämä tarkoittaa sitä, että jos älykotilaitteet käyttävät erilaisia protokollia, ne eivät voi suoraan kommunikoida keskenään [78].

Pilvipohjaisten ja paikallisten älykotijärjestelmien suurimpana eroavaisuutena standardeissa ja kommunikaatioprotokollissa oli se, että paikalliset älykotijärjestelmät käyttävät paikalliseen ohjaukseen sopivia protokollia, kuten Zigbee, Thread, Z-Wave ja Bluetooth [48, 66], kun taas pilvipohjaiset hyödyntävät useimmiten Wi-Fi-protokollaa ja niissä älykotilaitteet ovat suoraan yhteydessä reitittimeen keskittimen sijasta [64].

4.5 Yksityisyys ja tietoturvallisuus

Yksityisyyteen ja tietoturvallisuuteen liittyviä havaintoja löytyi 27 lähteestä. Analysoidun kirjallisuuden perusteella oli selvää, että paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksia oli olemassa liittyen niiden yksityisyyden takaamiseen ja tietoturvallisuuteen. Havainnot yksityisyydestä ja tietoturvallisuudesta liitettiin yhteen, koska ne mainittiin usein samassa yhteydessä ja niissä esiintyi päällekkäisyyksiä. Taulukossa 4.7 on esillä tärkeimmät ja useimmin esille nousseet havainnot liittyen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien yksityisyyteen ja tietoturvallisuuteen. Erityisesti pilvipohjaisten järjestelmien yksityisyyteen ja tietoturvallisuuteen liittyvistä ongelmista oli runsaasti havaintoja. Kääntöpuolena paikallisten älykotijärjestelmien vankemmasta tietoturvasta ja yksityisyyden takaamisesta löytyi 10 mainintaa.

Taulukko 4.7. *Havainnot liittyen yksityisyyteen ja tietoturvallisuuteen.*

Havainto	*Havaintojen määrä*	*Esiintyy lähteissä*
Pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä henkilökohtaisia tietoja siirtyy pilvialustalle käsittelyä ja varastointia varten, mikä aiheuttaa yksityisyyteen ja tietoturvallisuuteen liittyviä ongelmia.	19	[11, 21, 28, 29, 30, 31, 38, 49, 50, 52, 60, 61, 66, 67, 70, 71, 72, 73, 74]
Pilvipalveluiden ja kodin väliset yhteydet voivat olla haavoittuvaisia, mikä voi mahdollistaa luvattoman pääsyn ja hallinnan haitallisille toimijoille.	10	[11, 22, 30, 31, 33, 50, 53, 61, 66, 71]
Paikalliset älykotijärjestelmät ovat pilvipohjaisia järjestelmiä tietoturvallisempia ja takaavat paremman yksityisyyden suojan, koska informaatio ei siirry kodin ulkopuolelle pilvipalveluihin.	10	[22, 24, 29, 30, 31, 38, 50, 52, 61, 66]
Sekä pilvipohjaiset että paikalliset järjestelmät voivat olla alttiita tietomurroille.	5	[22, 31, 61, 68, 69]

4.5.1 Yksityisyys

Älykotijärjestelmien yksityisyys ja erityisesti siihen liittyvät huolet nousivat analyysissa yhdeksi yleisimmäksi havainnoksi. Pilvipohjaisten ja paikallisten älykotijärjestelmien suurimpana erona yksityisyyteen liittyen on se, että pilvipohjaisissa järjestelmissä henkilökohtaisia tietoja siirtyy kodin ulkopuolelle pilvipalveluun käsittelyä ja varastointia varten [60, 66].

Sekä harmaassa että valkoisessa kirjallisuudessa tuotiin esille samoja huolia pilvipohjaisten älykotijärjestelmien yksityisyyteen liittyvistä ongelmista. Monet yksityisyyteen liittyvistä huolenaiheista ehdotettiin korjattavaksi vähentämällä pilvipalvelussa tapahtuvaa tietojenkäsittelyä esimerkiksi siten, että siirrytään osittain tai kokonaan käyttämään paikallista informaation käsittelyä, kuten paikallisissa älykotijärjestelmissä toimitaan [24, 49, 61, 72].

Bey [31] mainitsee yksityisyyteen liittyvien huolenaiheiden pohjautuvan siihen, että pilvialustan palveluntarjoajat keräävät ja tallentavat käyttäjätietoja, käyttäytymistä ja rutiineja niiden käyttäjistään. Doan ym. [21] huomauttavat, että pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä on täysi luottamus pilvipalveluiden palveluntarjoajiin, joilla on pääsy niiden käyttäjien henkilökohtaisiin tietoihin ja elämäntapoihin. Bonnicin [50] mukaan käyttäjät saattavat tiedostamattaan luovuttaa oikeutensa henkilökohtaiseen tietoonsa palveluntarjoajille hyväksyessään käyttöehdot. Pilvipalveluun meneviin tietoihin sisältyy arkaluonteisia tietoja, kuten kodin turvakameroiden videomateriaalia, älylukkojen saapumis- ja poistumisaikoja ja kotiosoitteita [61]. Henkilökohtaisia tietoja siirtyy Uptonin [29] mukaan pilvipalveluun jatkuvasti, mikä aiheuttaa mahdollisia riskejä yksityisyyden suojan loukkauksista ja tietojen luvattomasta käytöstä. Zhengin ja muiden [67] mukaan myös muustakin kuin audiovisuaalisesta informaatiosta on mahdollista koneoppimisen avulla jalostaa henkilökohtaista tietoa käyttäjästä. Barclay [30] kertoo yrityksien voivan käyttää kerättyjä tietoja järjestelmiensä parantamiseen, mutta on myös mahdollista, että ne myydään mainostajille ja data-analyysiyrityksille. Hän [30] lisää, että yksityisyyden suojaan liittyvät huolenaiheet ulottuvat myös virtuaaliavustajiin, turvakameroiden kuvamateriaaliin ja sijaintitietoihin, mikä tekee huolenaiheista entistäkin merkittävämpiä.

Tutkimuksessaan Gao ym. [74] mainitsevat joidenkin ääniavustajien paljastuneen äänittäen käyttäjien keskusteluja jatkuvasti ja vuotaneensa ne pilvipalveluun heidän tietämättään. Ylipäätään ääniavustajien vähäinen laskentateho johtaa siihen, että äänikomennot on lähetettävä pilvipalvelulle käsittelyä varten [74]. Myös Edu ym. [28] toteavat virtuaaliavustajien olevan alttiita lukuisille tietoturvaan ja yksityisyyteen liittyville vaaroille. Vaikka jotkin yritykset väittävät asettavansa kodin ja henkilökohtaisten tietojen turvallisuuden etusijalle, varovaisuutta on silti syytä noudattaa. Zavalyshyn ym. [73] mukaan yritysten laajamittainen valvonta ja anturitietojen murrot ovat lisänneet kuluttajien huolta yksityisyydestä älykotiteknologiassa. Vaikka yksityisyyden suojaa pyritään parantamaan ja tiedonkeruuta vähentämään, riskejä on edelleen, kuten tietojen varastaminen, jakaminen autoritaaristen hallitusten kanssa tai niiden myynti markkinointikäyttöön huomauttaa Fingas [70]. Vaikka pilvipohjaisten älykotijärjestelmien yksityisyyteen liittyykin paljon huolenaiheita, niin Euroopassa vallitseva yleinen tietosuoja-asetus (GDPR) hillitsee henkilökohtaisten tietojen väärinkäytöksiä kertovat Alshehri ja muut [71]. Amentan ym. [72] mukaan pilvipalveluiden käyttäminen älykotijärjestelmissä voi kuitenkin olla haastavaa yksityisyyden näkökulmasta, sillä palveluntarjoajat saattavat sijaita Euroopan ulkopuolella, jossa pätevät eri lainsäädännöt.

Paikallisten älykotijärjestelmien yksityisyyttä tarkastellessa Buchanan [52] sanoo niiden antavan yksilöille paremman hallinnan yksityisyydestään, sillä informaatiota ei siirry suurille yrityksille jokaisen ohjaustoimenpiteen yhteydessä. Tätä väitettä tukee Bey [31] korostaessaan paikallisen älykotijärjestelmän etuja, kuten pienempiä tietoturvariskejä ja parempaa yksityisyyttä verrattuna pilvipohjaiseen järjestelmään. Hendricksonin [49] verkkojulkaisussa todetaan, että paikalliset älykotijärjestelmät varmistavat, että tiedot pysyvät kodin sisällä ja lieventävät yksityisyyteen liittyviä huolenaiheita. Myös Bonnici [50] ja Upton [29] painottavat, että paikallisesti toimivan järjestelmän avulla käyttäjät säilyttävät omistusoikeuden älykotituotteisiinsa ja niiden keräämiin tietoihin, varmistaen, että tiedot pysyvät heidän kotonaan, eikä niitä jaeta ulkopuolisille. Homeagenius-verkkosivustolla [61] mainitaan, että arkaluonteiset tiedot, kuten automaatiosäännöt, säilyvät paikallisesti järjestelmässä, mikä edistää yksityisyyttä entisestään. Beyn [31] mukaan jotkut yksilöt pitävät yksityisyyden ja turvallisuuden maksimointia tärkeänä, kun taas toiset eivät välitä tietojensa jakamisesta palveluntarjoajille. Zhengin ym. [67] tutkimus osoittaa saman suuntauksen todetessaan tutkimukseen osallistuneiden käyttäjien arvostavan älykotilaitteiden tuomaa mukavuutta enemmän kuin yksityisyyteen liittyviä riskejä ja huolia. Myös Whalen [66] toteaa yksityisyydestään enemmän välittävien ihmisten suosivan paikallisia älykotijärjestelmiä, kun taas helppokäyttöisyyttä arvostavat ihmiset suosivat pilvipohjaisia järjestelmiä.

Havaintojen pohjalta voidaan todeta, että paikalliset älykotijärjestelmät minimoivat yksityisyyteen liittyviä huolenaiheita verrattuna pilvipohjaisiin älykotijärjestelmiin. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että paikalliset älykotijärjestelmät olisivat ainoa oikea valinta, sillä se on lopulta käyttäjien oma valinta yksityisyyden ja käyttömukavuuden väliltä. Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät tarjoavat monipuolisempia ominaisuuksia pilvipalveluiden mahdollistamien resurssien avulla, mutta tuovat mukanaan riskejä liittyen käyttäjien yksityisyyteen. Käyttäjät voivat hallita yksityisyyttään paremmin estämällä tietojensa päätymisen suurille palveluntarjoajille ja harkitsemalla älykotialustoja, jotka asettavat yksityisyyden suojan etusijalle, kuten Apple HomeKit, ja täysin paikalliset älykotijärjestelmät, kuten Home Assistant, OpenHAB ja Hubitat [49, 66, 70].

4.5.2 Tietoturvallisuus

Tietoturvallisuus on noussut merkittäväksi vertailukohteeksi pilvipohjaisten ja paikallisten älykotijärjestelmien välillä. Esineiden internetiin ja tietoturvallisuuteen liittyvää tutkimustietoa on saatavilla laajalti, jolloin tämä koskee myös älykotilaitteita, sillä ne perustuvat pääasiassa esineiden internetiin [11].

Mocriin ym. [22] tutkimuksen mukaan älykotijärjestelmät altistuvat sisäisille ja ulkoisille uhille. Sisäiset hyökkäykset ovat heidän [22] mukaan mahdollisia silloin, jos hyökkääjä on fyysisesti paikan päällä, kun taas ulkoiset uhat tulevat internet-yhteyden kautta. Pai-

kalliset älykotijärjestelmät, joita ei ole yhdistetty internetiin, ovat alttiita siis vain sisäisille uhille. Sisäiset hyökkäykset ovat mahdollisia, koska älykodeissa yleisesti käytetyt kommunikaatioprotokollat, kuten Zigbee- ja Thread-verkot, ovat osoittautuneet haavoittuviksi, mikä mahdollistaa laitteiden kaappaamisen tai haittaohjelmien asentamisen [68, 79]. Serrorin ym. ja Gaon ym. [69, 74] mukaan seurauksia tietomurroista ja hakkeroinnista ovat muun muassa henkilökohtaisten tietojen paljastuminen, älylaitteiden tahaton hallinta ja haittaohjelmien asentaminen järjestelmään.

Pilvipohjaisten ja paikallisten älykotijärjestelmien tietoturvallisuudessa on huomattavia eroja. Pilvipohjaiset järjestelmät ovat saaneet paljon huomiota, kun on keskusteltu niiden ongelmista. Ensinnäkin Bey [31] mainitsee, että palveluntarjoajat harvoin tiedottavat tietoturvaloukkauksista reaaliajassa, mikä voi jättää käyttäjät tietämättömiksi potentiaalisista riskeistä. Lisäksi pilvipalveluiden ja kodin väliset yhteydet ovat alttiita tietomurroille, mikä voi mahdollistaa haitallisille toimijoille luvattoman pääsyn älykotijärjestelmään [61]. Vaikka laitevalmistajat vakuuttaisivatkin laitteiden olevan täysin suojattuja tietomurtoja vastaan, niin siitä ei kuitenkaan voida olla täysin varmoja [66]. Dancen [33] mukaan suurten älykotialustojen palveluntarjoajat voivat olla haavoittuvaisia tietomurroille, vaikka ne asettavatkin turvallisuuden etusijalle, joten käyttäjien on pysyttävä tietoisina ja valppaina riskeistä. Älykotilaitteet ovat erityisen alttiita verkkohyökkäyksille, mikä asettaa käyttäjien henkilötiedot vaaraan, koska hyökkääjät voivat hyödyntää näitä laitteita päästäkseen käsiksi yksityisiin verkkoihin [53]. Pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä käyttäjätiedot siirretään ulkoisille palvelimille, jolloin käyttäjien tietosuoja on täysin palveluntarjoajien vastuulla. Barclay [30] huomauttaa, että tämä voi tehdä tällaisista palveluntarjoajista houkuttelevia kohteita tietomurtojen tekijöille. Älykotilaitteissa sanotaan [53] olevan heikko tietoturva, jolloin erityisesti internetiin yhdistettynä ne voivat vaarantaa myös kodin sisäverkon altistaen henkilökohtaiset tiedot ulkopuolisille. Balakrishnan ym. [11] huomauttavat hakkeroinnin ja tietomurrot, erityisesti palvelinpuolella, aiheuttavan riskejä pilvipohjaisille älykotijärjestelmille viitaten tehtyihin tutkimuksiin. He [11] lisäävät, taas viitaten toiseen tutkimukseen, että varsinkin älykotijärjestelmän etäohjaus on haastavaa yksityisyyden ja informaation salauksen näkökulmasta.

Paikalliset älykotijärjestelmät tarjoavat selvää etua tietoturvallisuudessa verrattuna pilvipohjaisiin järjestelmiin. Bonnicin [50] mukaan älykotikeskittimissä käytetään kehittyneitä salausmenetelmiä ja tiukkoja turvallisuusstandardeja, mikä vaikeuttaa sisäverkon hakkerointia. Lisäksi riippumattomuus pilvipalveluista parantaa laitteiden turvallisuutta, erityisesti arkaluonteisten laitteiden, kuten älylukkojen ja turvakameroiden, osalta [15]. Parochan ym. [38] tutkimuksessa esitetyn vertailun mukaan paikallinen älykotialusta openHAB kohtaa vain vähäisiä turvallisuusongelmia, kun taas Samsung SmartThings-älykotialustan todetaan olevan haavoittuvaisempi tietomurroille. Luvattoman pääsyn saaminen lähiverkkoon vaatii fyysistä läsnäoloa käyttäjän kiinteistöllä, mikä on Homeagenius-verkkosivuston [61] mukaan huomattavasti vaikeampaa kuin etäpalvelimen hakkerointi. Upton [29] tu-

kee edellä mainittuja havaintoja sanoessaan paikalliset järjestelmien estävän ulkoiset hyökkääjät, koska niissä sijaitsevat älykotilaitteet eivät ole yhteydessä julkiseen internetverkkoon.

Vaikka pilvipohjaiset älykotijärjestelmät voivatkin tarjota etuja laskentatehossa ja käyttökokemuksen mukavuudessa, tietoturvaan liittyvät huolenaiheet ovat edelleen olemassa [27]. Kuten yksityisyyteen liittyvissä haasteissa, käyttäjien on harkittava huolellisesti turvallisuusvaikutuksia ja punnittava etuja ja haittoja valitessaan pilvipohjaisten ja paikallisten älykotijärjestelmien välillä.

4.6 Järjestelmän elinkaari ja tuki

Analyysin tuloksena havaittiin kahdeksassa julkaisussa eroja pilvipohjaisten ja paikallisten älykotijärjestelmien elinkaaren ja tuen suhteen. Tämä viittaa siihen, kuinka kauan älykotijärjestelmä ja siihen liittyvät älykotilaitteet pysyvät toimintakuntoisina ilman erityisiä toimenpiteitä käyttäjien puolelta. Elinkaareen ja siihen vaikuttavasta kolmansien osapuolien riippuvuudesta löytyi havaintoja pääosin vain harmaasta kirjallisuudesta. Vain yhdessä analysoidussa valkoisen kirjallisuuden lähteessä [21] käsiteltiin älykotijärjestelmien riippuvuutta kolmansien osapuolien palveluista, mutta sen vaikutusta älykotijärjestelmien elinkaareen ei tarkasteltu. Taulukossa 4.8 on esillä analysoidusta kirjallisuudesta johdetut havainnot liittyen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien elinkaareen.

Taulukko 4.8. *Havainnot liittyen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien elinkaareen ja tukeen.*

Havainto	*Havaintojen määrä*	*Esiintyy lähteissä*
Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät ja -laitteet voivat muuttua käyttökelvottomiksi, jos palveluntarjoaja tai laitevalmistaja, josta ne ovat riippuvaisia, lopettaa toimintansa.	7	[30, 33, 49, 50, 52, 60, 61]
Paikalliset älykotijärjestelmät eivät ole riippuvaisia ulkoisista palveluntarjoajista, palveluista tai yhteyksistä.	4	[29, 49, 50, 61]
Riippumattomuuden johdosta paikallisilla älykotijärjestelmillä on pidempi elinkaari verrattuna pilvipohjaisiin älykotijärjestelmiin.	4	[30, 49, 50, 52]

Pilvipohjaisten älykotijärjestelmien riippuvuus kolmannen osapuolen palveluista voi johtaa samantapaisiin haasteisiin, kuin mitä internet-katkoksen aiheuttamat haasteet ovat. Kirjallisuudessa nousi esiin useita mainintoja paikallisten älykotijärjestelmien pitkästä elinkaaresta verrattuna pilvipohjaisiin järjestelmiin. Bonnicin [50] mukaan pilvipohjaisen järjestelmän älykotilaitteet voivat muuttua käyttökelvottomiksi, jos laitteen valmistajan yritys lopettaa toimintansa, esimerkiksi konkurssin johdosta. Tätä samaa väitettä tukevat muutkin lähteet, kuten Homeagenius-sivustolla julkaistu artikkeli [61], jossa todetaan käyttäjien saattavan menettää älykotilaitteidensa hallinnan, jos niiden taustalla oleva yritys sulkee palvelimensa tai lopettaa toimintansa.

Barclayn [30] mukaan kuluttajien ei tulisi olla riippuvaisia siitä, että heidän älykotijärjestelmän taustalla oleva yritys olisi vielä usean vuoden kuluttua toiminnassa. Ratkaisuna tähän löytyy Uptonin ja Barclayn [29, 30] mukaan paikallisista älykotijärjestelmistä, jotka eivät ole riippuvaisia kolmansien osapuolien palveluista tai yhteyksistä. Myös Bonnicin ja Buchananin [50, 52] verkkojulkaisuissa todetaan paikallisten älykotijärjestelmien pitkä elinkaari. Kuitenkin jos pilvipohjainen älykotijärjestelmä valitaan, on Dancen [33] mukaan kannattavaa valita sellainen älykotijärjestelmän tarjoaja, joka on vakaa, eikä todennäköisesti tule lopettamaan toimintaansa lähitulevaisuudessa.

4.7 Laiteyhteensopivuus

Analysoiduista lähteistä 19 oli havaittavissa mainintoja laiteyhteensopivuudesta, joko suoraan verraten pilvipohjaisia ja paikallisia älykotijärjestelmiä tai esittäen yksipuolisia havaintoja jommankumman näkökulmasta. Taulukossa 4.9 on esillä yleisimmät havainnot liittyen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien laiteyhteensopivuuteen.

Taulukko 4.9. *Havainnot liittyen älykotijärjestelmien laiteyhteensopivuuteen.*

Havainto	*Havaintojen määrä*	*Esiintyy lähteissä*
Pilvipohjaiset järjestelmät voivat rajoittaa laiteyhteensopivuutta, jos ne tukevat vain tietylle valmistajalle tai ekosysteemille kuuluvia laitteita.	7	[12, 15, 38, 48, 50, 56, 65]
Avoimen lähdekoodin paikalliset järjestelmät, kuten openHAB ja Home Assistant, tarjoavat joustavuutta ja yhteensopivuutta eri laitteiden ja protokollien kanssa.	5	[3, 12, 38, 39, 48]

Heikko laiteyhteensopivuus voi johtaa tilanteeseen, missä älykotijärjestelmän laitteita on ohjattava monien eri sovellusten kautta.	4	[33, 38, 65, 75]
Järjestelmät, joissa on monia eri kommunikaatioprotokollia tukeva keskitin, tarjoavat kattavimman laiteyhteensopivuuden.	4	[3, 20, 22, 50]
Laiteyhteensopivuus voi olla heikkoa erityisesti pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä, jonka laitteet ovat täysin sidottuja palveluntarjoajan pilvipalveluun.	3	[33, 48, 65]
Matter-standardi parantaa sekä pilvipohjaisten että paikallisten älykotijärjestelmien laiteyhteensopivuutta.	2	[15, 63]

Älykotijärjestelmien kontekstissa laiteyhteensopivuudella tarkoitetaan laitteiden kykyä kommunikoida toisten laitteiden kanssa [20]. Käytännössä sillä tarkoitetaan sitä, että eri valmistajien älykotilaitteet voivat toimia yhdessä ja vaihtaa tietoa sulavasti keskenään ilman rajoituksia tai konflikteja [39]. Laiteyhteensopivuuden avulla käyttäjät voivat ohjata kaikkia älykotijärjestelmän laitteita yhden järjestelmän kautta sen sijaan, että he joutuisivat ohjaamaan jokaista eri valmistajan laitetta eri sovelluksen kautta [50]. Laiteyhteensopivuuden takaaminen perustuu älykotijärjestelmissä ja älykotilaitteissa käytettyihin kommunikaatioprotokolliin ja standardeihin [11].

Wankhede ja Petrova-Antonova ym. [48, 76] toteavat, että älykotijärjestelmien laiteyhteensopivuusongelmat johtuvat älykotimarkkinoiden nopeasta kasvusta, mikä puolestaan on johtanut kilpailevien standardien ja kommunikaatioprotokollien käyttöön. Monien eri standardien ja kommunikaatioprotokollien käyttö on johtanut älykotimarkkinoiden pirstoutumiseen, eli kuluttajille on saatavilla moniin eri kommunikaatioprotokolliin perustuvia älykotilaitteita [56]. Perkinsin [15] mielestä älykodeissa käytettyjen langattomien kommunikaatioprotokollien kentällä alkoi olla liikaa ruuhkaa, kun Z-Wave, Wi-Fi, Zigbee ja Bluetooth toimivat kilpailijoina.

Motivaatiota useiden eri valmistajien älykotilaitteiden käyttöön esitettiin kirjallisuudessa. Katukin ym. [65] mukaan kuluttajat eivät pitäydy vain yhden valmistajan älykotilaitteissa, sillä joskus tarvittavia ominaisuuksia ei ole saatavilla tietyn valmistajan laitteissa. Laite-

valmistajat tarjoavat usein laitteilleen oman sovelluksen niiden ohjaukseen, joka monien eri valmistajien laitteita käyttäessä voi johtaa monien sovellusten käyttämiseen, mikäli laitteet eivät käytä yhteensopivia kommunikaatioprotokollia ja standardeja [75]. Saman toteamuksen esittivät Perkins, Dance, ja Bonnici [15, 33, 50] todetessaan, että pahimmassa tapauksessa käyttäjällä voi olla lukuisia sovelluksia eri laitteiden ohjaukseen, mikäli laitteita ei ole mahdollista integroida yhteen järjestelmään. Mocriin ym. [22] mukaan laiteyhteensopivuudesta on tärkeä pitää huolta myös siksi, koska tietyt älykotiprotokollat, kuten Zigbee ja Z-Wave, hyödyntävät mesh-verkkoja saavuttaakseen pidemmän kantavuuden. Mikäli laitteet eivät ole yhteensopivia keskenään, voi näiden verkkojen kantavuus olla hyvin rajattua, sillä informaatio ei pääse kulkemaan yhteensopimattomien laitteiden kautta, kuten mesh-verkoissa olisi tarkoitus [22].

Eroja pilvipohjaisten ja paikallisten älykotijärjestelmien näkökulmasta laiteyhteensopivuudessa esiintyi lukuisia, vaikkakin lähteiden perusteella olikin nähtävissä yhtenäistymistä. Sellaiset pilvipohjaiset älykotijärjestelmät, jotka käyttävät Wi-Fi-protokollaa, eivätkä käytä keskitintä, todettiin [33, 48, 65] olevan heikoimpia laiteyhteensopivuuden kannalta. Tämä johtuu siitä, että Wi-Fi-pohjaiset älykotilaitteet ovat usein täysin sidottuja laitevalmistajan pilvipalveluun, jolloin niiden integrointi toiseen älykotijärjestelmään on haasteellista [48, 50]. Myös sellaiset älykotijärjestelmät, jossa ei ole keskitintä ja keskeisenä kommmunikaatioprotokollana on Bluetooth Low Energy, kerrottiin tukevan vain rajoitettua määrää laitteita [50]. Wangin ym. [12] mukaan kaupalliset ja suljettuun lähdekoodiin perustuvat pilvipohjaiset älykotijärjestelmät usein tukevat vain sellaisia laitteita, jotka kuuluvat heidän omaan ekosysteeminsä, mikä rajoittaa järjestelmän laiteyhteensopivuutta. Wankhede [48] toteaa, että on kuitenkin olemassa pilvipohjaisia älykotijärjestelmiä, joissa laiteyhteensopivuus on kattavaa ja nostaa esimerkiksi Samsung SmartThings-älykotialustan. Mocrii ym. [22] esittävät, että pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä monia eri kommunikaatioprotokollia tukeva keskitin mahdollistaa parhaan mahdollisen laiteyhteensopivuuden, joka toimii myös SmartThings-pohjaisen älykotijärjestelmän keskiössä [48].

Paikallisesti ohjattavat älykotijärjestelmät tarjoavat erilaisen lähestymistavan laiteyhteensopivuuteen. Avoimen lähdekoodin älykotialustat, kuten openHAB ja Home Assistant, mahdollistavat eri valmistajien laitteiden integroinnin, ja näiden alustojen tuki eri laitteille laajenee jatkuvasti [3, 12]. Nämä alustat eivät ole sidoksissa tiettyihin brändeihin tai teknologioihin, mikä mahdollistaa erilaisten laitteiden ja protokollien integroinnin, kuten perinteisten kodin automaatiojärjestelmien (esimerkiksi KNX, Z-Wave, Insteon, EnOcean) ja modernien esineiden internetiin perustuvien laitteiden yhteensovittamisen [3]. Parochan ym. [38] mukaan paikalliset älykotijärjestelmät, kuten openHAB, tarjoavat joustavuutta ja laiteyhteensopivuutta laajan valikoiman laitteiden ja brändien kanssa. Laiteyhteensopivuus voi kuitenkin vaihdella, ja jotkut laitteet saattavat tarjota vain osittaista toiminnallisuutta järjestelmässä, keskittyen pääasiassa perustoimintoihin [38]. Z-Wave kommunikaatioprotokolla on erityisen suosittu paikallisesti ohjattavissa älykotijärjestelmissä laajan

valmistajatuen ja laiteyhteensopivuuden ansiosta [20]. Tätä havaintoa tukee myös Danbatta ym. [47] artikkelissaan, jossa Z-Waven mahdollistamaa laajaa laiteyhteensopivuutta korostettiin. Älykotialustoilla, kuten Home Assistant, on aktiivinen yhteisö, joka jatkuvasti kehittää uusia ominaisuuksia ja laiteintegraatioita uusien laitteiden tullessa markkinoille [48]. Wankhede [48] korostaa verkkojulkaisussaan myös toista paikallista älykotijärjestelmää nimeltään Hubitat, todeten sen tarjoavan erinomaisen laiteyhteensopivuuden. Näistä havainnoista poiketen Bey [31] sanoo, että paikalliset älykotijärjestelmät voivat olla laiteyhteensopivuudessa melko rajoittuneita, sillä kodissa oleva keskitin ei välttämättä ole yhteensopiva käyttäjän tarvitsemien laitteiden kanssa. Tedee-verkkosivulla [19] julkaistussa artikkelissa tehdään samankaltainen havainto, mutta tämä saattaa johtua siitä, että julkaisussa käsitellään erilaisia paikallisia älykotialustoja, kuten FIBARO ja Grenton, jotka eroavat muista lähteissä mainituista älykotialustoista. Tämä voi viitata siihen, että eri älykotialustoilla on erilaisia ominaisuuksia ja yhteensopivuusominaisuuksia, vaikuttaen havaintoihin laiteyhteensopivuudesta.

Vuoden 2022 lopussa ja vuoden 2023 puolella julkaistuissa julkaisuissa on nähtävillä suunnanmuutosta siinä, miten laiteyhteensopivuudesta keskustellaan. Syynä on Matter-standardin julkaisu lokakuussa 2022, jonka avulla suurimpien älykotialustojen tarjoajat pyrkivät yhtenäistämään käytettyjä standardeja ja protokollia laiteyhteensopivuuden ongelmien ratkaisemiseksi [15]. Matter-standardin kehityksessä mukana ovat suurimpien älykotialustojen takana olevat yhtiöt, kuten Amazon, Apple ja Google [15]. Lisäksi Home Assistant, paikallinen älykotijärjestelmä, on lisännyt tuen Matter-standardille, joten myös paikallisten älykotijärjestelmien laiteyhteensopivuuteen on tullut parannuksia [63]. Havaintojen pohjalta ja lähteissä esiintyvien trendien pohjalta voidaan todeta, että avoimeen lähdekoodiin perustuvilla paikallisilla älykotijärjestelmillä on kattavin laiteyhteensopivuus, kun taas pilvipohjaisilla älykotijärjestelmillä, joissa ei käytetä keskitintä, on heikoin laiteyhteensopivuus [33, 48, 50]. Paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien ongelmat ja eroavaisuudet laiteyhteensopivuudessa voivat vähentyä merkittävästi lähivuosina Matter-standardin yleistyessä [15].

Analysoiduissa lähteissä esiintyi hieman ristiriitaista informaatiota, kun Wang [12] ja Parocha [38] toteavat pilvipohjaisen Samsung SmartThings-älykotialustan tukevan vain rajattua määrää älykotilaitteita. Wankhede [48] sen sijaan toteaa SmartThings-älykotialustan tukevan laajan kattauksen Zigbee- ja Z-Wave-älykotilaitteita lisäten vielä, että myös yhteisön kehittämiä laiteintegraatioita on saatavilla epätavallisemmille laitteille. Ristiriidat näkemyksissä voivat johtua julkaisuiden ajankohdasta (vrt. Wankhede 2023, Wang 2022 ja Parocha 2019), sillä teknologia kehittyy nopeasti ja uusia ominaisuuksia älykotialustoihin ja -järjestelmiin julkaistaan jatkuvasti.

5. TULOSTEN TARKASTELU

Tutkimuksen tavoitteena oli systemaattisesti tutkia alan kirjallisuutta ja vastata tutkimuskysymykseen, joka keskittyy paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksiin. Kirjallisuuskatsauksen avulla pyrittiin tunnistamaan vallitsevat trendit, keskeiset eroavaisuudet, tutkimustiedon aukot sekä integroimaan eri tahojen havainnot ja kokemukset tutkimuskysymykseen liittyen. Tutkimusmenetelmäksi valittiin moniääninen kirjallisuuskatsaus, joka mahdollisti kattavan tietopohjan muodostamisen tutkimuksen aiheesta. Tässä katsauksessa otettiin huomioon sekä valkoinen että harmaa kirjallisuus. Harmaan kirjallisuuden avulla tutkimukseen voitiin sisällyttää alan harrastajien ja älykotijärjestelmien käyttäjien käytännön kokemuksia ja havaintoja, jolloin tieteellisen tutkimustiedon tueksi saatiin käytännönläheinen näkökulma. Tutkimusaineiston valinnassa pyrittiin huolehtimaan tasapainoisesta ja monipuolisesta lähteiden valinnasta, ottaen huomioon sekä valkoisen että harmaan kirjallisuuden. Tavoitteena oli varmistaa, että tutkimus hyödynsi tasavertaisesti molempia aineistolähteitä.

5.1 Päähavainnot tuloksista

Tutkimuksessa analysoitiin 51 kirjallisuuden lähdettä ja niissä esiintyvän tiedon perusteella löydettiin seitsemän keskeistä pääpiirrettä liittyen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksiin, jolloin tutkimuskysymykseen löydettiin vastaus. Keskeisimmät piirteet, missä paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuudet esiintyivät olivat seuraavat:

1. Asiantuntemuksen tarve, käyttöönotto ja kustannukset
2. Älykotijärjestelmän ohjaus
3. Kestävyys internet-katkoksia vastaan
4. Standardit ja kommunikaatioprotokollat
5. Yksityisyys ja tietoturvallisuus
6. Järjestelmän elinkaari ja tuki
7. Laiteyhteensopivuus

Älykotijärjestelmien asiantuntemuksen tarve, käyttöönotto ja kustannukset vaihtelevat paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien välillä. Paikallisten järjestelmien käyttäminen ja asennus edellyttävät enemmän tietoteknistä osaamista ja älykotijärjestelmien tuntemusta verrattuna pilvipohjaisiin järjestelmiin. Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät ovat yleensä käyttäjäystävällisempiä, kun taas paikalliset järjestelmät voivat olla monimutkaisempia, ja asiakastuki niille voi olla vähäisempää. Paikallisten älykotijärjestelmien kustannuksien todettiin olevan korkeammat kuin pilvipohjaisilla järjestelmillä. Tämä johtuu siitä, että paikalliset järjestelmät vaativat keskittimen tai palvelimen toimiakseen. Tämä on ristiriidassa Parochan ym. [38] tutkimuksessa esitetyn vertailun kanssa, jossa pilvipohjainen Samsung SmartThings-älykotialusta todettiin kalliimmaksi asentaa kuin paikallinen openHAB-älykotialusta. Mahdollinen selitys tälle on se, että Samsung SmartThings-älykotialusta perustuu keskittimeen, mikä nostaa kustannuksia verrattuna ilman keskitintä toimiviin pilvipohjaisiin älykotijärjestelmiin. Ristiriitaan voi vaikuttaa myös tutkimuksen julkaisuajankohta, sillä tutkimus on vuodelta 2019, ja tuotteiden hinnat saattavat olla muuttuneet sen jälkeen. Lisäksi kyseisessä tutkimuksessa käsiteltiin tiettyjä älykotialustoja, eikä käsitelty paikallisia ja pilvipohjaisia älykotijärjestelmiä yleisesti.

Paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien ohjaukseen liittyen havaittiin kolme keskeistä eroavaisuutta: ohjauksen vasteaika, etäohjaus ja ääniohjaus. Pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä on hitaampi vasteaika, kun taas paikallisissa järjestelmissä ohjaus tapahtuu lähes välittömästi. Etäohjaus on helpompi toteuttaa pilvipohjaisissa järjestelmissä, kun taas paikallisissa järjestelmissä se on monimutkaisempaa. Lisäksi täysin paikallista järjestelmää, joka ei ole yhteydessä ulkoverkkoon, ei voida ohjata kodin ulkopuolelta. Tulosten pohjalta voidaan todeta, että pilvipohjaiset älykotijärjestelmät tarjoavat paremman tuen etäohjaukselle ja ääniohjaukselle verrattuna paikallisiin älykotijärjestelmiin.

Internet-katkosten kestävyyden suhteen havaittiin eroja paikallisissa ja pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä. Pilvipohjaisissa järjestelmissä yhteyskatkokset voivat aiheuttaa älylaitteiden toimintakyvyn menetyksen ja altistaa käyttäjät ikäville olosuhteille. Paikalliset järjestelmät sen sijaan selviävät katkoksista paremmin, sillä ne eivät ole riippuvaisia jatkuvasta internet-yhteydestä. Hybridiratkaisuja, joissa yhdistetään pilvipalveluja ja paikallista ohjausta, ehdotettiin parantamaan älykotijärjestelmän internet-katkosten kestävyyttä.

Pilvipohjaisten älykotijärjestelmien havaittiin hyödyntävän Wi-Fi-protokollaa enemmän kuin paikallisten älykotijärjestelmien. Paikallisissa järjestelmissä todettiin käytettävän älykotiprotokollia, kuten Zigbee, Z-Wave ja Thread, enemmän kuin pilvipohjaisissa järjestelmissä. Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät pyrkivät usein tarjoamaan käyttäjäystävällisen ja helppokäyttöisen kokemuksen, mikä voi selittää Wi-Fi-protokollan suosion, koska se on laajasti saatavilla kuluttajien kodeissa. Käytetyissä standardeissa ja kommunikaatioprotokollissa esiintyi enemmän eroavaisuuksia tutkimusaineiston julkaisuvuosien alkupuolella, kun taas loppuvuoden 2022 ja vuoden 2023 puolella julkaistussa tutkimusaineistossa huomattiin Matter-standardin ja Thread-protokollan yleistymistä sekä pilvipohjaisissa että

paikallisissa älykotijärjestelmissä.

Yksityisyyteen ja tietoturvallisuuteen liittyviä eroavaisuuksia paikallisissa ja pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä löytyi runsaasti. Pilvipohjaisten älykotijärjestelmien osalta havaittiin, että ne voivat aiheuttaa käyttäjille yksityisyyteen liittyviä uhkia, kun henkilötiedot siirtyvät kodin ulkopuolella sijaitseviin pilvipalveluihin. Paikallisten älykotijärjestelmien todettiin pitävän parempaa huolta käyttäjien yksityisyydestä, sillä niissä informaatio pysyy kodin sisäverkossa. Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät ovat myös alttiimpia tietoturvariskeille, kuten tietomurroille ja tietoliikenteen salakuuntelulle, verrattuna paikallisiin älykotijärjestelmiin. Paikallisia älykotijärjestelmiä kuvattiin yleisesti ottaen tietoturvallisemmiksi, sillä niihin pääsy edellyttää fyysistä läsnäoloa järjestelmän luona, eikä niihin ole suoraa yhteyttä ulkoverkosta. Tämä tekee paikallisista älykotijärjestelmistä turvallisempia tietomurtoja vastaan.

Pilvipohjaisten järjestelmien riippuvuus kolmansien osapuolien palveluista voi aiheuttaa haasteita järjestelmän pitkäikäisyydelle. Paikallisten älykotijärjestelmien todettiin tarjoavan pidemmän käyttöiän, koska ne eivät ole riippuvaisia ulkoisista palveluista tai yritysten olemassaolosta. Pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä on riski älykotilaitteiden toimintakyvyn menettämiselle, jos taustalla oleva yritys sulkee palvelunsa. Tämä vaikuttaa pilvipohjaisen älykotijärjestelmän elinkaareen mahdollisesti lyhentäen sitä. Tutkimusaineistoon valitusta valkoisesta kirjallisuudesta ei löytynyt mainintoja älykotijärjestelmien elinkaareen tai käyttöikään liittyen, mikä voi kertoa aukosta tutkimustiedossa. Tarkempien hakumerkkijonojen ja laajemman valkoisen kirjallisuuden analyysin avulla voitaisiin varmistaa tämä havainto.

Viimeisimpänä havaittuna eroavaisuutena paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien välillä oli laiteyhteensopivuus. Joidenkin pilvipohjaisten älykotijärjestelmien todettiin rajoittavan laiteyhteensopivuutta mahdollistaen vain tietyn valmistajan tai ekosysteemiin kuuluvien laitteiden yhdistämisen järjestelmään. Paikallisten, ja erityisesti avoimeen lähdekoodiin perustuvien, älykotijärjestelmien kerrottiin tukevan laajaa kattausta älykotilaitteita erilaisten yhteisön luomien integraatioiden kautta. Heikoin laiteyhteensopivuus on sellaisissa pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä, missä ei ole käytössä keskitintä. Sen sijaan parhain laiteyhteensopivuus todettiin olevan sellaisissa älykotijärjestelmissä, missä on käytössä keskitin, joka tukee monia eri älykotiprotokollia. Lisäksi kirjallisuudessa esitettiin Matter-standardin parantavan laiteyhteensopivuutta sekä paikallisissa että pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä vähentäen laiteyhteensopivuuteen liittyviä eroavaisuuksia niiden välillä.

5.2 Tulosten merkitys

Tutkimuksen tulosten avulla paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksia saatiin konkretisoitua ja niistä luotiin kokonaisvaltainen kuva. Tulokset nostivat esille

kirjallisuudessa esiintyvät toistuvat teemat liittyen eroavaisuuksiin käsiteltyjen älykotijärjestelmätyyppien välillä. Tuloksilla on eniten merkitystä älykotijärjestelmistä kiinnostuneille ja erityisesti heille, jotka haluavat käytännönläheistä tietoa paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksista pohtiessaan kumpi sopisi heidän käyttötarkoituksiinsa paremmin. Tutkimusta tehdessä huomattiin monen kirjallisuuslähteen käsittelevän vain rajattua osaa eroavaisuuksien pääpiirteistä, joka tukee tämän tutkimuksen tarpeellisuutta kootessaan ne yhteen. Myös tutkijoille on tutkimuksen tuloksilla merkitystä, sillä niiden pohjalta voidaan havaita osa-alueita, joita tulisi tutkia enemmän.

5.3 Tutkimusmenetelmän sopivuus

Moniääninen kirjallisuuskatsaus sopi hyvin tämän tutkimuksen tutkimusmenetelmäksi. Harmaan kirjallisuuden sisällyttämisen avulla tutkimukseen saatiin tärkeitä havaintoja alan asiantuntijoiden ja käyttäjien näkökulmasta, jolloin tutkimuksen tulokset koskevat yleisemmin älykotijärjestelmiä sen sijaan, että tiettyjen älykotialustojen eroavaisuuksia oltaisiin vertailtu niiden teknisten ominaisuuksien perusteella. Kirjallisuuskatsaus tutkimusmenetelmänä mahdollisti tutkimuskysymykseen vastaamisen kattavasti löytäen kirjallisuudessa esiintyvät trendit ja toistuvat teemat. Mahdollisia aukkoja tutkimustiedossa havaittiin, kun älykotijärjestelmän elinkaareen liittyviä mainintoja ei löytynyt tutkimukseen valituista valkoisen kirjallisuuden lähteistä.

5.4 Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksen luotettavuutta parantaa valitun tutkimusmenetelmän mahdollistama harmaan kirjallisuuden tarkastelu, jolloin tutkimuksessa pystyttiin huomioimaan älykotijärjestelmien asiantuntijoiden ja käyttäjien näkemykset heidän kokemusten perusteella.

Tutkimusaineistossa oli 51 julkaisua, joista 29 oli valkoista kirjallisuutta ja 22 oli harmaata kirjallisuutta. Aineiston koko oli tutkimuskysymykseen vastaamisen kannalta riittävä, mutta valkoisen kirjallisuuden lähteiden olisi tullut käsitellä eroavaisuuksia paikallisissa ja pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä yleisemmin, eikä vain tiettyjen piirteiden näkökulmasta. Valkoisen kirjallisuuden valintaan olisi tullut kiinnittää huomiota tarkemmin, sillä joitakin tutkimuksen tuloksissa esiintyviä pääpiirteitä, kuten älykotijärjestelmän elinkaareen liittyen, löytyi vain harmaan kirjallisuuden lähteistä. Tutkimukseen valitut valkoisen kirjallisuuden lähteet olisivat pitäneet käsitellä älykotijärjestelmiä lähempää tämän tutkimuskysymyksen näkökulmasta. Sen avulla havaintoja paikallisten ja pilvipohjaisten järjestelmien eroavaisuuksista olisi tullut tasapuolisesti valkoisesta ja harmaasta kirjallisuudesta. Osassa valkoisen kirjallisuuden lähteistä käsiteltiin eroavaisuuksia tai jommankumman järjestelmätyypin piirteitä yksipuolisesti, mikä johti siihen, että eroavaisuuksien havaitseminen jäi tämän tutkimuksen tekijän tulkinnan varaan. Nämä seikat voidaan nähdä heikentä-

vän tutkimuksen luotettavuutta. Tutkimuksen luotettavuutta olisi voitu parantaa rajaamalla tutkimusaineiston julkaisuajankohtaa suppeammaksi, jolloin nykytilanteeseen pätemättömien ja vanhentuneiden havaintojen esiintyvyys olisi voitu minimoida. Älykotijärjestelmät ovat kehittyneet lähivuosina merkittävästi ja monia muutoksia käytettyihin teknologioihin ja menetelmiin on otettu käyttöön. Tästä johtuen sopivampi julkaisuajankohdan rajaus olisi ollut esimerkiksi vuosien 2020 - 2023 välillä, jolloin aineistossa ilmenneet havainnot olisivat olleet tuoreempia.

Lisäksi tutkimuksen luotettavuutta heikentää lähteiden hankintaan liittyvät toimet. Tieteellisten julkaisujen tietokantoihin kohdistuneita hakuja ja hakumerkkijonoja olisi ollut tarpeen rajata tarkemmiksi, jolloin hakutuloksia olisi tullut merkittävästi vähemmän. Google Scholar-tietokannan käyttöä olisi pitänyt harkita uudestaan, sillä se antoi hakutuloksia liian useasta tietokannasta, mikä vaikeutti lähteiden valintaa ja suodatusta. Paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksien kokoamisesta yleisellä tasolla ei löydetty muita tieteellisiä tutkimuksia, jolloin tämän tutkimuksen vertautuvuutta toisten tieteellisten tutkimusten tuloksiin on hankala arvioida. Kuitenkin tutkimuksen tulokset tukevat harmaassa kirjallisuudessa esiintyneitä havaintoja. Lopuksi, vaikka harmaan kirjallisuuden lähteitä arvioitiin luotettavuuden kannalta monien eri kriteerien perusteella, niiden käyttö saattoi silti mahdollistaa virheellisen tiedon sisällyttämisen tutkimukseen.

5.5 Tutkimuksen rajoitukset

Tutkimuksen tulokset käsittelivät paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksia yleisellä tasolla, mutta löydettyjä pääpiirteitä ei voida yleistää koskemaan kaikkia paikallisia tai pilvipohjaisia älykotijärjestelmiä. Tämä johtuu älykotijärjestelmien monipuolisuudesta, eivätkä kaikki älykotijärjestelmät ole samanlaisia, vaikka vertailtaisiin vain kahta paikallista tai kahta pilvipohjaista älykotijärjestelmää keskenään.

Tutkimuksessa ei voitu ottaa riittävän kattavasti huomioon Matter-standardin ja Thread-protokollan vaikutuksia paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroavaisuuksiin. Kyseisestä standardista ja protokollasta oli saatavilla vain vähän tutkimustietoa ja kuluttajien kokemuksia oli rajoitetusti, mikä esti niiden vaikutusten laajamittaisen tarkastelun.

5.6 Jatkotutkimushaasteet

Tutkimusaineistossa nousi esille mainintoja Matter-standardin ja Thread-protokollan julkaisusta ja yleistymisestä. Näiden vaikutusta pilvipohjaisiin ja paikallisiin älykotijärjestelmiin olisi hyvä tutkia, sillä niillä on suuri vaikutus älykotijärjestelmiin ja moneen tämän tutkimuksen tuloksissa esitettyihin pääpiirteisiin. Vertaisarvioituja tieteellisiä julkaisuja on saatavilla vain vähän liittyen Matter-standardiin, sillä se julkaistiin lokakuussa 2022. Tästä syystä jatkotutkimuksia edellä mainitusta näkökulmasta olisi hyvä harkita tehtäväksi

aikaisintaan vuonna 2024 tai 2025, jotta tutkimustietoa ja käytännön kokemuksia olisi saatavilla laajemmin teknologian kypsyessä ja pidemmän aikavälin vaikutusten ollessa selvemmät.

Lisäksi olisi tarpeen tutkia enemmän älykotijärjestelmien elinkaaren pituutta, sillä aiheesta on julkaistu vain vähän tieteellisiä tutkimuksia. Elinkaaren pituudella on merkittävä vaikutus älykotijärjestelmän käyttökokemukseen, unohtamatta älykotilaitteiden pitkäikäisyyden tuomaa ekologista hyötyä.

6. YHTEENVETO

Tutkimuksessa tarkasteltiin paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien eroja moniäänisen kirjallisuuskatsauksen avulla. Aineistona käytettiin 51 valkoisen ja harmaan kirjallisuuden julkaisua, jotka analysoitiin ryhmittelemällä havainnot seitsemään pääpiirteeseen. Tämä ryhmittely mahdollisti syventävien havaintojen muodostamisen ja niiden hyödyntämisen tulosten raportoinnissa. Pääpiirteet koskivat asiantuntemuksen tarvetta, kustannuksia, ohjausta, internet-katkosten vaikutuksia, kommunikaatioprotokollia, yksityisyyttä ja tietoturvallisuutta, sekä järjestelmän elinkaarta ja laiteyhteensopivuutta.

Tulosten perusteella havaittiin, että paikalliset älykotijärjestelmät vaativat enemmän asiantuntemusta ja ovat kustannuksiltaan korkeampia, mutta tarjoavat paremmat mahdollisuudet yksityisyyden ja tietoturvallisuuden hallintaan verrattuna pilvipohjaisiin järjestelmiin. Lisäksi paikalliset järjestelmät takaavat vakaan, mukautettavan ja luotettavan käyttökokemuksen ilman riippuvuutta internet-yhteydestä. Pilvipohjaiset älykotijärjestelmät ovat puolestaan pääsääntöisesti käyttäjäystävällisempiä, edullisempia ja sopivat vähemmän asiantuntemusta omaaville käyttäjille. On kuitenkin huomionarvoista, että pilvipohjaiset järjestelmät voivat menettää toimintakykynsä, mikäli niiden taustalla oleva palvelu lopettaa toimintansa, mikä lyhentää niiden elinkaarta. Wi-Fi-protokollaa hyödynnetään yleisemmin pilvipohjaisissa älykotijärjestelmissä, kun taas paikallisissa järjestelmissä suositaan usein älykotiprotokollia, kuten Zigbee ja Z-Wave, joiden todettiin mahdollistavan järjestelmälle kattavan laiteyhteensopivuuden.

Valinta paikallisen ja pilvipohjaisen älykotijärjestelmän välillä perustuu käyttäjän yksilöllisiin tarpeisiin ja niiden tärkeysjärjestykseen. Tämän tutkimuksen tulokset tarjoavat kattavan ja yleistetyn kuvauksen paikallisten ja pilvipohjaisten älykotijärjestelmien keskeisimmistä eroavaisuuksista, ja ne voivat auttaa niistä kiinnostuneita henkilöitä tekemään valintansa niiden välillä.

LÄHTEET

[1] Deschamps-Sonsino, A. *Smarter Homes How Technology Will Change Your Home Life*. 1st ed. 2018. Apress, syyskuu 2018. ISBN: 1-4842-3363-8. DOI: 10.1007/978-1-4842-3363-4.

[2] Gram-Hanssen, K. ja Darby, S. J. "Home is where the smart is"? Evaluating smart home research and approaches against the concept of home. *Energy Research and Social Science* 37 (maaliskuu 2018), s. 94–101. ISSN: 22146296. DOI: 10.1016/j.erss.2017.09.037.

[3] Arcaini, P., Mirandola, R., Riccobene, E., Scandurra, P., Arrigoni, A., Bosc, D., Modica, F. ja Pedercini, R. Smart Home Platform Supporting Decentralized Adaptive Automation Control. *Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on Applied Computing*. SAC '20. Brno, Czech Republic: Association for Computing Machinery, 2020, s. 1893–1900. ISBN: 9781450368667. DOI: 10.1145/3341105.3373925. URL: https://doi-org.libproxy.tuni.fi/10.1145/3341105.3373925.

[4] Hart, N. *The evolution of the smart home: How it started [part 1]*. Haettu 1.3.2023. Maaliskuu 2022. URL: https://ubuntu.com/blog/the-evolution-of-the-smart-home-how-it-started-part-1.

[5] Lehman, H. J. *Smart homes wave of the '90s*. Haettu 1.3.2023. Marraskuu 1990. URL: https://www.washingtonpost.com/archive/realestate/1990/11/03/smart-homes-wave-of-the-90s/5d69abfe-b115-4edb-92da-5af81699d05f/.

[6] Min, L., Gu, W., Chen, W., He, Y., Wu, Y. ja Zhang, Y. Smart Home: Architecture, Technologies and Systems. *Procedia Computer Science* 131 (tammikuu 2018), s. 393–400. ISSN: 18770509. DOI: 10.1016/j.procs.2018.04.219. URL: https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.219.

[7] Control4. *A Decade in Review: How Households Smartened Up in the 2010s*. Haettu 8.4.2023. Tammikuu 2020. URL: https://www.control4.com/blog/571/a-decade-in-review-how-households-smartened-up-in-the-2010s/.

[8] Ye, X. ja Huang, J. A framework for Cloud-based Smart Home. *Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology*. Vol. 2. 2011, s. 894–897. DOI: 10.1109/ICCSNT.2011.6182105.

[9] Dickey, N., Banks, D. ja Sukittanon, S. Home automation using Cloud Network and mobile devices. *2012 Proceedings of IEEE Southeastcon*. Maaliskuu 2012, s. 1–4. DOI: 10.1109/SECon.2012.6197003.

[10] Marr, B. *The 5 biggest smart home trends in 2020*. Haettu 2.3.2023. Tammikuu 2020. URL: https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2020/01/13/the-5-biggest-smart-home-trends-in-2020/.

[11] Balakrishnan, S., Vasudavan, H. ja Murugesan, R. K. Smart home technologies: A preliminary review. Association for Computing Machinery, joulukuu 2018, s. 120–127. ISBN: 9781450366298. DOI: 10.1145/3301551.3301575.

[12] Wang, T., Zhang, K., Chen, W., Dou, W., Zhu, J., Wei, J. ja Huang, T. Understanding device integration bugs in smart home system. Association for Computing Machinery, Inc, heinäkuu 2022, s. 429–441. ISBN: 9781450393799. DOI: 10.1145/3533767.3534365.

[13] Nayak, B., Pani, S. K., Choudhury, T., Satpathy, S. ja Mohanty, S. N. *Wireless Sensor Networks and the Internet of Things*. Apple Academic Press, 2021. ISBN: 1771889616. DOI: 10.1201/9781003131229.

[14] Nikayin, F. Common Platform Dilemmas: Collective Action and the Internet of Things. Tohtorinväitöskirja. Huhtikuu 2014. DOI: 10.4233/UUID:FF561D27-4F2E-4D7F-8245-6B86DBB50E10. URL: http://resolver.tudelft.nl/uuid:ff561d27-4f2e-4d7f-8245-6b86dbb50e10.

[15] Perkins, S. *Matter explained: What is the next-gen smart home protocol*. Haettu 20.4.2023. Tammikuu 2023. URL: https://www.androidpolice.com/matter-smart-home-standard-explained/.

[16] CSA-IOT. *Matter arrives bringing a more interoperable, simple and secure internet of things to life*. Haettu 14.4.2023. Maaliskuu 2023. URL: https://csa-iot.org/newsroom/matter-arrives/.

[17] CSA-IOT. *Build with matter: Smart home device solution*. Haettu 14.4.2023. Huhtikuu 2023. URL: https://csa-iot.org/all-solutions/matter/.

[18] Statista. *Consumer IOT - worldwide: Statista market forecast*. Haettu 4.4.2023. Huhtikuu 2023. URL: https://www.statista.com/outlook/tmo/internet-of-things/consumer-iot/worldwide?currency=usd#analyst-opinion.

[19] Tedee. *Cloud-based or local? which smart home system to choose for your place*. Haettu 14.4.2023. Syyskuu 2022. URL: https://tedee.com/cloud-based-or-local-which-smart-home-system-to-choose-for-your-place/.

[20] Stojkoska, B. L. R. ja Trivodaliev, K. V. A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of Cleaner Production* 140 (tammikuu 2017), s. 1454–1464. ISSN: 09596526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.10.006.

[21] Doan, T. T., Safavi-Naini, R., Li, S., Avizheh, S., Venkateswarlu, K. M. ja Fong, P. W. Towards a resilient smart home. Association for Computing Machinery, Inc, elokuu 2018, s. 15–21. ISBN: 9781450359054. DOI: 10.1145/3229565.3229570.

[22] Mocrii, D., Chen, Y. ja Musilek, P. IoT-based smart homes: A review of system architecture, software, communications, privacy and security. *Internet of Things (Net-*

herlands) 1-2 (syyskuu 2018), s. 81–98. ISSN: 25426605. DOI: 10.1016/j.iot.2018.08.009.

[23] Rahimi, M., Songhorabadi, M. ja Kashani, M. H. Fog-based smart homes: A systematic review. *Journal of Network and Computer Applications* 153 (maaliskuu 2020). ISSN: 10958592. DOI: 10.1016/j.jnca.2020.102531.

[24] Yar, H., Imran, A. S., Khan, Z. A., Sajjad, M. ja Kastrati, Z. Towards smart home automation using iot-enabled edge-computing paradigm. *Sensors* 21 (14 heinäkuu 2021). ISSN: 14248220. DOI: 10.3390/s21144932.

[25] Li, J., Jin, J., Yuan, D., Palaniswami, M. ja Moessner, K. EHOPES: Data-centered Fog platform for smart living. *2015 International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC)*. 2015, s. 308–313. DOI: 10.1109/ATNAC.2015.7366831.

[26] Jacobsson, A., Boldt, M. ja Carlsson, B. A risk analysis of a smart home automation system. *Future Generation Computer Systems* 56 (maaliskuu 2016), s. 719–733. ISSN: 0167739X. DOI: 10.1016/j.future.2015.09.003.

[27] Yang, S. Application of Cloud Computing Technology in Smart Home Modeling Design. Association for Computing Machinery, lokakuu 2021, s. 989–992. ISBN: 9781450385046. DOI: 10.1145/3495018.3495318.

[28] Edu, J. S., Such, J. M. ja Suarez-Tangil, G. Smart Home Personal Assistants: A Security and Privacy Review. *ACM Computing Surveys* 53 (6 joulukuu 2020). ISSN: 15577341. DOI: 10.1145/3412383.

[29] Upton, C. *Cloud vs. local - choosing the Right Smart Home Hub*. Haettu 14.4.2023. Helmikuu 2022. URL: https://www.lifestyledaily.co.uk/article/2022/02/03/cloud-vs-local-choosing-right-smart-home-hub.

[30] Barclay, L. *5 reasons your smart home should be local*. Haettu 14.4.2023. Huhtikuu 2022. URL: https://everythingsmarthome.co.uk/5-reasons-your-smart-home-should-be-local/.

[31] Bey, O. S. *Cloud vs. local - what Smart Home Platform is best for you and why?* Haettu 14.4.2023. Kesäkuu 2022. URL: https://konnected.io/blogs/smart-home-security/cloud-vs-local-what-smart-home-platform-is-best-for-you-and-why.

[32] Zimmermann, V., Gerber, P., Marky, K., Böck, L. ja Kirchbuchner, F. Assessing users' privacy and security concerns of smart home technologies. *i-com 2019* 18 (3 marraskuu 2020), s. 197–216. ISSN: 21966826. DOI: 10.1515/icom-2019-0015.

[33] Dance, A. *Choose a smart home platform - guide*. Haettu 20.4.2023. Heinäkuu 2022. URL: https://theiotpad.com/build-smart-home/choose-platform/.

[34] Apple. *Set up your HomePod, HomePod Mini, Apple TV, or iPad as a home hub*. Tekninen raportti. Haettu 2.4.2023. Maaliskuu 2023. URL: https://support.apple.com/en-us/HT207057.

[35] Home Assistant. *Google assistant SDK*. Tekninen raportti. Haettu 21.4.2023. N.d. URL: https://www.home-assistant.io/integrations/google_assistant_sdk/.

[36] Nguyen, T., Lakshmanan, B., Lin, C., Sheng, W., Gu, Y., Liu, M. ja Zhang, S. A miniature smart home testbed for research and education. Elokuu 2017. DOI: 10.1109/cyber.2017.8446621.

[37] Diaz, M. ja Jackson, S. *The Best Home Automation Systems of 2023*. Haettu 24.4.2023. Huhtikuu 2023. URL: https://www.zdnet.com/home-and-office/smart-home/best-home-automation-system/.

[38] Parocha, R. C. ja Macabebe, E. Q. B. Implementation of Home Automation System Using OpenHAB Framework for Heterogenous IoT Devices. IEEE, marraskuu 2019. ISBN: 9781728125169. DOI: 10.1109/IoTaIS47347.2019.8980370.

[39] Danev, V., Kirilov, L. ja Nikolov, R. Creating smart home environment based on open source home automation software. Association for Computing Machinery, kesäkuu 2021, s. 81–86. ISBN: 9781450389822. DOI: 10.1145/3472410.3472444.

[40] Nikayin, F. ja Reuver, M. D. Opening Up the Smart Home. *International Journal of E-Services and Mobile Applications* 5 (2 huhtikuu 2013), s. 37–53. ISSN: 1941-627X. DOI: 10.4018/jesma.2013040103.

[41] Garousi, V., Felderer, M. ja Mäntylä, M. V. Guidelines for including grey literature and conducting multivocal literature reviews in software engineering. *Information and Software Technology* 106 (helmikuu 2019), s. 101–121. ISSN: 09505849. DOI: 10.1016/j.infsof.2018.09.006.

[42] Kitchenham, B. ja Charters, S. M. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering (tammikuu 2007). URL: https://www.researchgate.net/publication/302924724.

[43] Farace, D. J. ja Joachim, S. Introduction to Grey Literature. *Grey literature in Library and Information Studies*. de Gruyter Saur, 2010. ISBN: 9783598441493.

[44] Tampereen yliopiston kirjasto. *Systemaattinen tiedonhaku: Harmaa kirjallisuus*. Haettu 26.2.2023. Helmikuu 2023. URL: https://libguides.tuni.fi/systemaattinen-tiedonhaku.

[45] Adams, R. J., Smart, P. ja Huff, A. S. Shades of Grey: Guidelines for Working with the Grey Literature in Systematic Reviews for Management and Organizational Studies. eng. *International journal of management reviews : IJMR* 19.4 (2017), s. 432–454. ISSN: 1460-8545.

[46] Tuohy, J. P. *Home assistant's yellow is a ready-to-use smart home platform in a box*. Haettu 1.5.2023. Heinäkuu 2021. URL: https://www.theverge.com/2021/9/16/22678088/home-assistant-amber-smart-home-hub-specs-release-date-price.

[47] Danbatta, S. J. ja Varol, A. Comparison of Zigbee, Z-Wave, Wi-Fi, and Bluetooth Wireless Technologies Used in Home Automation. Kesäkuu 2019. ISBN: 9781728128276. DOI: 10.1109/ISDFS.2019.8757472.

[48] Wankhede, C. *5 things I wish I'd known before building an Advanced Smart Home*. Haettu 24.4.2023. Huhtikuu 2023. URL: https://www.androidauthority.com/building-a-smart-home-3039627/.

[49] Hendrickson, J. *How to set up a Smarthome without the cloud*. Haettu 2.3.2023. Syyskuu 2019. URL: https://www.howtogeek.com/440388/how-to-set-up-a-smarthome-without-the-cloud/.

[50] Bonnici, L. *Smart home - local VS cloud*. Haettu 14.4.2023. Huhtikuu 2022. URL: https://www.smarthome.com.au/smart-home-local-vs-cloud/.

[51] Home Assistant. *Home assistant yellow*. Tekninen raportti. Haettu 16.4.2023. N.d. URL: https://www.home-assistant.io/yellow.

[52] Marlon, B. *5 local control alternatives to popular Smart Home Products*. Haettu 20.4.2023. Huhtikuu 2021. URL: https://hometechhacker.com/5-local-control-alternatives-to-popular-smart-home-products/.

[53] Which Home Automation. *How to make a smart home without internet*. Haettu 20.4.2023. Helmikuu 2022. URL: https://www.whichhomeautomation.com/blog/how-to-make-smart-home-without-internet/.

[54] Nabu Casa. *Remote UI*. Tekninen raportti. Haettu 2.5.2023. N.d. URL: https://www.nabucasa.com/config/remote/.

[55] Shakir, U. *You'll soon be able to talk to home assistant without Google, Siri, or Alexa*. Haettu 24.4.2023. Joulukuu 2022. URL: https://www.theverge.com/2022/12/27/23527790/home-assistant-voice-control-rhasspy-nabu-casa-smart-google-siri-alexa.

[56] Jakobi, T., Ogonowski, C., Castelli, N., Stevens, G. ja Wulf, V. The catch(es) with smart home - Experiences of a Living Lab field study. Vol. 2017-May. Association for Computing Machinery, toukokuu 2017, s. 1620–1633. ISBN: 9781450346559. DOI: 10.1145/3025453.3025799.

[57] Chour, H., Kouicem, D. E., Fotouhi, A. ja Mabrouk, M. B. Toward an autonomous Smart Home: A three-layer Edge-Fog-Cloud architecture with latency analysis. Vol. 2021-June. IEEE Computer Society, kesäkuu 2021. ISBN: 9781665440059. DOI: 10.1109/HPSR52026.2021.9481821.

[58] Melissaris, T., Shaw, K. ja Martonosi, M. OKAPI: In support of application correctness in smart home environments. Institute of Electrical ja Electronics Engineers Inc., kesäkuu 2019, s. 173–180. ISBN: 9781728117966. DOI: 10.1109/FMEC.2019.8795349.

[59] Frąckiewicz, M. *Edge computing for IOT for smart homes and buildings*. Haettu 20.4.2023. Huhtikuu 2023. URL: https://ts2.space/en/edge-computing-for-iot-for-smart-homes-and-buildings/.

[60] Ovens, S. *Cloud control vs local control: What to choose for your home automation*. Haettu 14.4.2023. Marraskuu 2020. URL: https://opensource.com/article/20/11/cloud-vs-local-home-automation.

[61] Homeagenius. *The Downsides of Cloud Based Smart Home System*. Haettu 23.4.2023. Heinäkuu 2022. URL: https://www.homeagenius.sg/blog/the-downsides-of-cloud-based-smart-home-system.

[62] Tofel, K. C. *What's the impact of matter on smart home cloud services? - stacey on IOT: Internet of things news and analysis*. Haettu 20.4.2023. Maaliskuu 2023. URL: https://staceyoniot.com/whats-the-impact-of-matter-on-smart-home-cloud-services/.

[63] Schoutsen, P. *Matter and thread: Where we're at*. Haettu 28.4.2023. Helmikuu 2023. URL: https://www.home-assistant.io/blog/2023/02/08/state-of-matter-and-thread/.

[64] Trimananda, R., Aqajari, S. A. H., Chuang, J., Demsky, B., Xu, G. H. ja Lu, S. Understanding and automatically detecting conflicting interactions between smart home IoT applications. Association for Computing Machinery, Inc, marraskuu 2020, s. 1215–1227. ISBN: 9781450370431. DOI: 10.1145/3368089.3409682.

[65] Katuk, N., Ku-Mahamud, K. R., Zakaria, N. H. ja Maarof, M. A. Implementation and Recent Progress in Cloud-based Smart Home Automation Systems. Huhtikuu 2018. ISBN: 9781538635278. DOI: 10.1109/ISCAIE.2018.8405447.

[66] Whalen, H. *Can your smart home live without the cloud?* Haettu 20.4.2023. Syyskuu 2019. URL: https://homealarmreport.com/smart-home/smart-devices-work-locally/.

[67] Zheng, S., Apthorpe, N., Chetty, M. ja Feamster, N. User perceptions of smart home IoT privacy. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction* 2 (CSCW marraskuu 2018). ISSN: 25730142. DOI: 10.1145/3274469. URL: https://dl-acm-org.libproxy.tuni.fi/doi/10.1145/3274469.

[68] Akestoridis, D. G., Harishankar, M., Weber, M. ja Tague, P. Zigator: Analyzing the security of zigbee-enabled smart homes. Association for Computing Machinery, heinäkuu 2020, s. 77–88. ISBN: 9781450380065. DOI: 10.1145/3395351.3399363.

[69] Serror, M., Henze, M., Hack, S., Schuba, M. ja Wehrle, K. Towards in-network security for smart homes. Association for Computing Machinery, elokuu 2018. ISBN: 9781450364485. DOI: 10.1145/3230833.3232802.

[70] Fingas, R. *Smart home privacy: What data is collected, and how is it used?* Haettu 16.4.2023. Heinäkuu 2022. URL: https://www.androidauthority.com/smart-home-privacy-3065661/.

[71] Alshehri, A., Granley, J. ja Yue, C. Attacking and Protecting Tunneled Traffic of Smart Home Devices. Association for Computing Machinery, Inc, maaliskuu 2020, s. 259–270. ISBN: 9781450371070. DOI: 10.1145/3374664.3375723.

[72] Amenta, V., Buzzi, M. C., Buzzi, M. ja Montemurro, A. INTERNET OF THINGS AND PRIVACY. *IADIS International Conference e-Society (ES 2021)* (maaliskuu 2021).

[73] Zavalyshyn, I., Santos, N., Sadre, R. ja Legay, A. My house, my rules: A private-by-design smart home platform. Association for Computing Machinery, joulukuu 2020, s. 273–282. ISBN: 9781450388405. DOI: 10.1145/3448891.3450333. URL: https://dl-acm-org.libproxy.tuni.fi/doi/10.1145/3448891.3450333.

[74] Gao, C., Chandrasekaran, V., Fawaz, K. ja Banerjee, S. Traversing the quagmire that is privacy in your smart home. Association for Computing Machinery, Inc, elokuu 2018, s. 22–28. ISBN: 9781450359054. DOI: 10.1145/3229565.3229573.

[75] Almeida, N., Silva, S., Teixeira, A., Ketsmur, M., Guimaraes, D. ja Fonseca, E. Multimodal interaction for accessible smart homes. Association for Computing Machinery, kesäkuu 2018, s. 63–70. ISBN: 9781450364676. DOI: 10.1145/3218585.3218595.

[76] Petrova-Antonova, D., Andreev, G. ja Ilieva, S. Unified connectivity of IoT devices through abstraction of application protocols. Vol. Part F131202. Association for Computing Machinery, elokuu 2017, s. 56–61. ISBN: 9781450352796. DOI: 10.1145/3134383.3134385.

[77] Eric, T., Ivanovic, S., Milivojsa, S. ja Smiljkovic, N. Voice Control for Smart Home Automation: Evaluation of Approaches and Possible Architectures. 2017 IEEE 7th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin, 2017. ISBN: 9781509040148.

[78] Batalla, J. M. ja Gonciarz, F. Deployment of smart home management system at the edge: mechanisms and protocols. *Neural Computing and Applications* 31 (5 toukokuu 2019), s. 1301–1315. ISSN: 09410643. DOI: 10.1007/s00521-018-3545-7.

[79] Akestoridis, D.-G., Sekar, V. ja Tague, P. On the Security of Thread Networks: Experimentation with OpenThread-Enabled Devices. Association for Computing Machinery, toukokuu 2022, s. 314. ISBN: 9781450392167. DOI: https://dl.acm.org/doi/10.1145/3507657.3528544.