KODIN ENERGIATEHOKKUUDEN EDISTÄMINEN IMMERSIIVISILLÄ TEKNOLOGIOILLA

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden diplomityö

2025

Jarno Makkonen

Tarkastajat: Dosentti Jouni Koivuniemi

Tutkijaopettaja Ari Happonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUTin insinööritieteiden tiedekunta

Tuotantotalous

Jarno Makkonen

Kodin energiatehokkuuden edistäminen immersiivisillä teknologioilla

Tuotantotalouden diplomityö

2025

99 sivua, 26 kuvaa, ja 9 liitettä

Tarkastajat: Dosentti Jouni Koivuniemi ja Tutkijaopettaja Ari Happonen

Avainsanat: Koti, Energiatehokkuuden edistäminen, Immersiiviset teknologiat, Tietomallinnus, skannauksesta tietomalliksi.

Vuoden 2025 alussa voimaan astunut uusi rakennuslaki edellyttää tulevaisuudessa entistä parempaa energiatehokkuuden huomioimista kodeissa. Samaan aikaan kuluttajakäyttäytyminen muuttuu, mikä luo tarpeen uudenlaisille innovaatioille eri kuluttajasegmenttien tavoittamiseksi. Tässä tapaustutkimuksessa lähestytään innovaation kehittämistä hyödyntäen kokeilevaa kehittämistä ja suunnittelutieteellistä tutkimusotetta.

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää, millaisella työkalulla voidaan tehostaa kodin energiatehokkuutta ja tuottaa energiatodistus. Teknisen tarkkuuden varmistamiseksi kartoitetaan, mitkä ovat keskeisimmät tiedot energiatehokkuuden arvioinnissa ja kuinka energiatehokkuustyökalu tulisi visualisoida immersiivisten teknologioiden avulla siten, että se vastaa kuluttajien tarpeita ja tukee heidän päätöksentekoaan.

Tutkimuksen tuloksena esitellään hybridimalli, joka yhdistää kodin kolmiulotteisen skannauksen, tietomallit ja immersiivisen visualisoinnin energiatehokkuustyökaluratkaisuksi. Tutkimus osoittaa, että hybridimalli, joka yhdistää rakennusten tietomallit uusimpien pelimoottorien tuottamaan visualisointiin, muodostaa tarkimman, käytettävimmän ja kuluttajien päätöksentekoa parhaiten tukevan ratkaisun. Immersiiviset teknologiat syventävät kuluttajien ymmärrystä energiavalinnoista ja vahvistavat heidän päätöksentekoaan merkittävästi.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Industrial Engineering and Management, Digital service engineering

Jarno Makkonen

Advancing Home Energy Efficiency through Immersive Technologies

Master's thesis

2025

99 pages, 26 figures, and 9 appendices

Examiners: Associate Professor Jouni Koivuniemi, Associate Professor Ari Happonen

Keywords: Home, Advancing Energy Efficiency, Immersive Technologies, Building Information Modeling (BIM), Scan to BIM.

The new Building Act that came into effect at the beginning of the year 2025 requires more attention to be paid to energy efficiency in homes. Simultaneously, shifting consumer behavior creates a need for new types of innovations to effectively reach different consumer segments. This case study approaches innovation development making use of experimental innovation and a design science research methodology.

The aim of the study is to determine what kind of tool can improve home energy efficiency and produce an energy performance certificate. To ensure technical accuracy, the research identifies the key data required for energy efficiency assessment and investigates how an energy efficiency tool should be visualized using immersive technologies to meet consumer needs and support their decision-making.

As a result of the study, a hybrid model is presented that combines 3D home scanning, building information modeling, and immersive visualization as a solution for an energy efficiency tool. The study finds that a hybrid model combining building information models with visualization capabilities of modern game engines offers the most accurate, user-friendly, and decision-supportive solution for consumers. Immersive technologies can significantly deepen consumer understanding of energy-related choices and improve their decision-making capabilities.

KIITOKSET

Kiitos diplomityöstä kuuluu kaikille prosessissa mukana olleille tärkeille ihmisille. Haluan kiittää Createch-projektia siitä, että sain kerätä tietoa ajankohtaisesta ja tulevaisuuteen suuntautuvasta aiheesta, joka mahdollisti omalla ajalla tapahtuneen diplomityön kirjoittamisen. Lisäksi tietysti kiitän Anttia, Ernoa ja Aria, jotka olivat mukana koko matkan ja ohjasivat käytännön toteutuksessa. Heidän loistavat ideansa ja hyvä asenteensa tekivät työstä paitsi sujuvaa, myös äärimmäisen antoisaa. Erityiskiitos Suville ja Mikolle, joiden kanssa käydyt lähes viikoittaiset sparraussessiot toivat työhön mielekkyyttä ja syvyyttä.

Sydämellinen kiitos ohjaajalleni Jounille ja muille opettajille, joiden arvokas palaute ja opetustyö ovat olleet korvaamaton osa opintojani. Lisäksi haluan kiittää diplomityön kohdeyritystä ja ohjausryhmää sekä kaikkia haastatteluissa ja kokeiluissa mukana olleita. Yhteistyönne teki tutkimuksesta rikkaan ja käytännönläheisen.

Kiitos myös perheelleni ja ystävilleni tuesta ja kannustuksesta koko matkan ajan. Lopuksi lämpimät kiitokset LUT-yliopistolle mahtavasta opiskelukokemuksesta ja unohtumattomista vuosista. On ollut ilo ja kunnia olla osa tätä yhteisöä.

Lyhenteet

AEC	Arkkitehtuuri-, insinööri- ja rakennusala (engl. Architecture, Engineering, Construction)
AR	Lisätty todellisuus (engl. Augmented Reality)
BIM	Tietomallintaminen (engl. Building Information Modelling)
BEM	Energiamallintaminen (engl. Building Energy Modelling)
DSR	Suunnittelutieteellinen tutkimus (engl. Design Science Research)
DT	Digitaalinen kaksonen (engl. Digital Twin)
IFC	Rakennusalan tiedonsiirtoformaatti (engl. Industrial Foundation Class)
MR	Yhdistetty todellisuus (engl. Mixed Reality)
UE	Unreal Engine -pelimoottori
VR	Virtuaalitodellisuus (engl. Virtual Reality)
XR	Laajennettu todellisuus (engl. Extended Reality)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Kiitokset

1 Johdanto 1
1.1 Tutkimuksen tausta 1
1.2 Tutkimuksen tavoite, tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaus 4
1.3 Tutkimuksen menetelmät ja toteutus 5
1.4 Raportin rakenne 6
2 Energiatehokkuus ja energiatodistus tehostamisen mittarina 9
2.1 Kodin energiatehokkuuden edistäminen 9
2.2 Energiatehokkuuden merkitys kotitalouksille ja yhteiskunnalle 10
2.3 Energiatodistus ja sen rooli energiatehokkuuden arvioinnissa ja päätöksenteon tukemisessa 11
2.4 Energiatodistuksen laadinta ja potentiaali 12
2.5 Energiatehokkuuden teknologiset ratkaisut ja menetelmät 13
2.6 Keskeiset tiedot energiatehokkuuden arvioinnissa 15
2.7 Energiatehokkuudesta kohti immersiivistä kokemusta 16
3 Immersiiviset teknologiat osana kuluttajien energiatehokkuuspäätöksiä 18
3.1 Immersio käsitteenä 18
3.2 Immersiiviset teknologiat ja metaversumi 19
3.3 Immersiiviset teknologiat kuluttajien päätöksenteossa 20
3.3.1 Laajennettu todellisuus 22
3.3.2 Digitaaliset kaksoset 24
3.3.3 Tietomallit, virtuaalinen suunnittelu ja energiatehokkuus. 25
3.3.1 Kodin tietomallin yhdistäminen immersiivisiin teknologioihin. 26
3.4 Immersiivisten teknologioiden mahdollisuudet energiatehokkuusnäkökulmissa 27
3.4.1 Tekoäly ja avatarit 28
3.4.2 Pelillisten ympäristöjen immersiivisyys osana kuluttajien päätöksentekoa. ... 29

4 Tutkimuksen teoreettinen viitekehys 31
4.1 Viitekehyksen muodostuminen ja keskeiset teemat 31
4.2 Koheesio kolmen pääteeman välillä 32
5 Tutkimusprosessi- ja menetelmät 34
5.1 Tutkimusprosessin päävaiheet 34
5.2 Tutkimuksen metodologinen viitekehys 34
5.2.1 Tapaustutkimus suunnittelutieteellisellä tutkimusotteella 35
5.3 Integroiva kirjallisuuskatsaus 41
5.3.1 Aineiston analysointi ja synteesi 46
6 Tutkimustulokset 47
6.1 Ensimmäinen kehitysjakson tutkimustulokset 47
6.2 Toisen kehitysjakson tutkimustulokset 50
6.3 Kolmannen kehitysjakson tutkimustulokset 53
7 Tutkimuksen lopputulos 56
7.1 Prototyypin teknologia-arkkitehtuuri 57
7.2 Tulos sidosryhmien näkökulmasta 60
8 Johtopäätökset 61
8.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin 61
8.2 Tutkimuksen tulosten hyödyntämispotentiaali 63
8.3 Tutkimuksen luotettavuuden reflektointi 64
8.4 Jatkotutkimusaiheet ja kehitysideat 65
9 Yhteenveto 68

Liitteet

Liite 1. Lähdeviittaukset

Liite 2. Energiatodistusnäkymän A/B-testaus

Liite 3. Kyselyn tulokset – Ohjausryhmä

Liite 4. Haastattelun tulokset – Jälleenmyyjät

Liite 5. Haastattelun tulokset – Energiatodistuksen laatija

Liite 6. Integroiva näkymä energiatodistuksen laatijalle

Liite 7. Haastattelun tulokset – Rakennusalan suunnittelupäällikkö

Liite 8. Energiatodistuksen laatijan haastattelun JBI-arviointi

Liite 9. Rakennusalan suunnittelupäällikön haastattelun JBI-arviointi

1 Johdanto

Rakennuslainsäädännön muuttuminen sekä kansalliset ja kansainväliset ilmastonmuutoksen torjuntaan liittyvät tavoitteet ja strategiat ovat viime vuosina korostaneet rakennusten energiatehokkuuden merkitystä osana ilmastonmuutoksen hillintää ja kestävää kehitystä. Energiatehokkuus sekä digitaalisten työkalujen ja tietomallien hyödyntäminen ovat nousseet keskeisiksi teemoiksi niin suunnittelussa, rakentamisessa kuin rakennusten ylläpidossakin. (Kauppinen, 2025)

Samanaikaisesti kuluttajakäyttäytymisen muutokset ja digitalisaation nopea kehitys ovat alkaneet muuttaa asumiseen liittyviä odotuksia. Kuluttajat edellyttävät yhä enemmän personoituja, visuaalisesti ymmärrettäviä ja helposti saavutettavia ratkaisuja, jotka tukevat heidän omaehtoista päätöksentekoaan. (Yeom et al., 2024) Teknologiat, kuten immersiiviset visualisointiratkaisut ja tietomallintaminen, tarjoavat uudenlaisia tapoja vastata näihin odotuksiin.

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksen taustaa ja teoreettista perustaa sekä keskeisiä näkökulmia ja syitä tutkimuksen toteuttamiselle. Tämän ohella käsitellään tutkimuksen tavoitteita, tutkimuskysymyksiä ja rajauksia sekä tutkimusmenetelmiä ja niiden toteutusta. Lopuksi esitellään tutkimusraportin rakenne.

1.1 Tutkimuksen tausta

Vuoden alussa voimaan astunut uusi rakennuslaki sekä kiristyneet määräykset edellyttävät rakennuksilta entistä parempaa energiatehokkuutta (Rakentamislaki, 2025). Energiatehokkuuden edistäminen on keskeinen keino ilmastonmuutoksen hillinnässä, sillä rakennusten lämmitys aiheuttaa noin 17 prosenttia Suomen vuosittaisista hiilidioksidipäästöistä. Suomen pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia tähtää ennen vuotta 2020 valmistuneiden asuin- ja palvelurakennusten päästöjen vähentämiseen 90 prosentilla vuoteen 2050 mennessä. Tavoitteeseen pyritään muun muassa energiatehokkuutta parantamalla, mikä kattaa noin viidenneksen strategian kokonaispäästövähennyksistä (Ympäristöministeriö, 2020).

Tämä tarkoittaa, että rakennusten suunnittelussa ja toteutuksessa on otettava huomioon energiatehokkuuden edistäminen sekä ylläpito koko rakennuksen elinkaaren ajan. Samoin lainsäädäntö painottaa asuntojen tietomallien hyödyntämistä jonka avulla voidaan parantaa energiatehokkuuden arviointia ja dokumentointia. (Meritähti-Lustig, 2025; Rakentamislaki, 2025) Näiden muutosten myötä tarve uusille digitaalisille työkaluille ja visualisointimenetelmillä on kasvanut merkittävästi.

Uusi ympäristöministeriön julkaisema rakentamislaki asettaa entistä vahvemmat vaatimukset rakennusten vähähiilisyydelle, energiatehokkuudelle ja tietomallien hyödyntämiselle rakennuksen koko elinkaaren ajan. Lain mukaan 1.1.2026 alkaen on laadittava muun muassa ilmastoselvitys sekä rakennustuoteluettelo uudelle rakennukselle. (Tiainen, 2024) Rakennuksen hiilijalanjäljen tulee pysyä rakennusluokkakohtaisesti määritellyn raja-arvon alapuolella, ja rakentamishankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan vähähiilisyyttä silmällä pitäen. (Rakentamislaki, 2025)

Laki velvoittaa myös, että rakennusten erityissuunnitelmat on laadittava yhteen toimivassa, koneluettavassa muodossa vuoden 2025 alusta. Tämä on huomattava muutos muun muassa rakennuslupakäytäntöihin. Luvanhakijan on toimitettava lähitulevaisuudessa riittävät digitaalisten suunnitelmien tiedot kunnan käsiteltäviksi, minkä jälkeen kunta siirtää ne valtakunnalliseen Ryhti-järjestelmään viimeistään vuoden 2028 loppuun mennessä. Rakennus- ja huoneistotietorekisterin siirtäminen osaksi Ryhtiä on keskeinen osa laajempaa rakennetun ympäristön tietojärjestelmähanketta, jossa ajantasaiset tiedot kaavoituksesta ja rakentamisesta pyritään kokoamaan yhteen. (Meritähti-Lustig, 2025)

Tutkimuksen kannalta vuoden 2025 alussa voimaantulleella lakimuutoksella on merkittävä rooli, koska se korostaa kiinteistöjen energiatehokkuuden edistämistä, vähähiilisyyden huomioimista sekä asuntojen tietomallintamista. (Meritähti-Lustig, 2025) Rakennuslain uudistus antaa paremmat lähtökohdat tehostaa rakennuksen energiankäyttöä sekä ylläpitää ja hyödyntää rakennuksen tietomallia koko sen elinkaaren ajan. Rakennuslakiuudistus on yksi keskeinen ohjaava tekijä tutkimuksen taustalla ja motivoi työssä tarkasteltavia ratkaisuja, joissa hyödynnetään tietomalliteknologiaa sekä edistetään rakennusten energiatehokkuutta.

Kuluttajakäyttäytymisen muutos, digitalisaatio ja palveluodotukset

Rakennuslain lisäksi tutkimuksen tarpeellisuutta ohjaava tekijä on digitalisaatio ja kuluttajakäyttäytymisen muuttuminen, joka luo tarvetta uusille innovaatioille eri kuluttajasegmenttien tavoittamiseksi (Guthridge, 2024). Kuluttajat ovat entistä tietoisempia energiatehokkuuden ja ilmastovaikutusten merkityksestä asumisessa, ja he odottavat yhä enenevässä määrin käytännöllisiä, personoituja sekä visuaalisesti ymmärrettäviä ratkaisuja. (Al-Kababji et al., 2022) Teknologian kehittyessä myös kuluttajien odotukset palveluista ja asumisen laadusta muuttuvat, mikä vaatii yrityksiltä sopeutumista ja uudenlaista vuorovaikutusta asiakkaiden kanssa. (Trevis and Moseley, 2024) Yhä useammat kuluttajat suosivat omatoimisia palveluratkaisuja ja digitaalisia alustoja, jotka mahdollistavat vaihtoehtojen vertailun ja päätöksenteon ilman myyjän apua. Nuoret asunnonomistajat tavoitetaan yhä harvemmin perinteisten palvelumallien kautta, mikä edellyttää uusien innovaatioiden kehittämistä. Toisaalta ikääntyvälle väestölle tulee kehittää palveluita, jotka huomioivat käytettävyyden ja yksinkertaisuuden. Myös kestävyyden ja energiatehokkuuden näkyväksi tekeminen on tärkeää. Osa kuluttajista kaipaa konkreettista tietoa ja visualisointeja rakennuksen ympäristövaikutuksista ja energiasuorituskyvystä. (Guthridge, 2024) Tämä luo perustan tutkimukselle, jossa kehitetään ratkaisuja, jotka vastaavat näihin muuttuviin tarpeisiin sekä tukevat kestävää ja energiatehokasta rakentamista.

Digitalisaatio on keskeisessä roolissa energiatehokkuuden edistämisessä. Älykkäät järjestelmät, kuten tekoäly ja koneoppiminen, mahdollistavat rakennusten energiankulutuksen tarkemman analysoinnin ja ennakoivan optimoinnin. (Esfahani et al., 2021; Majumdar et al., 2024) Digitaaliset työkalut, kuten tietomallintaminen ja simulaatiot, ovat tehokkaita keinoja rakennusten energiatehokkuuden arviointiin ja edistämiseen. Tämän ohella immersiiviset teknologiat antavat uusia näkökulmia rakennusten energiatehokkuuden visualisointiin ja käyttäjien päätöksenteon tukemiseen. (Ye et al., 2024)

Yhteistyö ja kumppaniyrityksen tavoitteet

Tässä tutkimuksessa hyödynnetään Createch Wake Up Etelä-Karjala! ja Hyvinvointialan Metaversumipalvelut-hankkeissa kerättyjä oppeja, osaamista ja teknisiä ratkaisuja. Tutkimus toteutetaan yhteistyössä suomalaisen asuntojen energiatehokkuutta edistäviä ratkaisuja valmistavan yrityksen kanssa, joka on sitoutunut edelläkävijyyteen liiketoimintansa strategisilla osa-alueilla. Yrityksen tavoitteena on kehittää liiketoimintaansa tukemalla kestäviä

ratkaisuja, kuten nollapäästöisyyttä, ja tarjoamalla asiakkailleen toimivia koteja, joissa yhdistyvät hyvinvointi ja energiatehokkuus.

Yrityksen tavoitteena on syventää ymmärrystä kuluttajien odotuksista ja tarpeista sekä kehittää toimintaansa niiden mukaisesti. Yritys pyrkii olemaan proaktiivinen ja innovatiivinen edelläkävijä kaikilla liiketoimintansa osa-alueilla. Tutkimuksella tuetaan yrityksen pyrkimyksiä kehittää teknologisesti edistyksellisiä ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja, jotka edistävät yrityksen strategisten tavoitteiden saavuttamista. Innovatiivinen ajattelu nähdään avaintekijänä parhaiden ratkaisujen löytämisessä ja toiminnan kehittämisessä.

1.2 Tutkimuksen tavoite, tutkimuskysymykset ja tutkimuksen rajaus

Tutkimuksen tavoitteena on löytää ratkaisu energiatehokkuuden edistämiseen, joka hyödyntää mallinnusta ja immersiivisiä teknologioita. Ratkaisun avulla pyritään tarjoamaan kuluttajille selkeämpi käsitys asunnon rakenteiden ja materiaalien vaikutuksista energialuokkaan, mikä helpottaa päätöksentekoa ja energiatehokkuusratkaisujen valintaa.

Tutkimuksen tuloksena esitellään prototyyppi energiatehokkuustyökalusta, sekä alustava konseptitodistus, jonka avulla kohdeyritys voi arvioida innovaation tuotteistamisen kannattavuutta.

Tutkimuskysymykset ovat:

1. Millaisella työkalulla voidaan edistää kodin energiatehokkuutta ja luoda energiatodistus?
2. Mitkä tiedot ovat keskeisimpiä energiatehokkuuden arvioinnissa, jotta palvelun tekninen tarkkuus voidaan varmistaa?
3. Kuinka energiatehokkuustyökalu tulisi visualisoida ja esittää immersiivisten teknologioiden avulla, jotta se vastaisi kuluttajien tarpeita ja tukisi heidän päätöksentekoaan?

Tutkimus rajataan koskemaan kodin energiatehokkuuden edistämistä digitaalisten teknologioiden avulla. Työssä keskitytään Suomen kansallisen rakennuslainsäädännön määrittelemien energiatehokkuusvaatimusten ja energiatodistusprosessin mukaisiin näkökulmiin. Muita rakennusten ominaisuuksia, kuten ilmanlaatua, hyvinvointia tai turvallisuutta, ei

tarkastella. Työn ensisijaisena painopisteenä on teknisen tehostamistyökalun kehittäminen. Vaikka tuotteistaminen ja liiketoimintapotentiaalin arviointi eivät ole tutkimuksen keskiössä, empiirisessä osuudessa tunnistetaan kuitenkin alustavasti konseptin liiketoiminnallista potentiaalia kohdeorganisaation jatkokehityksen tueksi. Tämä tukee kokonaisuuden toimivuuden arviointia, sillä myös käytännön sovellettavuuden ja kaupallisen hyödyn mahdollisuuksien hahmottaminen ovat osa innovaation elinkelpoisuuden tarkastelua.

1.3 Tutkimuksen menetelmät ja toteutus

Tutkimus toteutetaan tapaustutkimuksena, joka hyödyntää suunnittelutieteellistä menetelmää (Design Science Research, DSR) ja kokeilevan kehittämisen menetelmää. Tutkimus toteutetaan yhteistyössä kohdeorganisaation kanssa, ja sen tavoitteena on kehittää prototyyppi, joka tukee sekä organisaation strategisia tavoitteita että kuluttajien energiatehokkuuteen liittyvää päätöksentekoa.

Tutkimuskysymysten tarkastelun tueksi muodostetaan teoreettinen viitekehys integroivan kirjallisuuskatsauksen avulla. Viitekehys kokoaa yhteen kodin energiatehokkuuteen, energiatodistukseen ja immersiivisiin teknologioihin liittyvää tutkimustietoa. Tätä teoreettista pohjaa hyödynnetään teoreettisen viitekehyksen rajapintojen tunnistamiseen ja myöhemmin tutkimuksen empiirisessä osuudessa prototyypin kehittämisen tukena. Kuva teoreettisesta viitekehyksestä on nähtävissä seuraavalla sivulla (Kuva 2) ja teoreettiseen viitekehykseen syvennytään lisää kappaleessa neljä.

Tutkimuksen empiirinen osuus perustuu prototyypin kokeilevaan kehittämiseen, jota on tuettu haastattelujen, kokeilujen, kyselyjen ja fokusteemahaastattelujen avulla. Tutkimuksessa tuotetaan kaksi viimeistelyvaiheen prototyyppiä, joiden toimivuutta ja sovellettavuutta arvioidaan käytännön kokeiluihin perustuen. Menetelmälliset yksityiskohdat, kuten aineistonkeruun ja analyysin toteutus kuvataan tarkemmin luvussa viisi.

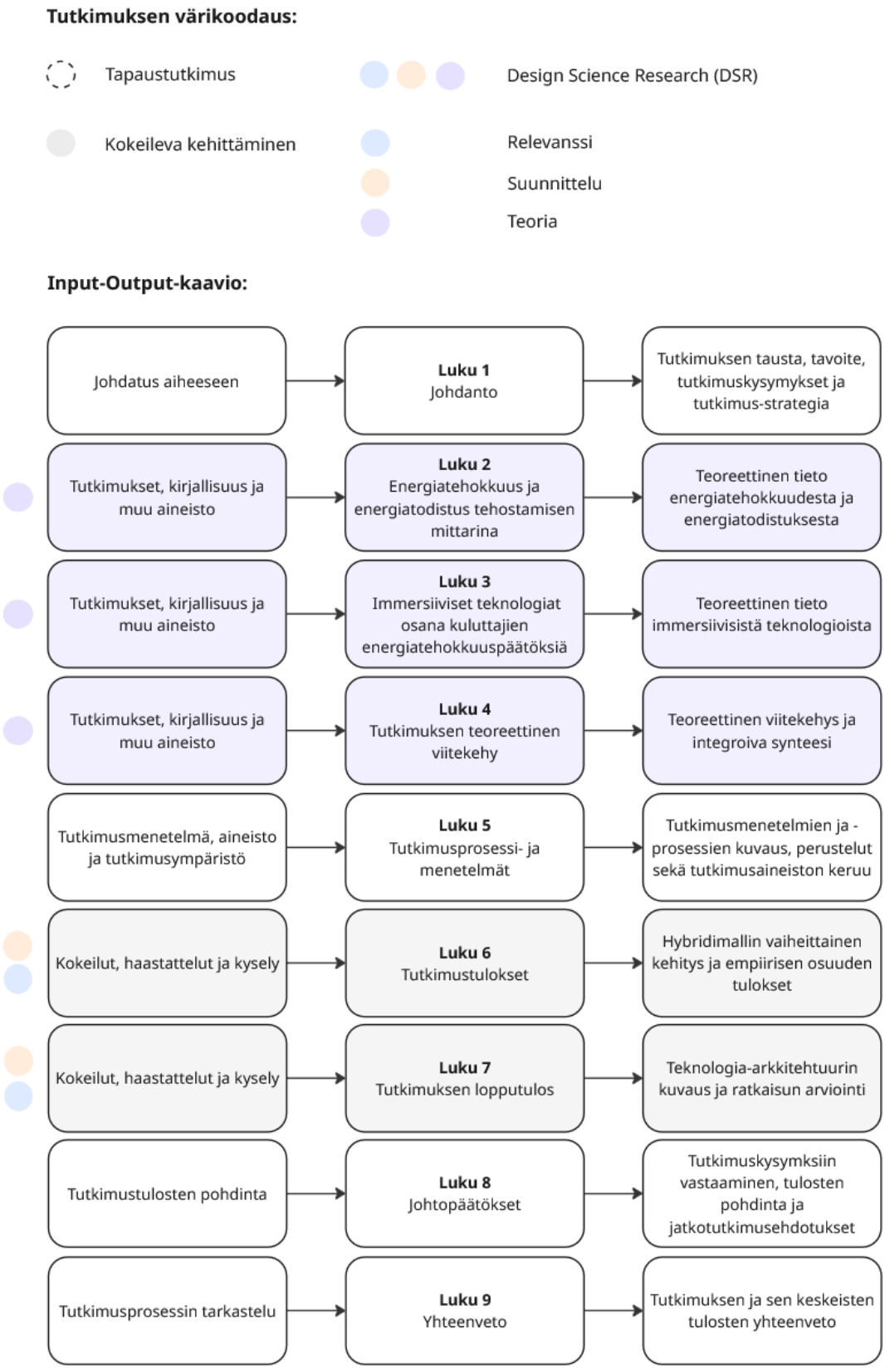
Kuva 1 - Tutkimuksen teoreettinen viitekehys (Makkonen, 2025a)

1.4 Raportin rakenne

Tämä tutkimus rakentuu kahdeksasta pääluvusta. Johdanto esittelee tutkimuksen taustan, tavoitteet, tutkimuskysymykset ja rajaukset sekä yleiskatsauksen tutkimusmenetelmiin. Toisessa luvussa tarkastellaan energiatehokkuutta ja energiatodistusta tehostamisen näkökulmasta, mukaan lukien keskeiset teknologiat ja arviointimenetelmät. Kolmas luku keskittyy immersiivisten teknologioiden hyödyntämiseen kuluttajien energiatehokkuuspäätöksissä. Neljännessä luvussa avataan tutkimuksen teoreettinen viitekehys, joka on luotu integroivan kirjallisuuskatsauksen avulla.

Viidennessä luvussa kuvataan tutkimuksen prosessia ja menetelmällistä viitekehystä, sisältäen muun muassa suunnittelutieteellisen tutkimuksen ja kokeilevan kehittämisen käytännön toteutuksen. Kuudennessa luvussa käsitellään tutkimustulokset ensin vaiheittaisena kehitysprosessina kolmen kehityssyklin kautta sekä yhdistetään seitsemännessä luvussa tutkimuksen lopputulokseen. Kahdeksas luku kokoaa johtopäätökset ja viimeinen luku toimii kokoavana yhteenvetona tutkimuksesta.

Tutkimus seuraa esitettyä värikoodausta, jonka avulla voit seurata mikä tutkimuksessa käytetty menetelmä on ollut missäkin tutkimuksen vaiheessa vallitseva ja mihin suunnittelutieteellisen tutkimusmenetelmään sillä viitataan. Seuraavalla sivulla esitetään input-output-kaavio tutkimuksen sisällöstä ja pääluvuista sekä värikoodaus joka ohjaa lukijaa koko työn läpi.



Kuva 2 - Tutkimuksen värikoodaus ja input-output-kaavio (Makkonen, 2025b)

2 Energiatehokkuus ja energiatodistus tehostamisen mittarina

Tässä teorialuvussa tarkastellaan, miten kodin energiatehokkuutta voidaan mitata ja edistää sekä viestiä käyttäjille energiatehokkuuden vaikutuksista luotettavasti ja ymmärrettävästi. Ensin avataan energiatehokkuutta, tietomalleja ja energiatodistuksen kannalta olennaisia käsitteitä, sekä niiden merkitystä lainsäädännön, taloudellisten säästöjen ja ympäristötavoitteiden kannalta. Seuraavissa kappaleissa esitellään energiatehokkuuden tehostamisen keskeiset menetelmät. Kolmanneksi syvennytään energiatodistukseen, sen säädöspohjaan, laskentaprosessiin ja siihen, miten todistuksen visuaalinen ja immersiivisteknologinen esittäminen voi tukea kuluttajien päätöksentekoa.

2.1 Kodin energiatehokkuuden edistäminen

Kodin energiatehokkuudella tarkoitetaan pyrkimystä minimoida energiankulutusta asuinrakennuksissa. Tämä tavoite voidaan saavuttaa rakennuksen energiatehokkaalla suunnittelulla, joka ottaa huomioon rakenteet, energiajärjestelmät ja suuntauksen energiankulutuksen minimoimiseksi. (Billio et al., 2024) Energiatehokkuutta on perinteisesti edistetty eristystä ja ilmatiiviyttä parantavilla toimenpiteillä, mikä vähentää lämmityksen ja jäähdytyksen tarvetta. (Billio et al., 2024; Felius et al., 2020) Rakennusten energiatehokkuuden suunnittelussa on kuitenkin kiinnitettävä huomiota ratkaisujen laatuun, että energiatehokkuuden ohella rakennusten kestävyys tulevaisuudessa säilyy. Rakennuksen vääränlainen eristäminen voi johtaa kosteuden muodostumiseen rakenteisiin, homehtumiseen sekä sisäilmaongelmiin (Kosonen and Keskisaari, 2020; Ojanen et al., 2017).

On kuitenkin vaihtoehtoisia tapoja edistää kodin energiatehokkuutta. Tehokkailla talotekni-sillä järjestelmillä ja teknologioilla on vaikutusta kodin energiatehokkuuteen. (Kosonen and Keskisaari, 2020) Tällaisia voivat olla esimerkiksi energiatehokkaat lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmät. Myös älykoti teknologiat voivat optimoida järjestelmien energiankäyttöä parantaen kokonaisenergiatehokkuutta ja lisäten asumismukavuutta. (Albuquerque et al., 2018)

Rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnissa ja kehittämisessä voidaan hyödyntää myös energiasimulointia ja tietomalleja jotka antavat valmiudet rakennuksen suorituskyvyn analysoinnille jo suunnitteluvaiheessa (Mc Guire et al., 2023). Kodin energiatehokkuuden arvioinnissa on myös tärkeää tunnistaa asukkaiden käyttäytymisen merkittävä rooli energiankulutuksessa. Älykkäät energianhallintajärjestelmät voivat auttaa ohjaamaan kulutusta optimaalisesti. (Albuquerque et al., 2018). Olemassa olevien asuinrakennusten energiatehokkuuden edistäminen on keskeistä energiatavoitteiden saavuttamisessa, ja tähän on olemassa useita rakenteellisia ja teknisiä ratkaisuja. Digitaalisten kaksosten ja laajennetun todellisuuden (XR) teknologioiden kehitys luo lisäksi uusia vaihtoehtoja rakennusten energiatehokkuuden tehostamiseen ja visualisointiin. (Karaarslan et al., 2023)

Energiatehokkuus ei ole enää nykypäivänä vain laatukriteeri vaan siitä on muodostunut keskeinen rakennus- ja kiinteistöalan suorituskykymittari. EU:n reunaehdot (European Union, 2024), Suomen kansallinen rakentamislaki (Rakentamislaki, 2025) sekä hiilineutraaliustavoitteet luovat reunaehdot, jonka puitteissa energiantehokkuuden edistäminen on sekä viranomaisvelvoite että taloudellinen kilpailuetu. (Ou et al., 2025)

2.2 Energiatehokkuuden merkitys kotitalouksille ja yhteiskunnalle

Energiatehokkuus on tärkeää monesta syystä. Yksi merkittävimmistä syistä on energiatehokkuuden vaikutus ympäristöön. Rakennusten energiankulutus aiheuttaa merkittäviä hiilidioksidipäästöjä, joten energiatehokkuuden edistäminen on tärkeää ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi sekä kotitalouksien taloudellisessa tukemisessa. (Razzaq et al., 2023) Vähentämällä energiankulutusta voidaan vähentää kasvihuonekaasupäästöjä ja muita ympäristöhaittoja, joita energian tuotanto aiheuttaa. (Kosonen and Keskisaari, 2020) Esimerkiksi uusiutuvien energialähteiden tehokkaampi hyödyntäminen ja energian säästäminen rakennusten suunnittelussa ja käytössä voivat pienentää riippuvuutta fossiilisista polttoaineista. (Elias Bibri, 2024) Toiseksi energiatehokkuudesta voi olla taloudellisia hyötyjä. Energiatehokkuuden edistäminen voi johtaa energiakustannusten laskuun sekä yksittäisille kotitalouksille että laajemmin yhteiskunnalle. (Wong et al., 2017)

Tämän ohella energiatehokkuus tukee kestävyystavoitteita. Pyrkimällä minimoimaan energiankulutusta resurssit riittävät pidempään, ja siirtyminen kohti netto-nollapäästöisyyttä on mahdollista. Nolla-energiatalojen rakentaminen on yksi keskeisistä ratkaisuista

energiatehokkuuden tehostamiseksi ja optimoimiseksi. (Razzaq et al., 2023) Energiatehokkailla ja vähäpäästöisillä rakennuksilla voidaan vähentää asuinrakennusten ilmastovaikutuksia. Uusiutuvalla, omalla energiantuotannolla on myös keskeinen merkitys hiilinegatiivisten rakennusmateriaalien ohella energiatehokkaassa rakentamisessa. (Kosonen ja Keskisaari, 2020. s. 13-14.)

Energiatehokas rakentaminen ei rajoitu pelkästään uudisrakennuksiin vaan olemassa olevien rakennusten energiatehokkuuden edistäminen on myös keskeistä näiden tavoitteiden saavuttamisessa. (Ojanen et al., 2017; Ympäristöministeriö, 2020).

2.3 Energiatodistus ja sen rooli energiatehokkuuden arvioinnissa ja päätöksenteon tukemisessa

Energiatodistus on standardoitu tapa arvioida rakennusten energiatehokkuutta. Todistuksen avulla voidaan edistää energiatehokkuuden vertailua sekä uusiutuvan energian käyttöä. Energiatodistusten laatijoiden pätevyysvaatimukset varmistavat todistusten laadun ja tietojen luotettavuuden sekä auttavat tunnistamaan energiansäästöpotentiaalia (Vuolle et al., 2018. s. 23-24)

Energiatodistus tarvitaan uusille rakennuksille sekä yleensä myynnin tai vuokrauksen yhteydessä. Sen avulla voidaan verrata rakennuksen energiatehokkuutta muihin vastaaviin rakennuksiin. Suomessa energiatodistus on ollut käytössä vuodesta 2008 ja sillä on ollut myönteinen vaikutus uudisrakennusten energiatehokkuuteen. Energiatodistus otettiin käyttöön vuonna 2003 annetun ja vuonna 2010 uusitun rakennusten energiatehokkuusdirektiivin mukaisesti. (Vuolle et al., 2018. s. 4-5) Suomessa direktiivin muutokset toteutettiin kansallisesti vuonna 2013 voimaan tulleilla energiatodistuslailla ja asetuksilla. Direktiivin salliessa osa rakennuksista on jätetty todistusmenettelyn ulkopuolelle. (Vuolle et al., 2018. s. 9-10) Vuonna 2018 direktiiviä muutettiin, mutta tällä ei ollut vaikutusta energiatodistusten laadintaan. (Vuolle et al., 2018. s. 5)

Energiatodistusten vaikuttavuus riippuu kuitenkin siitä, miten hyvin vastaanottajat ymmärtävät ja hyödyntävät niiden sisältöä. Saksan asuntomarkkinoilla tehty tutkimus osoittaa, että vaikka suurin osa kuluttajista on tietoinen energiatodistuksista, vain noin kolmannes tarkastelee niitä aktiivisesti harkitessaan asunnon ostoa. Lisäksi vain 44 prosenttia vastaajista piti

todistuksia luotettavina, ja monet kokivat, ettei niissä esitetty tarpeeksi selkeää taloudellista tietoa energiatehokkuuden vaikutuksista. (Amecke, 2012) Tämä korostaa, että pelkkä todistuksen olemassaolo ei riitä, vaan sen sisältö ja esitystapa vaikuttavat ratkaisevasti siihen, ohjaako todistus todellisuudessa kuluttajakäyttäytymistä energiatehokkaampaan suuntaan.

Energiatodistuksen käytettävyyteen liittyy myös energiatehokkuusluokan skaalaukseen liittyvä tutkimus. Gerassimenkon tutkimus (2025) osoittaa, että hienojakoisempi energiatehokkuuslukuluokittelu palvelee asunnon omistajia, jotka arvostavat tarkempaa ja nyansoidumpaa tietoa sekä ovat valmiita investoimaan energiatehokkuuteen myös muista kuin pelkistä taloudellisista syistä. Energiatehokkuusluokan uudelleenskaalaus voisi siten toimia keinona lisätä energiatodistuksen vaikuttavuutta ja kannustaa toteuttamaan pienempiäkin parannustoimenpiteitä sekä uudis- että korjausrakentamisen yhteydessä. (Gerassimenko et al., 2025)

Energiatodistus koetaan usein lisäkuluna, mutta jos sen roolia onnistuttaisiin kohottamaan osaksi laajempaa energiatehokkuus- tai remontointipalvelua, sen koettu arvo kasvaisi. Energiatodistuksen tulisi tuottaa asiakkaalle konkreettista hyötyä, esimerkiksi osoittamalla energiansäästöpotentiaaleja. Useimmiten energiatodistus tilataan uudisrakentamista tai myyntiä varten, ja sen laatimisen ajankohta ei ole optimaalinen. (Amecke, 2012) Jos energiatodistus pystyttäisiin muuttamaan dynaamiseksi työkaluksi, joka ohjaa energiatehokkuusvalinnoissa prosessin eri vaiheissa, sen arvo voisi olla merkittävämpi (Seduikyte et al., 2022; Spudys et al., 2023).

2.4 Energiatodistuksen laadinta ja potentiaali

Energiatodistuksen laatiminen perustuu laskennalliseen energiatehokkuusluokkaan eli E-lukuun, jonka ohella ilmoitetaan myös laskennallinen ja toteutunut ostoenergiankulutus. Olemassa oleville rakennuksille todistus laaditaan pätevöityneen laatijan tekemän paikan päällä tapahtuvan havainnoinnin perusteella, johon sisällytetään kustannustehokkaita ja rakenteellisesti perusteltuja energiatehokkuuden parannusehdotuksia. Todistus on oltava nähtävillä näytöissä ja annettava kaupanteon tai vuokrauksen yhteydessä sopimuskumppanille. Energiatodistuksen energialuokka on ilmoitettava myynti- ja vuokrausilmoituksissa kirjaimella, jonka alaindeksi osoittaa voimassa olevat säädökset. (Vuolle et al., 2018. s. 4-5.)

Rakennuksen energiatehokkuuden arviointi ja virallisen energiatodistuksen laatiminen perustuvat pääosin standardiarvoihin, rakennuksen geometristen ominaisuuksien määrittämiseen ja laskennalliseen energiankulutukseen (Vuolle et al., 2018). Perustason energiatodistus riittää tavallisissa asuinkohteissa, ja siihen vaadittavat tiedot saadaan usein manuaalisen mittauksen, skannauksen tai tietomalliin sisältyvien arvojen avulla. Näiden menetelmien avulla määritetään rakennuksen geometrian mitat, jotka usein vaativat eniten aikaa kohteessa (Vuolle et al., 2018).

2.5 Energiatehokkuuden teknologiset ratkaisut ja menetelmät

Energiatehokkuuden todentamisessa energiatodistus toimii yhteisenä kielenä viranomaisten, rakennuttajien ja kuluttajien välillä (Vuolle et al., 2018). Digitaaliset mallit ja simulaatiot sen sijaan mahdollistavat tarvittavan laskenta- ja visualisointialustan energiatehokkuuden edistämiselle. Digitaalisten mallien ja simulaatioiden avulla voidaan esimerkiksi jäljitellä rakennusten energiankulutusta ja arvioida erilaisten energiatehokkuustoimenpiteiden vaikutuksia. (Um et al., 2023) Rakennusenergian mallinnus (BEM, engl. Building Energy Modelling) on tärkeä työkalu asiantuntijoille energiansäästöpotentiaalin mittaamisessa. (Krstić and Teni, 2017)

Kuva 3 - Tietomallit, energiamallit ja visualisointi. (Makkonen, 2025c)

Energiamallinnus ja -simulointi menetelminä tehostamiseen

Rakennusenergian mallinnuksella ja simuloinnilla pystytään tuottamaan tietoa energiatodistuksen vaatimuksia syvemmällä tasolla. (Krstić and Teni, 2017) Rakennusten energiasimulointiohjelmistot, kuten Suomessa yleisesti käytössä oleva IDA ICE, tuottavat yksityiskohtaisen tuntitason energiasimuloinnin, joka tekee näkyväksi esimerkiksi sisäilman, kosteuden ja lämpömukavuuden analysoinnin rakennuksen eri osissa. Ohjelma on kehitetty koko

rakennuksen energiatehokkuuden ja sisäilmaston analysointiin, ja se on validointitestattu useissa kansainvälisissä vertailuissa (Del Ama Gonzalo et al., 2023)

Vaikka tällainen dynaaminen simulointi ei ole välttämättä tarpeellista tavanomaisen energiatodistuksen laatimisessa, sen käyttö voi tuoda lisäarvoa, kun energiatehokkuutta halutaan visualisoida ja tehostaa immersiivisten teknologioiden avulla. Simulaatiot voivat toimia apuvälineenä esimerkiksi energiansäästöpotentiaalin havainnollistamiseen ja vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailuun. (Vera-Piazzini et al., 2022) IDA ICE antaa valmiudet myös ulkoisten olosuhteiden, kuten sää- ja ilmastotietojen, käyttämisen tarkassa rakennuskohtaisessa laskennassa, ja se tukee eri käyttäjätasojen työskentelyä alkaen yksinkertaisista lomakepohjaisista määrittelyistä aina matemaattiseen mallinnukseen saakka (Del Ama Gonzalo et al., 2023).

Tietomallit energiatehokkuuden tehostamisessa

BIM eli tietomallintaminen on prosessi, jolla luodaan ja hallitaan rakennuksen tai muun rakennetun kohteen digitaalista tietoa sen koko elinkaaren ajan. Se on tiedon tuottamisen ja jakamisen menetelmä arkkitehtuuri-, insinööri- ja rakennusalan (AEC, engl. Architecture, Engineering, Construction) sekä kiinteistönhallinnan eri vaiheissa. BIM tukee eri sidosryhmien välistä yhteistyötä ja edistää viestinnän ja vuorovaikutuksen onnistumista eri sidosryhmien välillä. (Biswas et al., 2024; Subagio, 2023)

Tietomallimuotoisen rakennusdatan tuottamiseen tehokkaaksi keinoksi on esitetty tutkimuksissa Scan-to-BIM-menetelmää. Menetelmän avulla voidaan luoda tietomalleja rakennuksista, joissa alkuperäistä BIM-aineistoa ei ole Saatavissa. Esfahani (2021) tutki laserkeilaukseen perustuvan pistepilviaineiston käyttöä olemassa olevien rakennusten mallintamisessa ja arvioi mallien tarkkuutta ja luotettavuutta eri mallinnustilanteissa. Tutkimus osoittaa, että skannauksen avulla voidaan tuottaa rakennuksen geometriasta ja teknisistä järjestelmistä tarkkaa tietoa, joka soveltuu sekä dokumentointiin että energia-analyysien pohjaksi. Tämä menettelytapa on erityisen käyttökelpoinen vanhoissa kohteissa, joissa digitaaliset lähtötiedot puuttuvat ja manuaalinen mittaaminen olisi työlästä ja altista virheille (Esfahani et al., 2021)

Tietomallimuotoinen tieto ei rajoitu pelkästään 3D-geometriaan, vaan se sisältää myös rakennuksen eri osien ominaisuuksia, suhteita ja elinkaaritietoja. (Karaarslan et al., 2023) Tietomalli voi sisältää tietoa esimerkiksi materiaaleista, kustannuksista ja

energiatehokkuudesta, jota voidaan hyödyntää rakennuksen suunnittelussa ja eri vaiheissa asunnon elinkaarta. (Hadavi and Alizadehsalehi, 2024) Tietomallit sisältävät esimerkiksi tiedon rakenteiden U-arvoista, jotka ovat merkityksellisiä energiatodistuksen E-luvun määrittämisessä. E-luvulla tarkoitetaan rakennuksen energiatehokkuusluokkaa ja U-arvolla rakenteiden lämmön läpäisevyyttä (Aguilar-Santana et al., 2020). Näihin käsitteisiin perehdytään tarkemmin seuraavassa luvussa.

Asuntojen tietomalleihin liittyy kiinteästi IFC-käsite, jolla tarkoitetaan rakennusalan yhteistä tiedonsiirtoformaattia. IFC on avoin ja kansainvälinen standardi tiedostomuoto, jonka tarkoituksena on mahdollistaa tietomallien tiedonvaihto eri ohjelmistojen ja organisaatioiden välillä. Koska tietomallinnus-projekteissa käytetään usein eri toimittajien ja eri tarkoituksiin suunniteltuja ohjelmistoja, tarvitaan yhteinen tiedostomuoto, joka varmistaa tietojen yhteensopivuuden ja siirrettävyyden. IFC-formaatti toimii siis standardoituna kielenä, jonka avulla eri tietomallinnusohjelmistot voivat ymmärtää ja jakaa rakennustietoja. (Borrmann et al., 2018)

2.6 Keskeiset tiedot energiatehokkuuden arvioinnissa

Energiatehokkuuden teknisen arvioinnin luotettavuus perustuu käytettyjen lähtötietojen tarkkuuteen. Tarvittavat lähtötiedot voidaan jakaa rakenteellisiin, teknisiin sekä käyttäytymistä ja käyttöprofiilia kuvaaviin tietoihin (Kong et al., 2023)

Rakennuksen energiatehokkuuden arvioinnissa keskeinen tunnusluku on E-luku, joka esitetään rakennuksen energiatodistuksessa. E-luku kuvaa asunnon energialuokkaa ja tarkoittaa rakennuksen vuotuista oikaistua ostoenergiankulutusta, joka ilmoitetaan kilowattitunteina lämmitettyä nettoalaneliömetriä kohden vuodessa. Ostoenergiaan sisältyvät kaikki rakennuksen tarvitsemat energiamuodot, kuten sähkö ja kaukolämpö. Energiankulutus oikaistaan käyttämällä eri energiamuodoille määriteltyjä kertoimia, jotka kuvaavat energian tuotannon ja jakelun ympäristövaikutuksia. (Vuolle, 2018, s. 22). E-luku luo edellytykset erilaisten rakennusten vertailuun keskenään riippumatta niiden käyttämästä energiasta tai tekniikasta. Se toimii laskennallisen energiatehokkuuden yhteenvetona, ja rakennukselle annettava energiatehokkuusluokka määräytyy juuri E-luvun perusteella.

E-luvun määrittämiseen tarvitaan asunnosta energiatehokkuuden kannalta merkittävimmät tiedot. Näihin tietoihin kuuluvat rakennuksen geometria, vaipan rakenteet ja ilmatiiveys, jotka ovat keskeisiä rakenteellisia lähtötietoja. Näihin sisältyvät lämmitetty nettoala, tilavuus, ulkovaipan pinta-alat, rakenteiden U-arvot sekä ikkunoiden ja ovien ominaisuudet. (Aguilar-Santana et al., 2020)

Energiatehokkuuslaskennan lähtöarvoina käytetään rakennusosien ja teknisten järjestelmien selvitettyjä ominaisuuksia silloin, kun tarkempia tietoja ei ole Saatavissa. Näitä voivat olla suunnitteluasiakirjat, tietomallit, tarkastuksessa kerätyt havainnot tai viranomaisasetusten mukaiset oletusarvot. Mikäli mitään tarkkaa tietoa ei ole Saatavissa, energiatodistusasetuksessa määritellyt vuoden 2013 jälkeiset oletusarvot otetaan käyttöön. Lämmitetty nettoala puolestaan määritetään ajantasaisista suunnitelmista tai arvioidaan esimerkiksi rakennuksen ulkomittojen ja kerrosluvun avulla. Mikäli tietoa ei ole, voidaan olettaa nettoalan olevan 90 prosenttia lämmitetystä bruttoalasta (Vuolle et al., 2018. s. 27–28).

Teknisistä lähtötiedoista keskeisiä ovat myös rakennuksen lämmitys- ja jäähdytysjärjestelmien ominaisuudet, kuten järjestelmien hyötysuhteet, lämmönjakotavat ja termostaattiohjaukset (Kong et al., 2023). Myös ilmanvaihtojärjestelmän ominaisuudet, kuten lämmöntalteenoton hyötysuhde ja puhaltimien sähkönkulutustehokkuus, vaikuttavat merkittävästi rakennuksen energiantarpeeseen (Torcellini et al., 2020).

Käyttäytymiseen ja käyttöprofiileihin liittyvät tiedot sisältävät muun muassa asumistottumukset, sisälämpötilat, lämpimän käyttöveden kulutuksen sekä sähkölaitteiden käytön. Vaikka viralliset energiatodistukset käyttävät standardoituja oletuksia vertailukelpoisuuden varmistamiseksi, todellista energiankulutusta ja tehostamista varten nämä käyttäjäkohtaiset tiedot ovat olennaisia. Ulkoisten tekijöiden, kuten sijainnin mukaisten sää- ja ilmastotietojen hyödyntäminen energialaskennassa on myös välttämätöntä, sillä ne vaikuttavat merkittävästi rakennuksen energiakäyttäytymiseen ja siten arvioinnin tarkkuuteen. (Torcellini et al., 2020)

2.7 Energiatehokkuudesta kohti immersiivistä kokemusta

Tässä teorialuvussa tarkasteltiin energiatehokkuutta ja energiatodistusta, korostaen niiden roolia sekä kodin energiatehokkuuden edistämisessä, että kuluttajien päätöksenteossa. Energiatehokkuus ei ole enää vain rakennusten laatukriteeri, vaan keskeinen suorituskyvyn

mittari, johon vaikuttavat niin lainsäädäntö, taloudelliset säästöt kuin ympäristötavoitteetkin. Energiatodistus on standardoitu tapa arvioida ja vertailla rakennusten energiatehokkuutta, mutta sen vaikuttavuus riippuu suuresti kuluttajien kyvystä ymmärtää ja hyödyntää tätä tietoa. Teknologiset ratkaisut, kuten älykkäät energianhallintajärjestelmät, tietomallit sekä immersiiviset teknologiat, kuten digitaaliset kaksoset ja laajennettu todellisuus, tuovat esiin uusia vaihtoehtoja tehdä energiatehokkuudesta havainnollisempaa ja ymmärrettävämpää kuluttajille. Näiden kehittyneiden visualisointitekniikoiden avulla kuluttajat voivat tehdä tietoisempia päätöksiä, mikä korostaa niiden merkitystä energiatehokkuuden edistämisessä ja kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttamisessa.

3 Immersiiviset teknologiat osana kuluttajien energiatehokkuus-päätöksiä

Tässä luvussa määritellään immersio käsitteenä ja keskeiset immersiiviseen teknologiat sekä kuvataan teknologioiden nykytilaa ja tarkastellaan, miten nämä teknologiat integroituvat kotien energiankulutuksen minimoimiseen. Tämän ohella analysoidaan, millaista lisäarvoa immersiivinen visualisointi tuo kuluttajille ja energiatodistuksen laatijoille.

Immersiiviset teknologiat on valittu tutkimuksen kohteeksi, koska ne mahdollistavat uudenlaisen tavan havainnollistaa, suunnitella ja ohjata kulutuskäyttäytymistä. Perinteiset energiatehokkuustyökalut keskittyvät tekniseen tehostamiseen, mutta kuluttajien elämyksellinen osallistaminen ja sitouttaminen immersiivisillä teknologioilla voi tuoda käyttäjän osaksi suunnittelua ja päätöksentekoa. Tämä lähestymistapa voi edistää motivaatiota ja ymmärrystä energiatehokkuudesta asumisen arjessa.

3.1 Immersio käsitteenä

Immersiolla tarkoitetaan tilaa, jossa ihminen ei ainoastaan havainnoi tapahtumia ulkopuolelta, vaan kokee olevansa osa tapahtuvaa tilannetta tai ympäristöä. Eri konteksteissa immersion käsite viittaa syvään uppoutumiseen, kuten taiteessa, jossa voidaan kokea täyttä keskittymistä ja flow-tilaa. Esimerkiksi kirjaa luettaessa tai elokuvaa katsellessa saattaa uppoutua niin voimakkaasti, että tuntee olevansa osa tarinaa. Tällaisten immersiivisten kokemusten luominen on keskeistä elämyksellisyyden kannalta, minkä vuoksi immersiiviset teknologiat ovat valittu tutkimuksen teknologiseksi tarkastelunäkökulmaksi. (Lee, 2025)

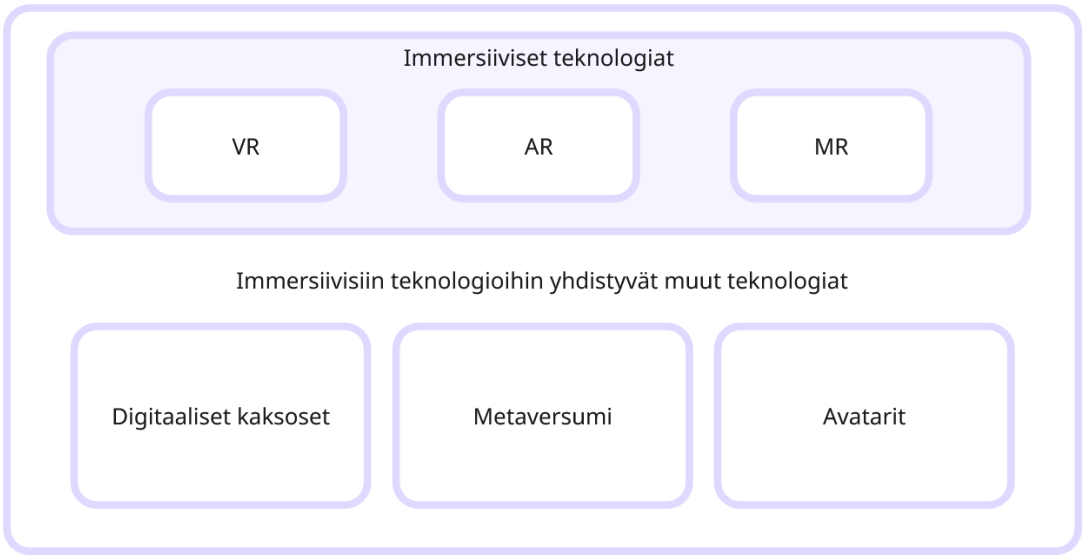
Leen tutkimuksessa (2025) immersiota kuvataan moniulotteisena ilmiönä, joka rakentuu neljästä ydinelementistä. Nämä elementit ovat fyysinen läsnäolo, sosiaalinen läsnäolo, läsnäolo itsensä kanssa sekä osallistuminen. Fyysinen läsnäolo tarkoittaa kokemusta siitä, että käyttäjä kokee olevansa fyysisesti läsnä virtuaalisessa ympäristössä. Sosiaalinen läsnäolo viittaa tunteeseen sosiaalisesta yhteydestä muiden käyttäjien tai virtuaalisten avatarien kanssa samassa tilassa. Läsnäolo itsensä kanssa merkitsee kokemusta siitä, että oma virtuaalinen

hahmo koetaan jatkeena todellisesta itsestä. Osallistuminen kuvaa kognitiivista ja emotionaalista paneutumista virtuaaliseen ympäristöön. (Lee, 2025)

Tällaisiin samankaltaisiin elämyksellisiin tiloihin pyritään pääsemään immersiivisten teknologioiden avulla. Immersiiviset teknologiat luovat kokemuksia yhdistämällä fyysisen maailman digitaaliseen tai simuloituun todellisuuteen. (Santos ja Peslak, 2022)

3.2 Immersiiviset teknologiat ja metaversumi

Immersiiviset teknologioilla tarkoitetaan teknologioita, joiden avulla käyttäjät voivat uppoutua reaalimaailmaa jäljittelevään tai täysin virtuaaliseen maailmaan. Immersiivisille teknologioille ominaista on että ne edesauttavat kokemusta, jossa käyttäjät tuntevat olevansa toisessa maailmassa tai ympäristössä (Stanney et al., 2020; Suzuki et al., 2023). Immersiivinen teknologia on yleiskäsite teknologioille, jotka hämärtävät fyysisen ja digitaalisen maailman rajaa. Se viittaa teknologioihin, joiden avulla käyttäjät voivat olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa ja saavuttaa näin tietyn immersion tason. Näitä teknologioita ovat alla esitetyssä kuvassa (Kuva 4) näkyvät lisätty todellisuus (AR, engl. Augmented Reality), virtuaalitodellisuus (VR, engl. Virtual Reality) ja yhdistetty todellisuus (MR, engl. Mixed Reality). Lisätty- ja virtuaalitodellisuus ovat yleisimmin käytettyjä immersiivisten teknologioiden muotoja (Emmelkamp and Meyerbröker, 2021; Stanney et al., 2020).



Kuva 4 - Immersiiviset teknologiat ja niiden kytkeytyminen muihin teknologioihin (Makkonen, 2025d)

Laajempi immersion taso voidaan saavuttaa yhdistämällä immersiiviset teknologiat metaversumiin ja metaversumitermin alla toimiviin teknologioihin. Metaversumilla tarkoitetaan laajaa virtuaalista ympäristöä tai maailmaa, joka jäljittelee monin tavoin todellista maailmaa. (Mustafa, 2022) Määritelmä kuitenkin vaihtelee näkökulman ja käyttötarkoituksen mukaan. Yleisesti metaversumi nähdään tilana, jossa käyttäjät voivat olla vuorovaikutuksessa sekä keskenään että ympäristön kanssa (Dwivedi et al., 2022. s. 4.) Metaversumi yhdistää perinteiset immersiiviset teknologiat, kuten laajennetun todellisuuden, osaksi laajempaa teknologiakehystä. Tähän kehykseen kuuluvat esimerkiksi digitaaliset kaksoset ja avatarit, jotka avaavat uusia näkymiä koko kodin energiajärjestelmän kaltaisten laajojen kokonaisuuksien kokemiseen immersiivisesti. (Pandey et al., 2025) Metaversumikäsitteen alle kuuluvat myös teknologiaa yhdistävät integraatioalustat, jotka luovat perustan immersion hyödyntämiselle esimerkiksi energiatehokkuuden simuloinnissa ja visualisoinnissa. Tällaisena alustana voidaan mainita esimerkiksi NVIDIA Omniverse, joka yhdistää eri teknologiat yhteiseen metaversumi-toimintaympäristöön. (Ahmed et al., 2024)

Metaversumi voidaan toisaalta ymmärtää laaja-alaisena digitaalisen vuorovaikutuksen tilana, jossa käyttäjät voivat osallistua immersiivisiin kokemuksiin reaaliaikaisesti. Metaversumissa virtuaalitodellisuus, lisätty todellisuus ja fyysinen todellisuus voivat yhdistyä saumattomasti. Tästä syystä metaversumia voidaan pitää immersiivisyyden kannalta merkittävänä teknologisena alustana. (Dwivedi et al., 2022, s. 1)

Metaversumi luo uudenlaisen tavan osallistumiseen ja yhteistyöhön yksilöiden, yritysten ja julkisten toimijoiden välillä. Käyttäjät voivat liikkua ja toimia interaktiivisessa ympäristössä, joka ei ole sidottu fyysisiin rajoitteisiin. Tämä avaa monipuolisia sovelluskohteita useille toimialoille, kuten rakennus- ja energia-alalle. (Hadavi and Alizadehsalehi, 2024)

3.3 Immersiiviset teknologiat kuluttajien päätöksenteossa

Immersiiviset teknologiat voivat vaikuttaa kuluttajien päätöksentekoon monin eri tavoin. Ne tukevat kuluttajien oppimista ja tiedonhankintaa tarjoamalla interaktiivisia ja visuaalisesti rikkaita kokemuksia esimerkiksi tuotevertailujen, käyttötilanneanalyysien ja päätöksentekoskenaarioiden kautta, jotka lisäävät kuluttajan varmuutta ja ymmärrystä ja jotka auttavat ymmärtämään tuotteita ja palveluita syvällisemmin. (Ambika et al., 2025) Tutkimustiedon valossa immersiivisten teknologioiden hyödyntämisen myötä kulutuskäyttäytymiseen

liittyvä epävarmuus vähenee ja päätöksenteon laatu paranee. Lisäksi immersiiviset teknologiat lisäävät päätöksenteon mukavuutta. (Enyejo et al., 2024) Käyttäjät voivat arvioida vaihtoehtoja virtuaalisesti ennen lopullista valintaa. Esimerkiksi lisätty todellisuus voi esittää tuotteen käyttöympäristössään, mikä konkretisoi valinnan seurauksia ja lisää varmuutta. (Ambika et al., 2025)

Immersiiviset kokemukset myös vahvistavat kuluttajien suhdetta brändiin. Ne voivat lisätä asiakkaan sitoutumista ja synnyttää tunteen läheisyydestä brändiä kohtaan, mikä edesauttaa asiakasuskollisuuden kehittymistä ja positiivista brändimielikuvaa. (Enyejo et al., 2024) Immersiivisten teknologioiden tuottamat hyödyt eivät rajoitu pelkästään toiminnallisuuteen, ne välittävät myös hedonisia eli nautinnollisia ulottuvuuksia. Virtuaaliset kokemukset voivat tehdä ostamisesta viihdyttävämpää ja houkuttelevampaa, mikä puolestaan vaikuttaa positiivisesti ostopäätöksiin. (Ambika et al., 2025)

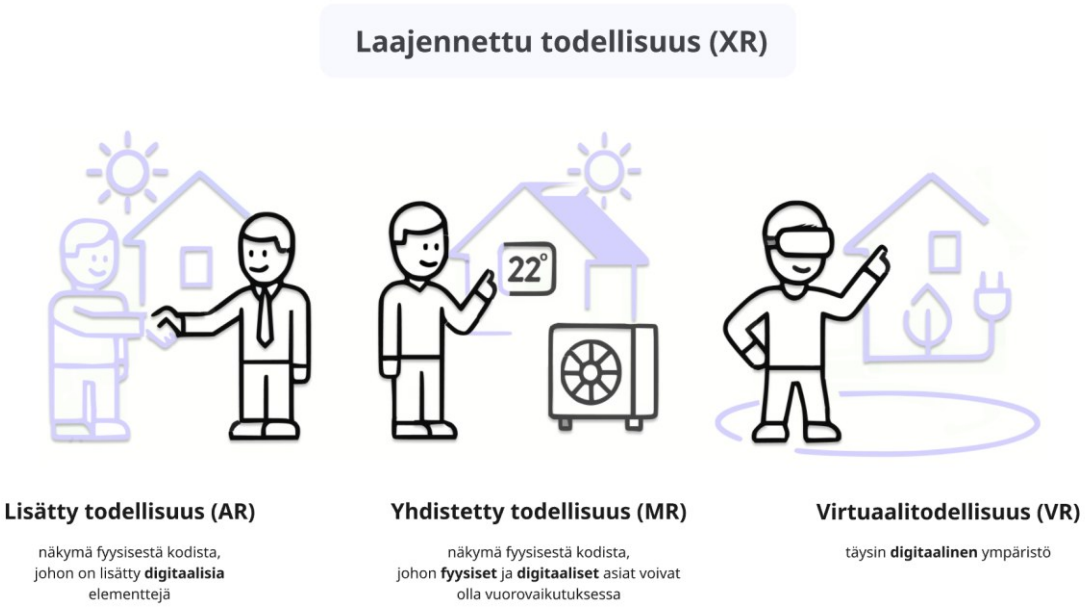
Immersiividellä nähdään tutkimuksssa uutena keinona kuluttajien sitouttamiseen. Laajennetun todellisuuden palvelut voivat tarjota interaktiivisia, yksilöllisiä ja vaikuttavia kokemuksia, jotka herättävät kiinnostusta ja ostohalukkuutta tehokkaammin kuin perinteiset mainosmuodot. On kuitenkin huomioitava, että immersiivisten teknologioiden käyttöön liittyy myös haasteita, kuten biometrisen datan keruu, käyttäjäseuranta sekä mahdollinen sosiaalisen vuorovaikutuksen väheneminen, jotka voivat herättää kuluttajissa huolta teknologian käytöstä. (Ambika et al., 2025)

Edelleen tutkimukset osoittavat, että immersio lisää merkittävästi käyttäjien tyytyväisyyttä ja investointihalukkuutta. Kun käyttäjä kokee virtuaalisen ympäristön todellisena, tunne yhteydestä sisältöön syvenee ja emotionaalinen sitoutuminen kasvaa. Korkealla immersiotasolla on selkeä yhteys käyttäjätyytyväisyyteen, ja immersiivisen kokemuksen laatu riippuu muun muassa aistipalautteen ja vuorovaikutussuunnittelun onnistumisesta. (Enyejo et al., 2024) Moniaistisen palautteen, narratiivisten elementtien ja osallistavan vuorovaikutuksen yhdistäminen, jotka tutkimuksessa osoittautuivat keskeisiksi tekijöiksi immersion laadun ja käyttäjätyytyväisyyden parantamisessa auttaa käyttäjää syventymään kokemukseen. Samalla on tärkeää välttää liian monimutkaista suunnittelua ja rakentaa luonnollisesti immersiivisiä kokemuksia, jotka tukevat tyytyväisyyttä (Chang and Suh, 2025).

Kuva 5 - Kuluttajan päätöksentekoon vaikuttavat tekijät (Makkonen, 2025e)

3.3.1 Laajennettu todellisuus

Immersiivisten kokemusten näkökulmasta yksi merkittävimmistä teknologioista on laajennettu todellisuus. Laajennettu todellisuus on kattokäsite useille immersiivisille teknologioille. Käyttäjän näkökulmasta merkittävimmän kokemuksellisen kerroksen teknologioita muodostaa lisätty todellisuus (AR), virtuaalitodellisuus (VR) ja yhdistetty todellisuus (MR). Lisätyssä todellisuudessa nimensä mukaisesti fyysiseen maailmaan lisätään digitaalisia elementtejä todelliseen maailmaan tuoden digitaaliset elämykset osaksi koettua todellisuutta. (Dudhee and Vukovic, 2021). Virtuaalinen todellisuus, joka on ehkä kuluttajille tutuin laajennetun todellisuuden ympäristö, rakentuu puhtaasti virtuaalisten kokemusten ympärille vieden kuluttajan digitaaliseen ympäristöön, joka voi olla representaatio todellisesta maailmasta mutta on täysin digitaalisessa ympäristössä. (Rafsanjani and Nabizadeh, 2023) Poiketen muista laajennetun todellisuuden teknologioista, yhdistetty todellisuudessa immersiivisyyttä lähestytään hieman toisenlaisesta näkökulmasta. Yhdistetyssä todellisuudessa yhdistyy fyysinen ja virtuaalinen maailma, ja ne voivat sulautua toisiinsa saumattomasti (Vasarainen et al., 2021).



Kuva 6 - Laajennettu todellisuus immersiivisenä teknologiana (Makkonen, 2025f)

Laajennettu todellisuus rakennus ja energia-alalla

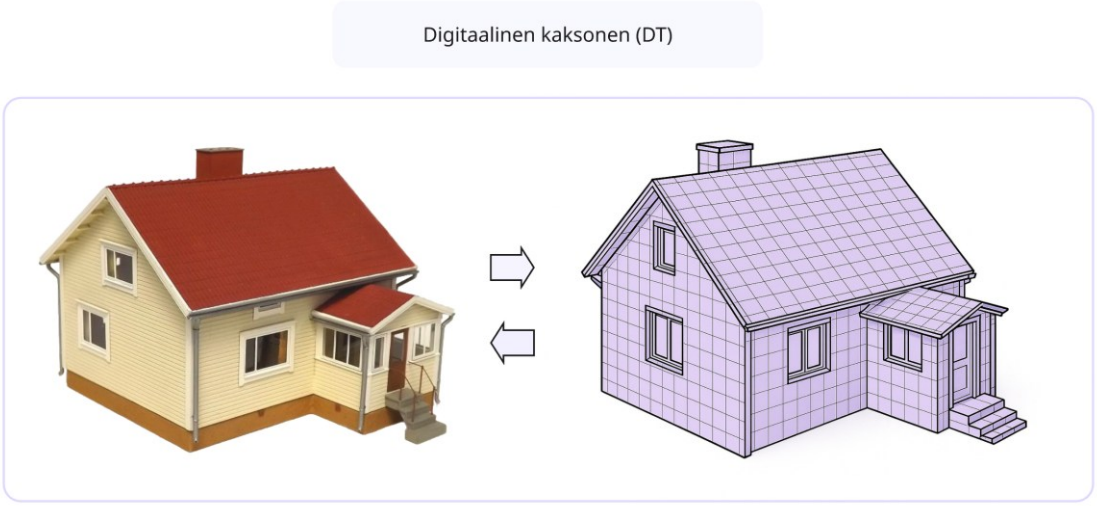
Laajennetun todellisuuden yhdistäminen työelämän käytäntöihin on uusi tapa tehostaa suunnittelua ja yhteistyötä eri aloilla. Laajennettu todellisuus on teknologia joka muodostaa interaktiivisen ympäristön, jossa käyttäjät voivat reaaliaikaisesti tutkia ja arvioida erilaisia suunnitelmia ja ratkaisuja tilakokemusten kautta. Tämä auttaa ylittämään fyysisen sijainnin sekä ajan ja resurssien asettamia rajoitteita työprosessissa (Da Silva and Garcia, 2013; Oprean et al., 2018)

Laajennetun todellisuuden teknologioiden käyttö kaupunkisuunnittelussa ja rakennusalalla on osoittautunut tehokkaaksi teknologiaksi yhteistyössä ja suunnitteluprosesseissa. Esimerkiksi Wagnerin tutkimuksessa hyödynnetään yhdistetyn todellisuuden teknologiaa osallistavassa kaupunkisuunnittelussa eri maissa (Wagner, 2012). Samoin Maftei ja Harty (2015) sekä Shen ym. (2013) osoittavat, että laajennetun todellisuuden teknologiat voivat parantaa viestintää ja yhteistyötä suunnittelijoiden ja asiakkaiden välillä, mikä edistää tehokkaampaa ja laadukkaampaa lopputulosta rakennusalalla, sitä kautta auttaa myös kuluttajia.

Laajennetun todellisuuden avulla voidaan luoda virtuaalisia työympäristöjä, jotka tukevat yhteisten tilakokemusten välittämistä ja vahvistavat läsnäolon tunnetta etäyhteistyössä. Tämä antaa valmiuksia tehokkaaseen ja syvempään yhteistyöhön fyysisestä etäisyydestä riippumatta. (Da Silva and Garcia, 2013; Oprean et al., 2018)

Laajennettu todellisuus tukee myös visuaalista suunnittelua ja nopeaa iterointia tarjoamalla työkaluja suunnitelmien reaaliaikaiseen muokkaukseen ja arviointiin (Gül, 2018; Maftei and Harty, 2015) Näin voidaan parantaa suunnittelun laatua ja tehdä prosesseista kustannustehokkaampia ja joustavampia. Esimerkiksi Bertram ym. (2015) käyttivät virtuaalitodellisuussovellusta turvallisuuskoulutukseen, mikä osoittaa virtuaalitodellisuutta potentiaalin kustannustehokkaissa, muuten resurssi-intensiivisissä tilanteissa.

3.3.2 Digitaaliset kaksoset



Kuva 7 . Digitaalinen kaksonen (Makkonen, 2025g)

Digitaalinen kaksonen (engl. Digital Twin) tarkoittaa reaaliaikaisesti päivittyvää digitaalista vastinetta fyysiselle kohteelle, kuten rakennukselle, infrastruktuurille, kokonaiselle kaupungille tai jopa ihmiselle (Francisco et al., 2020). Toisinaan digitaalinen kaksonen viittaa pelkkään digitaaliseen representaatioon todellisesta asiasta, kuten kodista, joka ei ole vuorovaikutuksessa sensoriteknologioiden kanssa. Tällöin puhutaan passiivisesta digitaalisesta kaksosesta. (Pigni et al., 2021)

Aktiivinen digitaalinen kaksonen sen sijaan on vahvasti vuorovaikutteinen kaksonen, joka hyödyntää esineiden internetiä (IoT), kehittynyttä data-analytiikkaa, tekoälyä ja monitasoisia simulaatioita (Maksimović et al., 2025). Aktiivisen digitaalisen kaksosen avulla voidaan seurata fyysisten rakenteiden ja järjestelmien reaaliaikaista tilaa sekä arvioida niiden toimintaa, mikä tehostaa ennakoivaa kunnossapitoa, vähentää ylläpitokustannuksia ja auttaa optimoimaan energiankäyttöä. (Pigni et al., 2021) Tämän ansiosta voidaan tunnistaa

energiankulutuksen tehottomuudet ajoissa ja toteuttaa kohdennettuja toimenpiteitä energiatehokkuuden parantamiseksi. Myös aktiivisen digitaalisen kaksosen avulla voidaan toteuttaa "mitä jos" -skenaarioita, joissa simuloidaan muutosten ja poikkeustilanteiden vaikutuksia rakenteisiin tai kaupunkijärjestelmiin. Tämä tukee suunnittelun verifiointia ja validointia, reaaliaikaista päätöksentekoa sekä operatiivista optimointia, parantaen resurssien käyttöä ja energiatehokkuutta. (Fuller et al., 2020; Glaessgen and Stargel, 2012)

3.3.3 Tietomallit, virtuaalinen suunnittelu ja energiatehokkuus.

Arkkitehtuurin, insinööritieteen ja rakennusalan (AEC) toimiala on keskellä merkittävää teknologista murrosta. Digitaalisten kaksosten rinnalla keskeisessä asemassa ovat tietomallit (BIM), virtuaalinen suunnittelu ja rakentaminen (VDC). (Volk et al., 2014)

VDC on monitieteinen lähestymistapa, joka yhdistää eri alojen suorituskykymallit rakennusprojektien tueksi. Se hyödyntää tietomalliteknologioita, mutta menee pidemmälle sisältäen myös vuorovaikutuksen rakennuksen, organisaation ja työprosessien välillä. VDC:n avulla voidaan ennustaa rakennus- tai korjausprojektin suorituskykyä ja verrata sitä toteutuneeseen lopputulokseen, mikä tukee projektinhallintaa ja tavoitteiden saavuttamista rakennushankkeissa. (Rischmoller et al., 2018)

Immersiivisten teknologioiden yhdistäminen digitaalisiin kaksosiin ja VDC-järjestelmiin avaa uusia näkökulmia myös kodin energiatehokkuuden tehostamiseen. Rakennuksen energiatehokkuuden visualisointi virtuaalisen tai yhdistetyn todellisuuden ympäristössä voi helpottaa asukkaiden ymmärrystä energiankulutuksesta ja ohjata heitä tekemään energiatehokkaampia päätöksiä. Tällainen ihmiskeskeinen lähestymistapa tukee älykkäiden kotien kehittämistä, joissa yhdistyvät teknologia, käytettävyys ja kestävyys. (Francisco et al., 2020; Rafsanjani and Nabizadeh, 2023)

Nämä teknologiat muodostavat yhdessä tekoälyn ja ihmiskeskeisten lähestymistapojen kanssa keskeisen tutkimussuunnan AEC-sektorilla. Digitaalisten kaksosten, VDC:n ja tekoälyn yhdistäminen voi automatisoida ja tehostaa työprosesseja sekä parantaa päätöksenteon laatua. Tämä kehityssuunta on muovaamassa rakennusalan tulevaisuutta ja avaa samalla monipuolisia mahdollisuuksia tulevaisuuden tutkimukselle ja kehitykselle. (Rafsanjani and Nabizadeh, 2023)

3.3.1 Kodin tietomallin yhdistäminen immersiivisiin teknologioihin.

Tietomallien yhdistäminen immersiivisiin teknologioihin, on innovatiivinen suunta rakennusten energiatehokkuuden suunnitteluun ja visualisointiin. Tietomallit ja digitaaliset kaksoset, luovat valmiuden interaktiivisille ympäristöille, joissa käyttäjät voivat tutkia rakennusten rakenteita, materiaaleja ja laitteita yksityiskohtaisesti ja reaaliaikaisesti. (Hadavi and Alizadehsalehi, 2024)

Tietomallin muodostaminen kodista

Kodin tietomalliksi muuttamiseen on useita eri vaihtoehtoja. Kodin tietomalli voidaan muodostaa Revit-ohjelmistossa suoraan rakennuksen pohjapiirustuksista tai hyödyntämällä kolmiulotteista skannausta. Rakennuksen skannausprosessia ja sen muuttamista tietomalliksi kuvataan tutkimuksissa scan-to-BIM-prosessina. (Rashdi et al., 2022)

Scan-to-BIM-prosessin ytimessä on 3D-pistepilviaineiston kerääminen ja sen prosessointi tietomalliksi. Pistepilvet tuotetaan yleensä LiDAR- tai fotogrammetriamenetelmällä. LiDAR-teknologia on erityisen tarkka ja tehokas työkalu geometristen muotojen sieppaamiseen, kun taas fotogrammetria on edullinen ja visuaalisesti näyttävä vaihtoehto. (Rashdi et al., 2022)

Rakennuksen skannaus voidaan toteuttaa esimerkiksi kiinteästä jalustasta tehtävällä terrestrisellä laserkeilauksella tai liikkuvalla alustalla tapahtuvalla mobiiliskannauksella. Skannauksen tuloksena saadaan pistepilviaineisto, joka käsittelemällä ja segmentoimalla voidaan muuntaa tietomalliksi. Tietomalli voidaan luoda esimerkiksi Revit-ohjelmistossa, jossa pistepilviaineisto toimii referenssinä tietomallinnukselle. (Rashdi et al., 2022)

Tietomallista metaversumiksi

Scan-to-BIM prosessia viedään Hadavi ja Alizadehsalehi (2024) tutkimuksessa vielä askelta pidemmälle immersion näkökulmasta. Prosessia kutsutaan BIM-to-metaverse-prosessiksi, jossa alkuperäinen tietomalli muutetaan virtuaaliseen ympäristöön soveltuvaksi malliksi. Tutkimuksen mukaan metaversumipohjaisella toteuma- tai suunnittelumallilla voidaan tukea parempaa yhteistyötä eri osapuolten, kuten kuluttajien, arkkitehtien, insinöörien ja rakennuttajien välillä, riippumatta heidän fyysisestä sijainnistaan. (Hadavi and Alizadehsalehi, 2024)

Hadavi ja Alizadehsalehi (2024) kuvaavat BIM-to-metaverse -prosessin vaiheittaisena toimintana, jossa ensiksi tietomallit muunnetaan laajennettuun todellisuuteen-yhteensopiviksi malleiksi, ja tämän jälkeen integroidaan virtuaaliseen yhteistyöympäristöön. Prosessin lopputuloksena käyttäjät pääsevät immersiivisessä tilassa käsittelemään rakennussuunnitelmia sekä simuloimaan ja arvioimaan erilaisia rakennuksen elinkaareen liittyviä asioita. Näin voidaan havaita ja korjata suunnittelun epäkohtia ennen rakentamista tai remonttien toteuttamista, mikä puolestaan tukee kestävien päätösten tekemistä ja voi vähentää energiankulutusta merkittävästi. Rakennuksen koko elinkaaren aikainen hallinta digitaalisen mallin avulla kulkee käsi kädessä ympäristöministeriön kestävyystavoitteiden kanssa. (Meritähti-Lustig, 2025)

Havadin tutkimuksessa tunnistettiin myös, että erilaiset teknologiat mahdollistavat datan viemisen fyysisestä maailmasta digitaaliseen tietomalliin. Rakennuksen fyysisen mallin tasolla asuntoa pystytään käyttämään informaation lähteenä esimerkiksi IOT-sensorien sekä asunnosta dataa keräävien menetelmien kuten skannauksen avulla. (Hadavi and Alizadehsalehi, 2024)

3.4 Immersiivisten teknologioiden mahdollisuudet energiatehokkuusnäkökulmissa

Immersiivisiä teknologioita voidaan hyödyntää energiatehokkuuden arvioinnissa ja tehostamisessa, varsinkin rakennetun ympäristön suunnittelussa ja ylläpidossa. Digitaaliset kaksoset mahdollistavat energiankulutuksen simuloinnin ja tehostamisen ennen fyysisten muutosten toteuttamista tai samanaikaisesti. Esimerkiksi rakennusten lämmitys, ilmanvaihto- ja valaistusjärjestelmien toimivuutta voidaan analysoida simuloiduissa olosuhteissa, mikä vähentää resurssien tarpeetonta kulutusta ja edistää hiilineutraaliustavoitteiden saavuttamista jo rakennusten suunnitteluvaiheessa. (Elfarri et al., 2023, s. 1)

Tämän ohella immersiiviset teknologiat voivat toimia visuaalisena ja pedagogisena työkaluna, jonka avulla voidaan havainnollistaa energiatehokkuuden vaikutuksia niin yksilöille kuin yrityksille. Kuluttaja pystyy esimerkiksi kokemaan energiatehokkuusremontin vaikutukset jo ennen kuin remontti toteutuu. Kuluttajan näkökulmasta se madaltaa kynnystä kalliillekin investoinneille. Laajennetun todellisuuden avulla pystytään esimerkiksi kokeilemaan uudet ikkunat tai simuloida jopa vetoisuuden tunnetta. Tämä lisää tietoisuutta kestävistä ratkaisuista ja tukee päätöksentekoa rakennushankkeissa sekä rakennusten

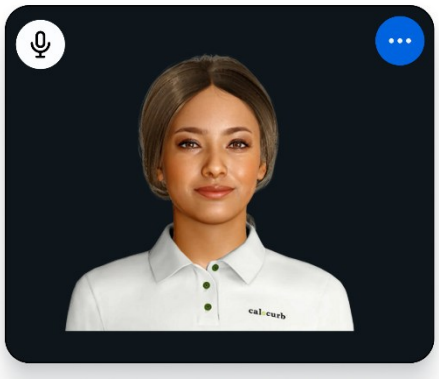
energiatehokkuusremonteissa. Immersiivisiä teknologioita voidaan yhdistää arkkitehtuuriin, energiasimulointiin luomaan kokemuksellisen ja dataperusteisen digitaalisen tilan, jonka avulla pystytään tuomaan näkyväksi muutokset jo ennen niiden toteutumista. (Francisco et al., 2020)

Energiatehokkuuden näkökulmasta immersiivisten teknologioiden mahdollisuudet avautuu kahdella tasolla. Rakennusprosessin aikaisena työkaluna, kun virtuaalimallinnusta hyödynnetään uuden kiinteistön tai remonttikohteen energiatehokkuusratkaisujen arviointiin, ja valmiiden rakennusten energiankulutuksen havainnollistamisessa, jolloin asukas tai ammattilainen voi liikkua virtuaaliympäristössä ja nähdä reaaliaikaista dataa rakenteiden tai laitteiden kulutuksesta. (Ma, 2023)

3.4.1 Tekoäly ja avatarit

Yksi immersiivisyyden kannalta merkittävä uusi suuntaus on tekoälyn hyödyntäminen kuluttajavuorovaikutuksessa edistämisessä. Tekoäly on metaversumissa yksi keskeisistä teknologioista. Tekoälyllä on useita soveltamiskohteita, mutta tässä työssä keskitytään sen käyttämiseeen päätöksenteon tukena virtuaalisissa ympäristöissä. Näissä ympäristöissä avatar toimii käyttäjän tai järjestelmän edustajana vuorovaikutuksen ja tiedon havainnollistamisen välineenä. Tekoälyn tukemina avatarit voivat toimia erilaisissa rooleissa, kuten asiakkaan tai työntekijän virtuaalisina avustajina, ja ne mahdollistavat yksilöllisen sekä monitasoisen vuorovaikutuskokemuksen. (Kim et al., 2023) Immersion näkökulmasta tekoäly antaa valmiuksia virtuaalisten avatarien ihmismäiselle vuorovaikutukselle (Huynh-The et al., 2023, s. 4).

Tekoälyllä varustetut avatarit käyttävät edistynyttä keskustelutekoälyä, johon sisältyvät teknologiat kuten puheentunnistus, luonnollisen kielen käsittely, edistyksellinen dialoginhallinta sekä koneoppiminen. Näiden teknologioiden avulla avatarit kykenevät tunnistamaan käyttäjien puhetta ja tekstiä, tulkitsemaan viestien tarkoituksia, hallitsemaan monimutkaisia keskusteluja sekä vastaamaan käyttäjän kysymyksiin ja tarpeisiin ihmisen kaltaisesti (Huynh-The et al., 2023)



Kuva 8 – Tekoälyavatar (Makkonen, 2025h)

Päätöksenteon tukemisessa ja immersion luomisessa tekoälyavatarissa voidaan nähdä potentiaalia. Ne voivat auttaa palvelun käyttäjää analysoimaan vaihtoehtoja, simuloida erilaisia skenaarioita ja auttaa monimutkaisten päätösprosessien jäsentämisessä. Esimerkiksi verkkokaupassa avatarit voivat tunnistaa ja ennakoida asiakkaan ostokäyttäytymistä sekä tarjota personoituja suosituksia, mikä parantaa ostokokemusta ja tehostaa kaupankäyntiä (Huynh-The et al., 2023). Leen (2004) tutkimuksessa tuodaan esiin, että sosiaalinen läsnäolo voi syntyä vuorovaikutuksesta virtuaalisten hahmojen eli avatarien kanssa, ja että avatarit voivat toimia sosiaalisen läsnäolon välittäjinä vuorovaikutteisissa ympäristöissä.

Avatarit voivat osallistua syvällisiin keskusteluihin käyttäjien kanssa ja tukea näin käyttäjiä arvioimaan erilaisia päätösten eettisiä ja sosiaalisia vaikutuksia. (Miller, 2019) Tämä voi lisätä päätöksenteon reflektiivisyyttä sekä parantaa käyttäjän tietoisuutta päätöstensä seurauksista. Kokonaisuudessaan tekoälyn ja avatariteknologian yhdistäminen tuottaa merkittäviä vaihtoehtoja parantaa päätöksenteon laatua, tehokkuutta ja käyttäjäkokemusta. (Huynh-The et al., 2023).

3.4.2 Pelillisten ympäristöjen immersiivisyys osana kuluttajien päätöksentekoa.

Pelimoottorit ovat keskeisiä työkaluja immersiivisten teknologioiden kehittämisessä. Niiden avulla pelillistetyt sovellukset voidaan toteuttaa nopeasti ja tehokkaasti ilman, että kaikkia toimintoja täytyy rakentaa alusta saakka. Riippumatta siitä, luodaanko kaksi- vai kolmiulotteisia ympäristöjä, pelimoottorien avulla saadaan valmiita ominaisuuksia, kuten objektien

luonti- ja sijoitustyökaluja, jotka nopeuttavat kehitystyötä ja parantavat lopputuloksen laatua. (Freina and Ott, 2015)

Suosituimpia pelimoottoreita tässä kontekstissa ovat Unreal Engine 5 ja Unity 3D. Molemmat tukevat laajasti laajennetun todellisuuden (XR) ominaisuuksia ja tarjoavat kehittäjille käyttöliittymiä, ohjelmointirajapintoja ja visuaalisia työkaluja, jotka madaltavat teknistä kynnystä ja nopeuttavat sisällöntuotantoa. Viimeaikaiset kehitysaskeleet näissä moottoreissa ovat edistäneet immersiivisten kokemusten toteuttamista, energiatehokkuuteen liittyvissä sovelluksissa. Immersiivisten teknologioiden avulla voidaan rakentaa realistisia ja vuorovaikutteisia päätöksentekoympäristöjä, joissa käyttäjät voivat testata ja ymmärtää eri valintojen vaikutuksia energiankulutukseen. (Casals et al., 2020; Krüger et al., 2024)

Tutkimukset ovat osoittaneet, että pelillistetyt ympäristöt voivat vaikuttaa positiivisesti käyttäjien päätöksentekoon energiatehokkuuden kontekstissa. Esimerkiksi Casalsin tutkimus (2020) osoitti, että käyttäjien tietoisuus energiankäytöstä lisääntyi ja heidän osallistumisensa energiansäästötoimiin parani. Kuitenkin käytettävyyteen liittyvät haasteet, kuten pelien monimutkaisuus ja riittämätön tuki, voivat heikentää sitoutumista. Tämä korostaa intuitiivisen suunnittelun ja selkeän palautteen merkitystä myös immersiivisiä teknologioita hyödyntävissä ratkaisuissa. Kun käyttäjä saa välitöntä palautetta virtuaaliympäristössä, hänen motivaationsa tehdä kestäviä valintoja voi kasvaa. (Casals et al., 2020)

4 Tutkimuksen teoreettinen viitekehys

Tässä luvussa esitetään tutkimuksen teoreettinen viitekehys, joka on muodostettu integroivan kirjallisuuskatsauksen pohjalta. Viitekehys kokoaa yhteen luvuissa 2 ja 3 esitetyt keskeiset teoriat ja käsitteet kodin energiatehokkuudesta sekä immersiivisten teknologioiden roolista kuluttajien päätöksenteossa. Tämä kappale toimii kirjallisuuskatsauksen synteesinä, joka kokoaa yhteen aiemman tarkastelun tulokset, jäsentelee ne tutkimuskysymysten mukaisesti ja yhdistää teoriatiedon empiirisessä osuudessa hyödynnettäväksi. Viitekehys toimii tutkimuksen teoreettisena perustana ja ohjaa prototyypin suunnittelua ja arviointia empiirisessä osuudessa.

4.1 Viitekehyksen muodostuminen ja keskeiset teemat

Teoreettinen viitekehys rakentuu kolmen teeman koheesion ympärille ja muodostaa suunnittelutieteellisen tutkimuksen kontekstissa toisiaan tukevaa perustaa kehitettävälle ratkaisulle. Teemat ovat, keskeiset tekniset tiedot tarkkuuden varmistamiseksi, kodin energiatehokkuuden edistäminen ja energiatodistus sekä immersiiviset teknologiat kuluttajien päätöksenteon tukena. Kuvassa yhdeksän on esitetty teoreettisen viitekehyksen rakenne ja keskeisimmät ominaisuudet.

Ensimmäinen teema painottaa energiatodistuksen edellyttämien rakennusteknisten tietojen tarkkuutta. Tähän sisältyvät muun muassa rakennuksen geometria, rakenteiden U-arvot, lämmitysjärjestelmät ja ilmanvaihto. Keskeisiksi menetelmiksi näiden tietojen tuottamiseen nousevat scan-to-BIM-prosessi, tietomallit (BIM) ja rakennusten energiamallit (BEM) (Esfahani et al., 2021; Kong et al., 2023). Edellä mainituilla teemoilla varmistetaan, että kehitettävä ratkaisu tuottaa teknisesti luotettavaa ja virallisen energiatodistuksen laadintaan sekä tarkempaan energiasimulointiin soveltuvaa tietoa.

Toinen teema keskittyy kodin energiatehokkuuden edistämiseen. Tämä näkökulma kattaa energiatehokkuuden edistämistoimet, kuten rakenteiden energiatehokkuuden muutostyöt, älykkäiden järjestelmien tehostamisen sekä energiansäästöpotentiaalien tunnistamisen. (Albuquerque et al., 2018; Kosonen and Keskisaari, 2020; Mc Guire et al., 2023) Teknologioina

tässä teemassa korostuvat tietomallipohjainen analytiikka ja simulointi. (Um et al., 2023) Tavoitteena on, että kuluttajalle voidaan tuottaa selkeitä suosituksia ja toimenpide-ehdotuksia energiatehokkuuden edistämiseen.

Kolmas teema tarkastelee immersiivisten teknologioiden roolia kuluttajakokemuksen ja päätöksenteon tukemisessa. Immersio, visualisointi ja vuorovaikutteisuus ovat keskeisiä elementtejä, joiden avulla energiaan liittyvästä tiedosta tehdään kuluttajalle ymmärrettävämpää ja merkityksellisempää. (Ambika et al., 2025; Chang and Suh, 2025; Karaarslan et al., 2023) Teknologioina tässä teemassa näkyvät digitaalinen kaksonen (DT), pelimoottori (Unreal Engine) sekä VDC työkalu (Twinmotion), avatarit ja tekoälypohjaiset tukiratkaisut (Hadavi and Alizadehsalehi, 2024; Huynh-The et al., 2023). Teeman ytimessä on kuluttajan sitoutuminen, vaihtoehtojen vertailtavuus ja energiatehokkuusvalintojen havainnollistaminen.

4.2 Koheesio kolmen pääteeman välillä

Viitekehyksen keskiöön asettuu integroiva ratkaisu, joka yhdistää teknisen tarkkuuden, energiatehokkuuden kehittämisen sekä immersiivisen esitystavan. Tämän ratkaisun muodostuminen ohjaa tutkimuksen empiiristä osuutta ja toimii vertailupisteenä kehitystyön aikana. Integroiva ratkaisu muodostuu kolmen pääteeman väliin jäävien rajapintojen vuorovaikutussuhteiden avulla.

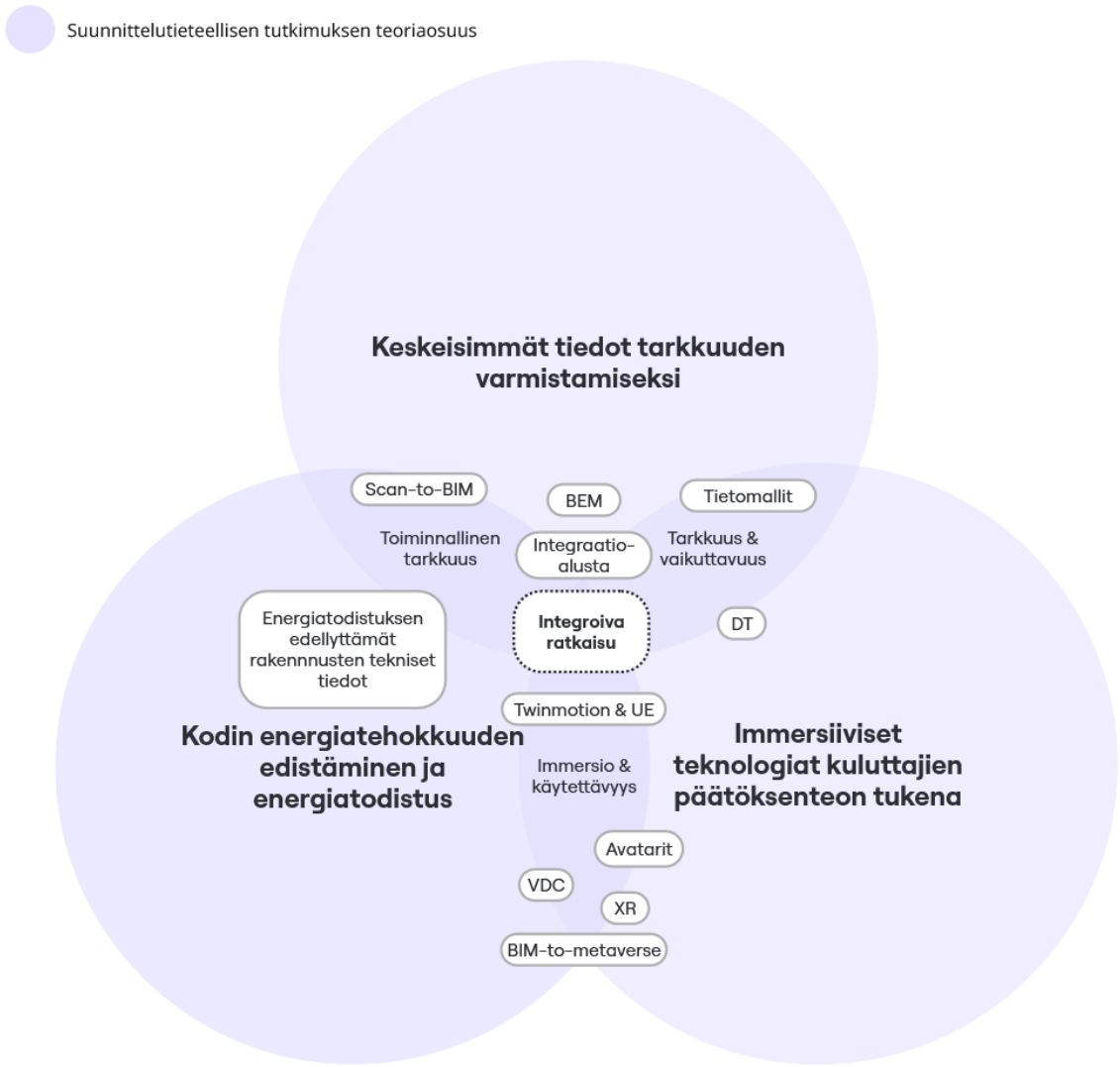
Ensimmäinen rajapinta muodostuu teknisen tarkkuuden ja energiatehokkuuden edistämisen välille. Se kuvaa, kuinka tarkat tiedot ja menetelmät luovat perustan energiatehokkuuden luotettavalle arvioinnille ja kehittämiselle. Toiminnallinen tarkkuus on keskeistä, jotta toimenpiteiden vaikutukset voidaan arvioida ja todentaa uskottavasti.

Toinen rajapinta muodostuu teknisen tarkkuuden ja immersiivisten teknologioiden välille. Tämä rajapinta kuvaa, kuinka teknisesti tarkat tiedot voidaan esittää immersiivisesti siten, että ne ovat vaikuttavia ja ymmärrettäviä kuluttajille. Tarkkuuden ja vaikuttavuuden rajapinta on keskeinen, jotta teknisesti monimutkaiset energiatehokkuustiedot voidaan muuntaa muotoon, joka tukee kuluttajien päätöksentekoa.

Kolmas rajapinta muodostuu immersiivisten teknologioiden ja energiatehokkuudenedistämisen välille. Tämä rajapinta kuvaa, kuinka immersiiviset teknologiat voivat tukea energiatehokkuuden edistämistä parantamalla käyttäjäkokemusta ja käytettävyyttä. Immersion ja

käytettävyyden rajapinta on keskeinen, jotta energiatehokkuuden edistämisestä tulee kuluttajille merkityksellistä ja motivoivaa.

Teoreettinen viitekehys vastaa asetettuihin tutkimuskysymyksiin yhdistämällä teknisen sisällön, energiatehokkuuden ja kuluttajavaikuttavuuden näkökulmat yhdeksi kokonaisuudeksi. Integroiva synteesi ohjaa kehittävää tutkimusta, joka pyrkii sekä suunnittelun tarkkuuteen että käyttäjälähtöiseen energiatehokkuuden edistämiseen.



Kuva 9 - Integroiva synteesi ja teoreettinen viitekehys (Makkonen, 2025i)

5 Tutkimusprosessi- ja menetelmät

Tässä luvussa käsitellään tutkimusprosessia ja käytettyjä menetelmiä. Aluksi kuvataan tutkimuksen toteuttamisen vaiheet ja perustellaan valitut menetelmät. Lisäksi tarkastellaan aineistonkeruuta, analyysimenetelmiä ja tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä. Lopuksi pohditaan menetelmällisten valintojen vaikutusta tutkimuksen tuloksiin ja niiden sovellettavuutta laajemmassa kontekstissa.

5.1 Tutkimusprosessin päävaiheet

Tutkimusprosessia ohjaa metodologinen viitekehys ja se rakentuu kahdesta päävaiheesta, integroivasta kirjallisuuskatsauksesta ja empiirisestä kehitysosiosta. Alla olevassa taulukossa on esitetty kunkin vaiheen tavoite, aineisto ja menetelmä sekä saavutettu tulos.

Kokeileva kehittäminen Relevanssi Suunnittelu Teoria

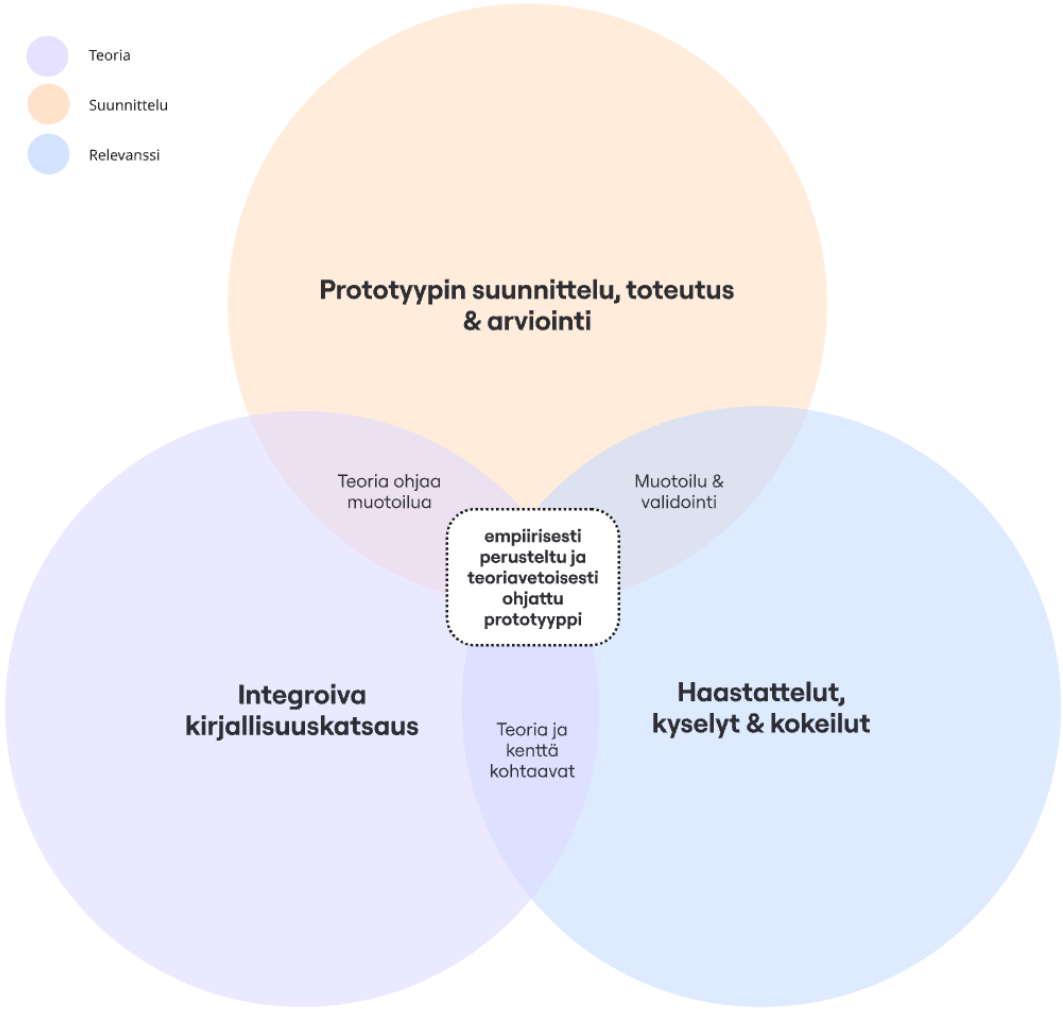
Vaihe	Tavoite	Aineisto ja menetelmä	Tulos
Integroiva kirjallisuus-katsaus	Koota tutkimuskysymysten kannalta keskeinen teoreettinen viitekehys ja muodostaa synteesi	Tiedonhaku LUT Primo -tietokannasta, lumipallo-otanta, JBI-laadunarviointi, temaattinen synteesi	Kolmeen tutkimuskysymykseen rajautuva teoreettinen synteesi ja viitekehys
Empiirinen osuus	Kehittää ja arvioida prototyyppi energiatehokkuuden edistämiseen ja visualisointiin	Kokeileva kehittäminen, haastattelut, kokeilut, kyselyt, aineiston analyysi	Kolme kehitysjakson kautta muotoutuva kaksiosainen prototyyppiratkaisu

Kuva 10 – Tutkimuksen päävaiheet, tavoite, aineistot ja tulokset (Makkonen, 2025j)

5.2 Tutkimuksen metodologinen viitekehys

Tässä luvussa kuvataan tutkimuksen prosessi, käytetyt menetelmät sekä tutkimuksen metodologinen viitekehys. Aluksi esitellään integroiva kirjallisuuskatsaus, jolla luotiin

teoreettinen tausta tutkimukselle. Tämän jälkeen avataan tarkemmin, kuinka tapaustutkimus toteutetaan yhdistäen suunnittelutieteellisen tutkimuksen näkökulman ja kokeilevan kehittämisen käytännönläheiset syklit. Lopuksi esitellään konkreettisemmin tutkimuksessa käytetyt haastattelut, kyselyt ja kokeilut.



Kuva 11 - Tutkimuksen metodologinen viitekehys VENN-diagrammi (Makkonen, 2025k)

5.2.1 Tapaustutkimus suunnittelutieteellisellä tutkimusotteella

Tämä tutkimus toteutetaan suunnittelutieteellisiä menetelmiä hyödyntävänä tapaustutkimuksena. Tapaustutkimus luo edellytykset asian tai ilmiön tutkimisen syvällisesti sen omassa kontekstissa (Hamel et al., 1993) Tässä tapauksessa energiatehokkuuden ja

immersiivisten teknologioiden käyttämistä nimenomaisessa kehitysprojektissa. Työssä keskitytään yhden innovointitapauksen eli kehittämisprojektin ympärille, jolloin voidaan tarkastella ilmiötä monipuolisesti käytännön kehittämistoimien, prototyyppien ja erilaisten sidosryhmien kautta.

Suunnittelutieteelliseen menetelmän hyödyntäminen näkyy tutkimuksessa siinä että, sidosryhmät, kuten muiden organisaatioiden asiantuntijat, energiatodistuksen laatijat sekä asuntojen omistajat, ovat aktiivisesti mukana kehitystyössä, antavat palautetta prototyypeistä ja vaikuttavat ratkaisujen suuntaan. Tutkimuksessa pyritään samalla tuottamaan uutta tietoa ja käytännössä toimivia ratkaisuja konkreettiseen ongelmaan.

Tapaustutkimuksen ja DSR (engl. Design Science Research, puhutaan tässä tutkimuksessa myös suunnittelutieteellisenä tutkimuksena), yhdistelmä soveltuu tähän tutkimukseen erityisen hyvin kahdesta syystä. Ensinnäkin kohdeorganisaation ja projektin ympärille rajattu tutkimus tukee perehtymistä ilmiöön ja kehitysprosesseihin. Toiseksi yhteiskehittäminen, johon osallistuvat eri sidosryhmät, tukee suunnittelutieteellisen tutkimuksen periaatteita. Tutkimusongelmat ja niiden ratkaisut tarkentuvat jatkuvasti vuorovaikutuksessa, ja jokainen kehitysvaihe syventää ymmärrystä energiatehokkuuden tehostamisesta immersiivisten teknologioiden avulla. Näin tutkimus tuottaa sekä käytännönläheisiä kehitysehdotuksia että uutta tietoa siitä, millä tavoin energiatehokkuuden edistämistä voidaan kehittää digitaalisissa ympäristöissä.

Suunnittelutieteellinen kehittämisote

Tapaustutkimuksen rajapintaan sijoittuvan tutkimuksen menetelmiksi valittiin suunnittelutieteellinen tutkimus ja kokeileva kehittäminen. Suunnittelutieteellinen tutkimus pyrkii luomaan uutta tietoa ja ratkaisuja käytännön ongelmiin kehittämällä niin kutsuttuja artefakteja, kuten prototyyppejä tai menetelmiä, ja arvioimalla niitä sekä käytännön että tieteellisen relevanssin näkökulmasta. (Hevner et al., 2004)

Kokeileva kehittäminen korostaa nopeita kokeiluja, prototyyppien rakentamista ja systemaattista palautteen keruuta. Se nivoutuu luontevasti suunnittelutieteellisen tutkimuksen iteratiiviseen suunnittelusykliin. Kokeilujen keskeinen tavoite on vähentää sekä tarjontaan että kysyntään liittyvää epävarmuutta. Tarjontaan liittyvä epävarmuus koskee teknisiä ratkaisuja, kuten käytettäviä laitteita ja ohjelmistoja, kun taas kysyntään liittyvä epävarmuus liittyy

siihen, kuinka hyödyllisenä käyttäjät kokevat palvelun tai työkalun ja keitä nämä käyttäjät ovat. (Sørensen et al., 2010)

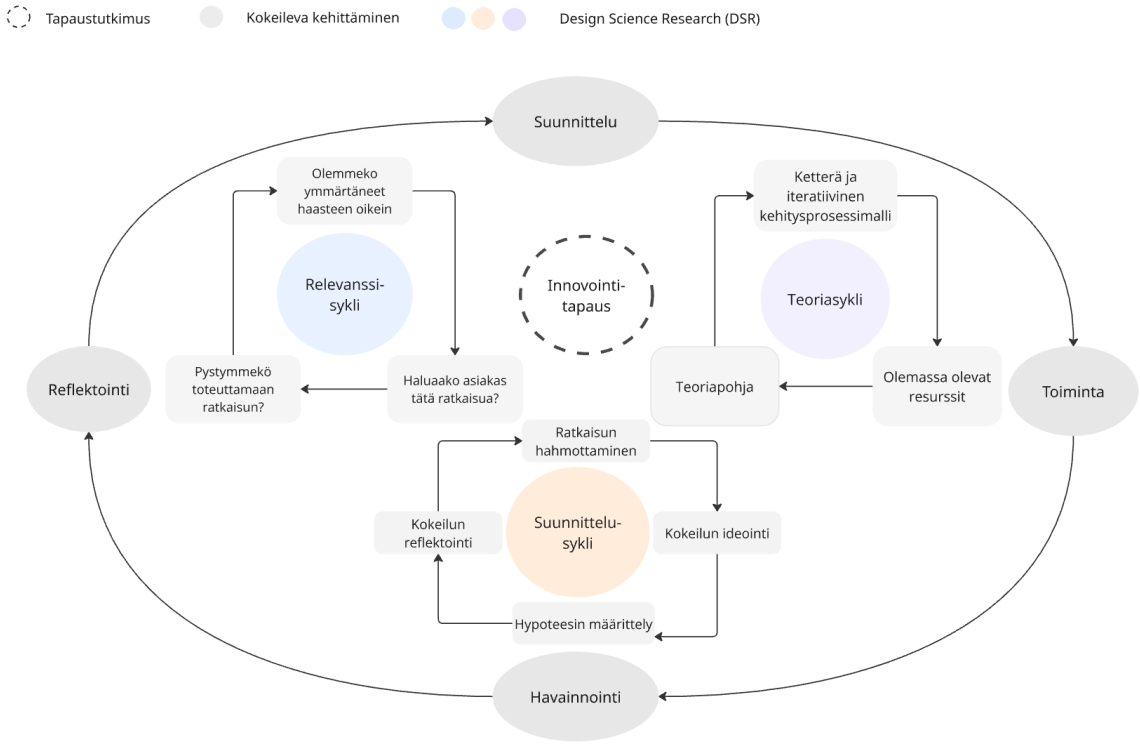
Relevansssisykli määrittelee tutkimuksen käytännöllisen taustan ja tarpeet, joihin kehitystyöllä pyritään vastaamaan (Hevner et al., 2004). Tässä Tutkimuksessassa relevanssisykli kiinnittyy kodin energiatehokkuuden ja immersiivisten teknologioiden kehittämisen haasteisiin sekä kohdeorganisaation tarpeisiin.

Teoria-sykli perustuu olemassa olevaan teoriapohjaan, menetelmiin ja aiempiin tutkimuksiin, joita hyödynnetään sekä suunnittelussa että ratkaisun arvioinnissa. (Hevner et al., 2004) Teoria-sykli toteutuu tässä tutkimuksessa integroivan kirjallisuuskatsauksen ja sen muodostaman synteesin kautta. Tähän sisältyy energiatehokkuuteen, rakennusalan digitalisaatioon ja immersiivisiin teknologioihin liittyvä kirjallisuus ja tutkimustieto.

Suunnittelusyklillä tarkoitetaan vaiheittaista prosessia, jossa varsinainen prototyypin suunnittelu, toteutus ja arviointi tapahtuvat. (Hevner et al., 2004) Tässä tutkimuksessa Designsykli konkretisoituu prototyyppien kehityksenä, palautteen keruuna (esim. haastattelut ja kokeilut) ja niihin perustuvana vaiheittaisena kehityksenä.

Kokeileva kehittäminen istuu suunnittelusykliin, jossa uutta ratkaisua kehitetään vaiheittain. Kokeilevan kehittämisen ytimessä on nopeiden kokeilujen tekeminen, hypoteesien muodostaminen, palautteen kerääminen todellisilta käyttäjiltä ja sidosryhmiltä sekä prototyypin jatkuva jalostaminen. Tällä tavoin ratkaisua voidaan jalostaa varhaisessa vaiheessa ja kohdistaa voimavaroja merkittävimpiin osa-alueisiin.

Seuraavalla sivulla esitetyssä kuvassa (Kuva 11) havainnollistetaan, kuinka relevanssi-, teoria- ja suunnittelusyklit kytkeytyvät kokeilevaan kehittämiseen sekä tapaus- ja toimintatutkimukseen.



Kuva 12 - Tutkimuksen metodologian synteesi (Makkonen, 2025l)

Kohdeorganisaatio ja tutkimukseen osallistujat

Tutkimukseen osallistuneella yrityksellä on verkostomainen toimintamalli, jossa yhdistyvät oman tuotannon, jälleenmyyjäverkostojen, asiakasrajapinnan myyntikanavien sekä digitaalisten palveluiden kehitystoiminnan roolit. Yrityksen liiketoiminta rakentuu tiiviissä yhteistyössä useiden sidosryhmien kanssa, kuten kuluttaja-asiakkaiden, projektimyynnin, jälleenmyyjien, suunnittelijoiden sekä asiantuntijapalvelujen tuottajien kanssa. Tämän vuoksi tutkimuksen ohjausryhmään valikoituu edustajia useilta eri toiminta-alueilta, mukaan lukien jälleenmyynti, markkinointi, tuotanto, tekninen tuotekehitys sekä digitaalisten ratkaisujen ja IT-kehityksen asiantuntijat. Tavoitteena on varmistaa, että tutkimuksessa huomioidaan koko asiakasarvoketju aina tuotetiedon hallinnasta loppuasiakkaan päätöksentekoon asti ja että kehitettävä ratkaisu tukee asiakaskokemusta sekä sisäistä prosessia laaja-alaisesti.

Kohdeorganisaation ohjausryhmän lisäksi tutkimukseen osallistuu haastateltavina ja kokeiluihin mukaan otettuina kaksi kuluttajaa, kolme jälleenmyyjää, rakennusalan suunnittelupäällikkö sekä energiatodistuksenlaatija. Osallistujat valitaan heidän asiantuntemuksensa tai kokeiluun soveltuvuutensa perusteella, jotta tutkimuksessa voidaan tarkastella kehitettävää ratkaisua monipuolisesti eri näkökulmista.

Aineistonkeruumenetelmät

Tutkimuksessa hyödynnetään useita toisiaan täydentäviä keinoja, jotta tutkimusongelmaa voitiin lähestyä sekä käyttäjien että ammattilaisten näkökulmasta. Aineistonkeruumenetelminä toimivat haastattelut, kyselyt ja kokeilut, joista jokainen tuotti omanlaistaan tietoa ratkaisun kehittämiseksi.

Kokeilut

Kokeilujen tarkoituksena on testata erilaisia prototyyppiratkaisuja käytännössä, jolloin prototyyppejä voidaan kehittää tuoreiden havaintojen ja palautteen pohjalta. Näin muodostui kokonaiskuva, jossa eri menetelmien tuottama aineisto tukee sekä ratkaisun suunnittelua että sen systemaattista arviointia.

Tutkimuksessa toteutetut kokeilut ovat keskeinen osa tutkimusprosessia kokeilevan kehittämisen ja suunnittelutieteellinen tutkimus viitekehyksen näkökulmasta. Kokeiluilla tarkoitetaan tässä yhteydessä käytännönläheisiä ja rajattuja prototyyppien testausjaksoja, joiden tarkoitus on kerätä välitöntä palautetta ratkaisun toimivuudesta.

Kokeilut etenevät iteratiivisissa sykleissä. Ensin muodostetaan hypoteeseja siitä, millaisia ominaisuuksia tai toiminnallisuuksia halutaan testata ja sekä määritetään kokeilun keskeinen tavoite. Hypoteesit liittyvät esimerkiksi ongelman relevanssiin, puuttuviin tietoihin tai oletettuihin seuraaviin kehitysaskeleisiin. Tämän pohja määritellään palautteenkeruumenetelmät sekä kohderyhmä (haastateltavat, ohjausryhmän jäsenet tai ammattilaiset). Kokeilun aikana aktiivinen havainnointi on keskeisessä roolissa: mukana on yksi tai useampi tarkkailija, ja haastattelija, joka täydentää teemakysymyksiä tilanteen mukaan, jos kokeilun aikana ilmenee haastattelun suuntaa muuttavia tekijöitä. (Poskela et al., 2018)

Testitilanteista kerätyt tallenteet ja havaintomuistiinpanot litteroidaan ja anonymisoidaan, minkä jälkeen aineisto jaetaan kysymyksiin perustuviin teemoihin. Teemoja tarkastellaan sekä sanallisen että sanattoman viestinnän osalta, jotta havainnointiin perustuvat huomiot (esim. epävarmuus eleissä tai positiivinen innostus) voidaan liittää suullisiin vastauksiin. Haastattelujen tulokset analysoidaan ja niitä hyödynnetään päätöksenteon tukena suunniteltaessa seuraavia kehitysaskeleita prototyypin kehittämiseksi.

Tutkimuksessa kokeilujen avulla voidaan muun muassa testata virtuaalikierroksen käytettävyyttä energiatehokkuusratkaisujen esittelyssä sekä arvioida, kuinka tietomallipohjainen

energiatodistusnäkymä tukee ammattilaisia ja kuluttajia ymmärtämään mahdollisia säästötoimenpiteitä. Säännöllisesti kerättyjen havaintojen ja haastattelutiedon perusteella prototyypin kehitys pysyy joustavana ja dynaamisena, ja tutkimus saa konkreettisia todisteita ratkaisun toimivuudesta jo ennen laajempaa käyttöönottoa. Myös jokainen kokeilu luo uusia hypoteeseja, joiden valossa suunnitellaan seuraavat testit, näin tutkittava ongelma, puuttuvat tiedot ja tulevat kehitysvaihtoehdot tarkentuvat jatkuvan syklisen kehityksen myötä.

Haastattelut

Tässä tutkimuksessa hyödynnetään laadullisena aineistonkeruumenetelmänä puolistrukturoitua teemahaastattelua prototyyppien kokeiluun. Puolistrukturoitu teemahaastattelu on joustava haastattelumenetelmä, jonka avulla voidaan tuoda esiin haastateltavien omia näkemyksiä syvällisesti (Eskola & Vastamäki 2015). Teemahaastattelun aihepiirit ja teemat ovat tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti ennakkoon määriteltyjä, mutta kysymysten järjestys tai tarkka muoto eivät ole tarkkaan määriteltyjä. Tämän menetelmän ansiosta haastattelussa säilyy vapaus siirtyä aiheesta toiseen tilanteen mukaan sekä syventyä yksittäisiin teemoihin sen verran kuin haastateltavan asiantuntemus ja kiinnostus antavat aihetta.

Lähestymistapa tukee kokeilevaa kehittämistä sekä suunnittelutieteellisen tutkimuksen viitekehystä, sillä haastattelut tuottavat uutta tietoa, jota voidaan hyödyntää prototyyppien kehittämisessä ja arvioinnissa. Haastateltavien reaktiot ja palaute auttavat suuntaamaan tutkimuksen jatkokehitystä niihin osa-alueisiin, jotka osoittautuvat joko lupaaviksi tai vaativat selkeää parannusta. Lisäksi litterointi ja aineiston analysointi takaavat, että saadut löydökset perustuvat systemaattiseen tiedonkäsittelyyn.

Teemahaastattelujen tarkoituksena on kerätä sekä kuluttajien että ammattilaisten näkemyksiä kodin energiatehokkuuden arvioinnista, optimointimenetelmistä ja immersiivisten iteknologioiden hyödyntämisestä. Näistä aiheista ei ole vielä kattavasti valmista tietoa, minkä vuoksi on tärkeää antaa tilaa myös haastateltavien vapaalle kokemuspohjaisille näkemyksille. Haastattelut toteutetaan etäyhteydellä tai lähitapaamisena. Haastattelujen laadun arviointiin hyödynnetään JBI:n asiantuntijahaastatteluiden ja narratiivisten lähteiden laadunarviointityökalua asiantuntijoiden haastattelujen osalta. (McArthur et al., 2025)

Fokusryhmähaastattelut ja kyselyt

Tutkimuksessa ohjausryhmän tapaamisissa hyödynnetään fokusryhmähaastatteluja. Fokusryhmähaastattelu on laadullinen tutkimusmenetelmä, jonka tarkoituksena on syventää ymmärrystä tutkittavasta ilmiöstä. Haastattelijan tehtävänä on luoda ilmapiiri, jossa erilaiset käsitykset ja mielipiteet voivat tulla vapaasti esille. Haastattelu äänitetään ja litteroidaan eli kirjoitetaan sanatarkasti auki analysointia varten. Aineisto käsitellään laadullisin menetelmin jakaen temaattisiin kokonaisuuksiin. Menetelmä antaa valmiudet erilaisten näkökulmien ja kokemusten esiin tuomiseen osallistujien välisen vuorovaikutuksen kautta. (Mäntyranta and Kaila, 2008) Tällainen lähestymistapa täydentää tutkimuksen suunnittelutieteellisiä syklejä, sillä se tukee ohjausryhmän edustajien mielipiteiden huomioimista kehityspäätöksissä entistä kattavammin ja nopeammin.

Kyselyä käytetään tutkimuksessa aineistonkeruumenetelmänä kohdeyhtiön ohjausryhmän jäsenten näkemysten, mielipiteiden ja kehityssuositusten keräämiseen. Se toteutetaan ohjausryhmätapaamisten välissä. Kyselyn tarkoituksena on varmistaa, että mahdollisimman laaja otanta ohjausryhmän näkemyksistä tulee esille tapaamisten ulkopuolella. Kyselyn avulla saadaan tehokkaasti koottua kunkin jäsenen tarkennuksia prototyypin kehittämiseen. Kyselyssä hyödynnetään samoja laadullisia aineiston analysointimenetelmiä kuin edellä mainituissa kokeiluissa, haastatteluissa ja fokusryhmähaastatteluissa menetelmissä.

5.3 Integroiva kirjallisuuskatsaus

Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksen menetelmäksi valittiin integroiva kirjallisuuskatsaus, joka on toteutettu systemaattisella otteella, sillä sen avulla voidaan kuvata tutkittavaa ilmiötä laajasti ja monipuolisesti. Tämä lähestymistapa tuottaa uutta tietoa aiemmin tutkitusta aiheesta sekä tukee kirjallisuuden tarkastelua, kriittistä arviointia ja synteesin muodostamista. (Torraco, 2005. s. 356.)

Integroiva kirjallisuuskatsaus antaa valmiudet kattavaan yleiskuvan muodostamiseen aiheeseen liittyvästä kirjallisuudesta (Whittemore and Knafl, 2005). Kodin energiatehokkuuden immersiivisteknologisessa tapaustutkimuksessa integroiva lähestymistapa on erityisen soveltuva, sillä aiheeseen liittyvää aineistoa on vielä rajallisesti Saatavissa, se on hajanaista ja systemaattisen katsauksen mukainen tarkka rajaus voisi johtaa olennaisen kirjallisuuden sivuuttamiseen. Integroivalla lähestymistavalla voidaan myös kerätä tietoa narratiivisista

lähteistä, joka tukee kokonaiskuvan muodostamista aiheista, joista on rajallisesti tutkimustietoa Saatavissa (Whittemore and Knafl, 2005).

Koska integroiva katsaus ei ole yhtä valikoiva eikä aineiston seulonta ole yhtä tiukkaa kuin systemaattisessa katsauksessa, sen avulla voidaan koota laajempi aineisto tutkimuksen pohjaksi. Lisäksi tämän menetelmän avulla analyysissä voidaan käyttää tutkimuksia, jotka on toteutettu eri metodologisten lähtökohtien mukaisesti. (Salminen 2011, s. 6)

Hakustrategian suunnittelu

Hakustrategia aloitetaan valitsemalla ensin tietokannat sekä sisäänotto- ja poissulkukriteerit, minkä jälkeen tehdään orientoiva tiedonhaku. Tiedonaku kohdennettiin LUT Primoon, joka on LUT-tiedekirjaston hakupalvelu. Sen avulla pystyttiin kohdistamaan hakua laajasti tieteelliseen aineistoon kattaen eri tietokantojen sähköiset ja painetut julkaisut (LUT-Tiedekirjasto, 2024). Koska tavoitteena oli muodostaa mahdollisimman kattava käsitys tutkittavasta ilmiöstä, myös narratiivista aineistoa haettiin verkosta samoilla hakusanoilla täydentämään puuttuvia tiedon palasia.

Hakua laajennettiin edelleen Litmaps-työkalun avulla, soveltaen lumipallo-otanta-strategiaa niistä artikkeleista, jotka täyttivät määritetyt hakukriteerit. Tämän lähestymistavan avulla pystyttiin paikantamaan laadukkaita tieteellisiä julkaisuja, jotka eivät valituista hakusanoista huolimatta olleet nousseet esiin LUT Primossa tehdyssä haussa.

Tiedonhaku jaettiin Tutkimuksessa kolmeen osa-alueeseen tutkimuskysymysten mukaisesti. Hakusanoiksi valittiin tutkimuskysymysten kannalta keskeisiä käsitteitä, ja näitä täydennettiin tiedekirjaston suositusten mukaisesti muodostamalla tarkempia hakulausekkeita. Hakulausekkeita täydennettiin Boolean-operaattoreilla (AND, OR, NOT) rajaamaan tai laajentamaan tuloksia. (LUT-Tiedekirjasto, 2024)

Tutkimuskysymys 1. Millaisella työkalulla voidaan tehostaa kodin energiatehokkuutta ja luoda energiatodistus?
"residential energy efficiency" "energy certificate" OR "energy performance certificate" OR EPC "energy efficiency tool" OR "energy performance tool" "building energy optimization" AND "energy certificate"
Tutkimuskysymys 2. Mitkä tiedot ovat keskeisimpiä energiatehokkuuden arvioinnissa, jotta palvelun tekninen tarkkuus voidaan varmistaa?
"energy assessment" OR "energy performance evaluation" "optimization methods" OR "energy modeling" OR "simulation" "technical accuracy" OR "reliability" "energy efficiency" AND "optimization" AND "assessment"
Tutkimuskysymys 3. Kuinka energiatehokkuuden tehostamistyökalu tulisi visualisoida ja esittää immersiivisten teknologioiden avulla, jotta se vastaisi kuluttajien tarpeita ja tukisi heidän päätöksentekoaan?
"immersive technology" OR "metaverse" "visualization" OR "3D visualization" OR "interactive visualization" "energy certificate" AND "consumer decision-making" "digital twin" AND "energy performance"

Kuva 13 - Integroivan kirjallisuuskatsauksen hakusanat (Makkonen, 2025m)

Sisäänotto- ja poissulkukriteerit

Hakua rajoitetaan englannin- ja suomenkielisiin tieteellisiin artikkeleihin, konferenssijulkaisuihin ja raportteihin, kun taas yli kymmenen vuotta vanhat julkaisut sekä opinnäytetyöt rajataan pois. Nämä valinnat varmistavat, että aineisto on sovellettavissa Suomen energiatehokkuutta koskeviin kysymyksiin ja tukee samalla ajankohtaisen tutkimustiedon hyödyntämistä.

Laadunarviointi

Tutkimusaineiston laadunarvioinnissa hyödynnetään kahdenlaista lähestymistapaa riippuen aineiston tyypistä. Tieteelliset julkaisut, jotka valikoituvat LUT-Primosta, sekä muista vertaisarvioiduista tutkimustietokannoista lumipallostrategian avulla, täyttävät laadulliset kriteerit sillä perusteella että ne ovat valikoituneet tieteellisen aikakausilehden julkaisuksi. Tutkimustietokannoista valikoitujen tutkimusartikkelien osalta laadullinen arviointi ei siis etene näiden tutkimusten osalta pidemmälle.

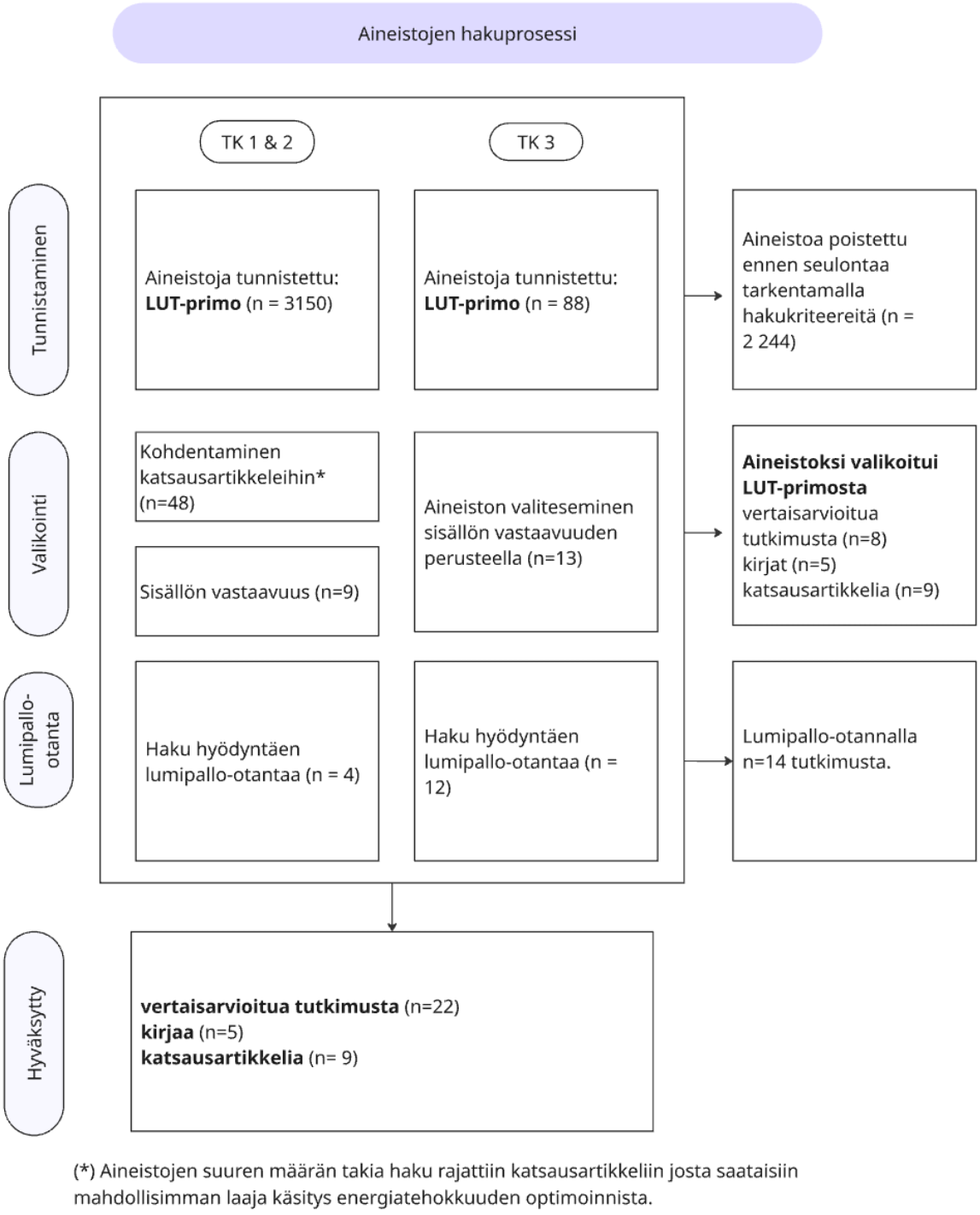
Narratiivinen aineisto, kuten viranomaisraportit, asiantuntijalausunnot ja mielipidekirjoitukset, arvioidaan JBI:n kehittämällä erityisellä tarkistuslistalla, joka keskittyy asiantuntijatekstien uskottavuuden, johdonmukaisuuden ja perustelujen arviointiin. (Joanna Briggs Institute, 2019) Tämä soveltuu laadullisen ja narratiivisen aineiston kriittisen arviointiin tutkimuksen validiteetin varmistamiseksi. (McArthur et al., 2025)

Tiedonhaku ja hakuprosessi

Tiedonhakuprosessi toteutetaan kolmen tutkimuskysymyksen pohjalta kahtena erillisenä hakukierroksena, joita täydentää lumipallo-otanta LitMaps-verkkosivulla. Ensimmäisessä vaiheessa haetaan aineistoja LUT-Primosta, jossa tunnistetaan yhteensä 3150 lähdettä tutkimuskysymyksen yksi ja tutkimuksen kaksi osalta. Näistä seulotaan katsausartikkeleita (n = 48), joista sisällön perusteella valikoituu 9 relevanttia julkaisua. Edelleen lumipallo-otannalla löydetään 4 lisäjulkaisua.

Toisessa vaiheessa, joka liittyy tutkimuskysymykseen kolme, LUT-Primosta tunnistetaan 88 lähdettä. Näistä 13 valitaan sisällöllisen vastaavuuden perusteella tutkimusaineistoksi. Lumipallo-otannalla lisätään 12 aineistoa tutkimukseen hyödynnettäväksi.

Kokonaisuudessaan aineistoksi valikoituu 22 vertaisarvioitua tutkimusta, 5 kirjaa ja 9 katsausartikkelia. Aineistojen valinta perustuu laadulliseen arviointiin, jossa huomioidaan lähteiden ajankohtaisuus, tieteellinen relevanssi ja suhde tutkimuskysymyksiin. Lumipallo-otanta täydentää hakua tehokkaasti tunnistamalla viiteaineistojen kautta uusia, temaattisesti olennaisia lähteitä.



Kuva 14 - Mukailtu PRISMA-prosessikaavio aineistohausta (Makkonen, 2025n)

5.3.1 Aineiston analysointi ja synteesi

Synteesivaiheessa kerätyt tutkimus- ja narratiiviset lähteet jaotellaan kolmeen pääteemaan Tutkimuksen tutkimuskysymysten mukaisesti. Jokaisen teeman sisällä aineistoa verrattaan keskenään, etsitään yhteneväisyyksiä ja eroja sekä arvioidaan löydösten relevanssia tutkimuksen tavoitteiden kannalta. Tämän analyysin avulla muodostuu kokonaiskuva energiatehokkuuden edistämiseen, immersiivisiin teknologioihin perustuvaan visualisointiin ja energiatodistuksen kehittämiseen liittyvistä keskeisistä menetelmistä, haasteista sekä mahdollisuuksista.

Integroivan kirjallisuuskatsauksen aineiston analyysi toteutetaan temaattisen synteesin avulla. Kerätty aineisto ryhmitellään tutkimuskysymysten perusteella kolmeen pääteemaan, kodin energiatehokkuuden tehostamismenetelmät, teknisen arvioinnin tarkkuuden varmistaminen sekä energiatehokkuuden visualisointi ja esittäminen immersiivisten teknologioiden avulla.

Temaattisessa analyysissä aineistosta etsitään keskeisiä käsitteitä, toistuvia ilmiöitä ja tutkimustulosten välisiä yhteyksiä. Kunkin teeman sisällä tutkimuksia vertaillaan suhteessa tutkimusasetelmaan, käytettyihin menetelmiin ja löydösten relevanssiin. Erityistä huomiota kiinnitetään siihen, miten hyvin tutkimukset vastaavat asetettuihin tutkimuskysymyksiin ja millaisia aukkoja tai ristiriitoja aineistossa ilmenee.

Aineiston vastaavuus arvioidaan kriittisesti sisällön ja kontekstin näkökulmasta. Tarkastelussa huomioidaan muun muassa tutkimusten ajankohtaisuus, metodologinen laatu, soveltuvuus Suomen asuntokantaan sekä mahdolliset rajoitteet liittyen käytettyihin teknologioihin tai tutkimusympäristöihin. Myös lumipallo-otannan kautta löydetyt tutkimukset arvioidaan yhdenmukaisilla kriteereillä, jotta aineiston laadullinen taso säilyy johdonmukaisena.

Synteesin tavoitteena on muodostaa kattava ja kriittinen kokonaiskuva tutkittavasta ilmiöstä, tunnistaa energiatehokkuuden optimoinnin, arvioinnin ja visualisoinnin keskeisiä kehityssuuntia sekä kartoittaa tulevaisuuden tutkimustarpeita varsinkin immersiivisten teknolgioiden hyödyntämisen näkökulmasta.

6 Tutkimustulokset

Tässä luvussa kuvataan tutkimusprosessin eteneminen ja sen aikana saadut keskeiset havainnot ja tulokset. Luku jakautuu kolmeen erilliseen kehitysjaksoon, joissa käsitellään prototyyppien suunnittelua, toteutusta ja arviointia vaiheittain.

Kehitysjaksoilla tarkoitetaan noin kuukauden mittaisia ajanjaksoja, joiden aikana prototyyppiä kehitetään järjestelmällisesti eteenpäin. Näillä jaksoilla ei viitata suoraan suunnittelutieteellisen tutkimuksen sykleihin, vaikka ne muodostavatkin osan kehitystyön taustalla vaikuttavasta metodologisesta viitekehyksestä. Kehitysjaksojen aikana tutkimukseen vaikuttavat varsinkin relevanssi- ja suunnittelusyklit, jotka ovat keskeisessä roolissa prototyypin kehityksessä. Teoriasykli toimii taustalla tukien empiiristä kehittämisprosessia.

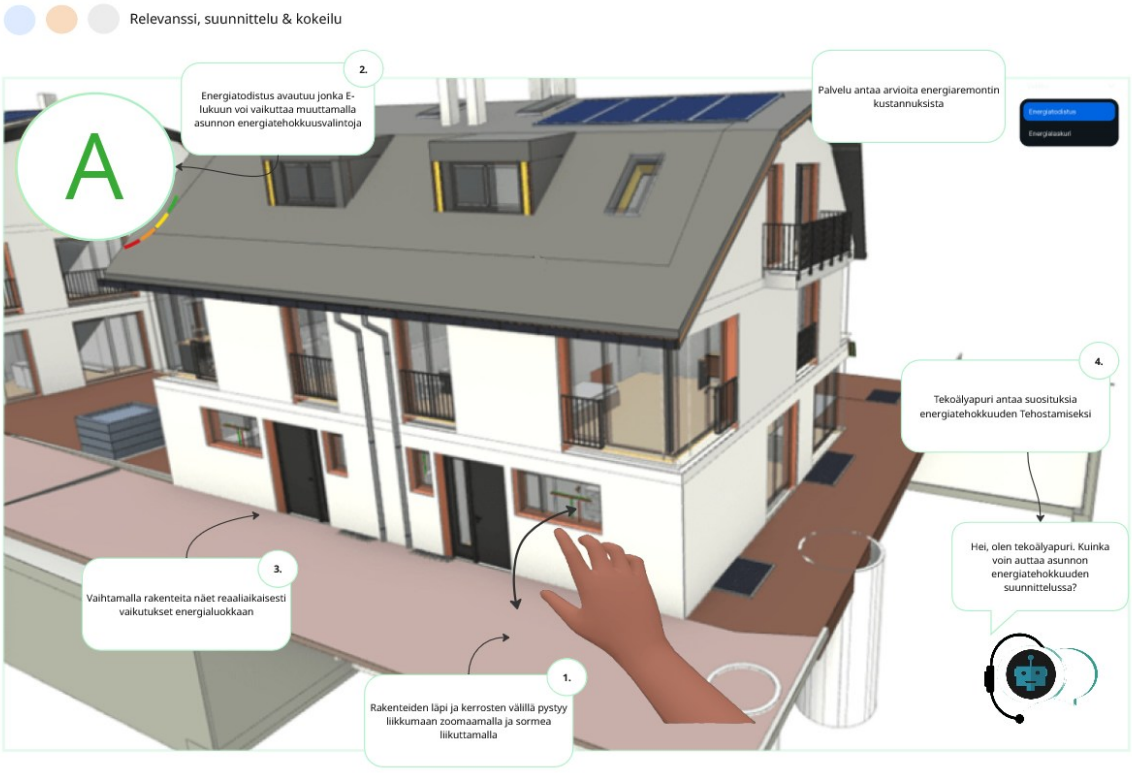
Luvun lopussa tarkastellaan, miten tutkimuksen löydökset suhteutuvat olemassa olevaan kirjallisuuteen ja aiempiin tutkimuksiin, jotka käsittelevät kotien energiatehokkuuden optimointia rakennetussa ympäristössä. Tuloksia peilataan systemaattisesti tutkimuksen metodologiseen viitekehykseen, jolloin muodostuu kokonaiskuva kehitystyön vaikuttavuudesta sekä sen teoreettisesta ja käytännöllisestä relevanssista.

6.1 Ensimmäinen kehitysjakson tutkimustulokset

Tutkimuksessa nousee esiin kaksi rinnakkaista lähtökohtaa, joiden pohjalta muodostetaan erilliset mutta toisiaan täydentävät prototyyppivaihtoehdot. Ensimmäinen prototyyppi rakentuu verkkopohjaisen palvelun varaan, jossa kuluttaja voi muokata valmiita tai puolivalmiita asuntomalleja ja kokeilla erilaisia energiatehokkuusvalintoja visuaalisesti. Tällä tavalla pyritään tukemaan kuluttajan omaehtoista päätöksentekoa ja lisäämään ymmärrystä energiatehokkuusratkaisujen vaikutuksista. Toinen prototyyppi keskittyy kotikohtaisesti yksilöityyn palveluun, jossa hyödynnetään skannausteknologiaa ja tietomallinnusta kuluttajan oman kodin pohjalta. Tarkempi ja yksilöidympi energiatehokkuusnäkymä tukee sekä kuluttajia että energiatodistusten laatijoita paremmin.

Näiden kahden prototyyppivaihtoehdon toteuttamiseksi tutkimuksessa havaitaan, että paras ratkaisu syntyy yhdistämällä tietomallit, skannaus ja pelimoottoripohjainen visualisointi.

Tutkimuksen ensimmäisen kehitysjakso osoittaa, että hybridimalli, jossa yhdistetään kaksi erillistä teknologista lähestymistapaa tuottaa koko rakennuskannan kannalta parhaimman lopputuloksen. Hybridimallilla terminä viitataan tutkimuksen yhteen ensimmäisistä hypoteeseistä, jonka mukaan asunnon mallintaminen onnistuu, kun asunnon geometriset mitat määritettiin joko skannauksella tai asunnon tietomallia hyödyntämällä. Tutkimustiedon ja kokeilun kautta ymmärretään, että ratkaisu voidaan toteuttaa myös yhdistämällä nämä kaksi teknologista lähestymistapaa, ja siitä muodostuu kappaleessa käytetty hybridimallin käsite. Hybridimallin avulla hyödynnetään asunnon iGuide-pohjaista kolmiulotteista skannausta sekä tuodaan skannauksesta muodostettu tietomalli (Revit) immersiivisiä teknologioita hyödyntäville digitaalisille alustoille (Twinmotion). Tämä yhdistelmän avulla pystytään tuottamaan sekä olemassa olevan rakennuskannan visualisointi että energiatehokkuuden analysointi.

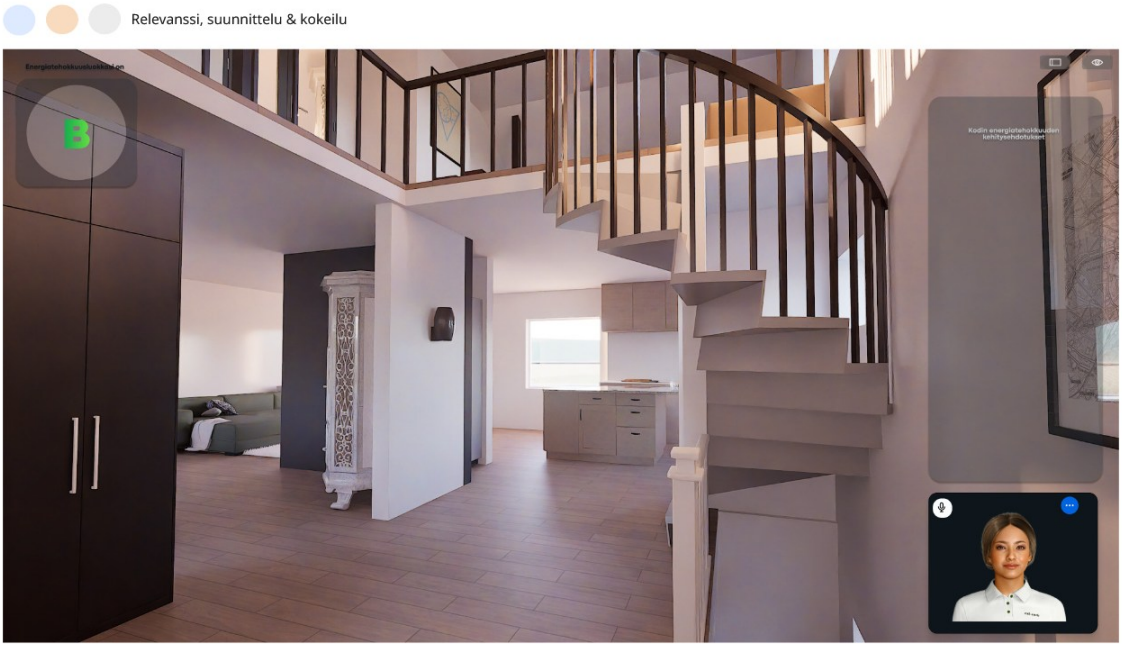


Kuva 15 – Hybridimallin ensimmäinen prototyyppi (Makkonen, 2025o)

Tutkimus osoittaa, että skannaukseen parhaiten soveltuu tässä käyttötilanteessa iGuide PLANIX -järjestelmä, jonka LiDAR-pohjainen mittaustarkkuus (±10 mm jopa 40 metrin

etäisyydellä) on riittävä ja kustannustehokas energiatodistuksen laadinnassa tarvittavan geometrisen tarkkuuden näkökulmasta. Scan-to-BIM-tutkimuksen (Esfahani et al., 2021) mukaan tämä tarkkuus vastaa useimmissa rakennusratkaisuissa hyväksyttävää ±20 mm virhemarginaalia. iGuiden valintaan vaikuttaa myös se, että data voidaan tallentaa käyttäjän omiin tietokantoihin sekä tietomalliyhteensopivuus. Autodesk-yhtiön Revit valitaan tietomallintamisympäristöksi sen laajan integroitavuuden ja analyysiin soveltuvan tietomallirakenteen ansiosta. Revit tukee tietomalli-, energiamalli- ja VDC-toimintoja ja integroituu IDA ICE -ohjelmistoon, jota on hyödynnettävissä rakennuksen energiasimulointiin ja laskentaan.

Visualisointialustoiksi valitaan Twinmotion ja Unreal Engine 5, sillä ne soveltuvat hyvin immersiivisten kokemusten luomiseen. Valintaan vaikuttaa erityisesti näiden ohjelmistojen kyky yhdistää tietomallipohjainen aineisto korkeatasoiseen visuaaliseen esitykseen, joka tukee sekä laajennettua todellisuutta että digitaalisten kaksosten hyödyntämistä. Immersiivisyys vahvistaa käyttäjän päätöksentekoa, koska se havainnollistaa konkreettisesti eri suunnitteluratkaisujen vaikutukset tilan energiatehokkuuteen.



Kuva 16 – Kodin energiatehokkuustyökalunäkymä (Makkonen, 2025p)

Ensimmäisessä kehitysjaksossa syntyy prototyyppi energiatodistusnäkymästä, jonka tarkoituksena on visualisoida eri materiaalivalintojen, teknisten ratkaisujen ja lämmitysjärjestelmien vaikutuksia rakennuksen E-lukuun ja muihin energiatehokkuuden mittareihin. Tutkimustulos vastaa tavoitteeseen tarjota selkeä ja tiivis yhteenveto suunnitteluratkaisujen

vaikutuksista, joka arvioidaan potentiaalisesti palvelevan kuluttajien päätöksentekoprosesseja. Tutkimuksen projektiryhmän sisäisen A/B-testauksen perusteella, voidaan todeta esittämistavan tukevan päätöksenteon ymmärrettävyyttä ja havainnollisuutta. (Liite 2)

Tutkimuksen ensimmäisen kehitysjakson lopussa toteutetun kuluttajahaastattelu ja kokeilun perusteella voidaan todeta, että ensimmäisen kokeilujakson hybridimalli tukee energiatehokkuuteen liittyvien valintojen ymmärtämistä ja sen arvioidaan olevan käyttökelpoinen viestinnän ja suunnittelun tukena. Saadut tulokset ohjaavat seuraavan kehityssyklin tavoitteita ja painopisteitä. Kehitysvaiheen perusteella vahvistuu käsitys siitä, että yhdistämällä skannaus- ja tietomallinnusmenetelmiä tuotetaan sekä teknisesti tarkkaa että käyttäjälähtöistä tietoa energiatehokkuuden suunnittelun tueksi. Haastattelun perusteella ratkaisun koetaan tuottavan lisäarvoa etenkin siitä näkökulmasta, että sen avulla kuluttajat voivat ymmärtää tulevien remonttitoimenpiteiden vaikutuksia sekä teknisesti että visuaalisesti. Käyttäjien näkökulmasta pidetään tärkeänä myös vaihtoehtojen vertailtavuutta ja kustannushyötysuhteen hahmottamista, mikä osoittaa hybridimallin soveltuvan päätöksenteon tueksi käytännön energiatehokkuusremonttisuunnittelussa.

6.2 Toisen kehitysjakson tutkimustulokset

Toisen kehitysjakson tutkimustuloksena syntyy prototyyppi, joka rakentuu kahden erillisen mutta toisiaan täydentävän käyttötilanteen ympärille. Ensimmäinen keskittyy verkkopohjaiseen palveluun, jonka tavoitteena on tukea kuluttajaa energiatehokkuustoimien hahmottamisessa ja vaihtoehtojen vertailussa ilman, että kodin mallinnus on erikseen tilattava. Toinen käyttötilanne painottuu energiatehokkuuden tehostamiseen omassa kotiympäristössä. Prototyyppivaihtoehdot mahdollistavat yksilöllisen energiatehokkuustiedon tarkastelun sekä visuaalisesti että analyyttisesti, ja niiden suunnittelu perustuu käyttäjien ja asiantuntijoiden tunnistamiin tarpeisiin.

Kuva 17 – Verkkosivupohjainen ratkaisu (Makkonen, 2025q)

Tutkimus osoittaa, että pelimoottoripohjainen visualisointi, varsinkin Twinmotionin (Unreal engine 5), hyödyntäminen, lisää käyttäjien ymmärrystä. Kyselytutkimuksen (Liite 3) ja energiatehokkuustuotteiden jälleenmyyjien haastattelujen (Liite 4) perusteella immersiiviset visuaaliset elementit, rakenteiden korostus sekä energialuokan muutoksen havainnollistaminen koetaan tehokkaiksi päätöksenteon tukikeinoiksi. Jälleenmyyjien haastatteluissa korostuu myös se, että laskettavan arvon ohella päätöksentekoon vaikuttaa suuresti tunneperäiset asiat ja niiden visualisointi koetaan tärkeäksi palvelussa. Käyttäjäkokemuksissa korostuvat visuaalinen vetovoima ja havainnollisuuden selkeys, mikä osoittaa, että visualisoinneilla on tärkeä rooli sekä teknisen tiedon välittämisessä että tunteisiin vaikuttamisessa.

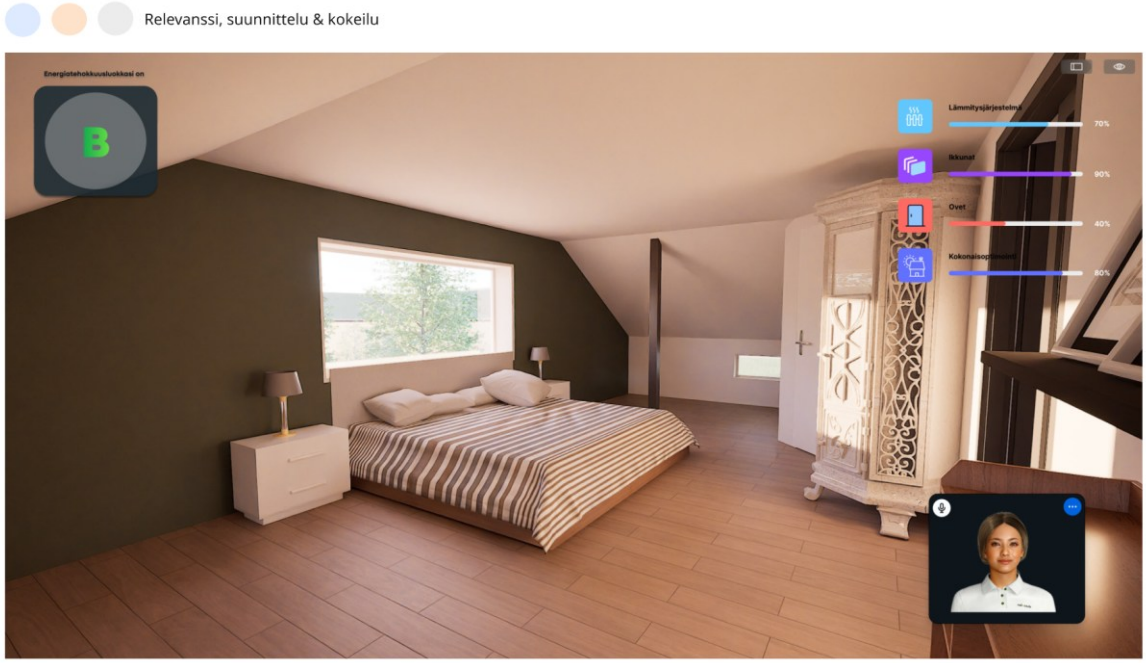
Yksi merkittävistä tutkimuksen havainnoista on tekoälyavustajan käyttö osana palvelukokemusta. Kuluttajien ja jälleenmyyjien haastatteluissa (Liite 4) nousi esiin, että tekoälypohjainen neuvonta koetaan käyttökelpoisena osana päätöksentekoprosessia siksi, että sen hyödyntäminen ei ole sidottu aikaan. Käyttäjä voi saada tukea silloin, kun se itselle parhaiten sopii, toisin kuin perinteisessä asiakaspalvelussa, joka noudattaa normaalin työviikon aikatauluja. Tekoälyavustajan avulla käyttäjä pystyy saamaan alustavan arvion

toimenpiteiden vaikutuksista sekä saamaan ehdotuksia jatkotoimista. Tämä tukee käsitystä siitä, että teknologinen tuki ei korvaa asiantuntijaa, mutta voi merkittävästi täydentää ja nopeuttaa tiedon saavutettavuutta.

Energiatodistuksen laatijan haastattelu (Liite 5) tuo esiin, että vaikka virallisen energiatodistuksen laatiminen edellyttää edelleen pätevöityneen ammattilaisen käyntiä kohteessa, voidaan kolmiulotteisen skannauksen avulla tehostaa kohteen mittauksia ja alustavaa analyysia kohteesta. Prototyyppiin integroitu energiatehokkuustyökalunäkymä (Liite 6) havainnollistaa eri rakenteiden, lämmitysjärjestelmien ja ilmanvaihtoratkaisujen vaikutukset palvelussa. Käyttäjä pystyy vuorovaikutteisesti graafien ja tekstikenttien avulla vertailemaan vaihtoehtoja ja tarkentamaan tietoja oman asuntonsa osalta.

Tutkimuksessa ohjausryhmälle suunnattu kysely (Liite 3) osoittaa, että palvelun keskeisiä vahvuuksia ovat sen vuorovaikutteisuus, visuaalisuus ja kyky tuoda energiatehokkuusratkaisut lähemmäs loppukäyttäjää. Tämän vahvistaa myös rakennusalan suunnittelupäällikön haastattelu (Liite 7), joka osoittaa, että prototyyppi kulkee linjassa rakennusalan tarpeiden kanssa. Ohjausryhmässä toivottiin, että palvelu tarjoaisi kevyen käyttöliittymän, jossa kuluttaja voisi syöttää perustiedot, kuten rakennusvuoden, rakenteet ja lämmitysjärjestelmän ja saada alustavan arvion energialuokasta. Lisäksi esitetään, että palvelun tulisi olla käytettävissä kotona, jotta se voisi aidosti tukea arkea ja suunnitteluprosessia. (Liite 3)

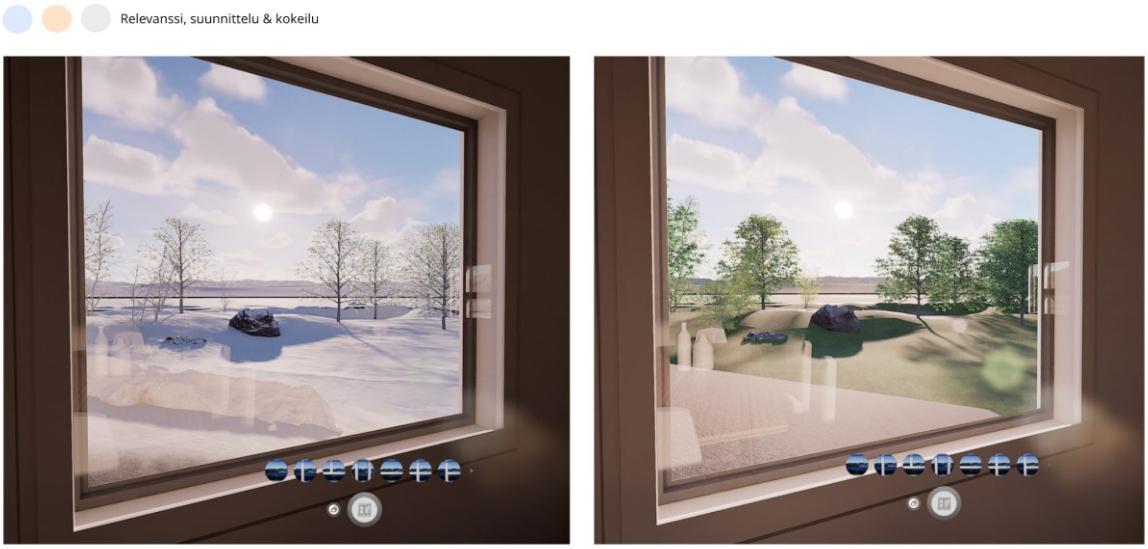
Toisen kehitysjakson lopputuloksena syntyi monitasoinen palvelukonsepti, joka kykenee mukautumaan käyttäjän roolin ja tarpeiden mukaan. Prototyyppi osoitti, että yhdistämällä 3D-mallinnus, tietomallipohjainen laskenta ja intuitiivinen käyttöliittymä voidaan rakentaa energiatehokkuusratkaisuja tukevia työkaluja, jotka soveltuvat sekä kuluttajien että ammattilaisten käyttöön. Palvelun modulaarinen rakenne tukee sen laajentamista ja jatkokehittämistä esimerkiksi energiakorjauspolkujen mallintamiseen, kustannuslaskelmiin tai vaatimustenmukaisuuden seurantaan. Tutkimuksen toisen vaiheen tulokset osoittavat, että tällainen edistää energiatehokkuutta, sekä tukee vaikuttavampien päätösten tekemistä kotitalouksissa.



Kuva 18 - Kodin energiatehokkuuden edistämisnäkymä (Makkonen, 2025r)

6.3 Kolmannen kehitysjakson tutkimustulokset

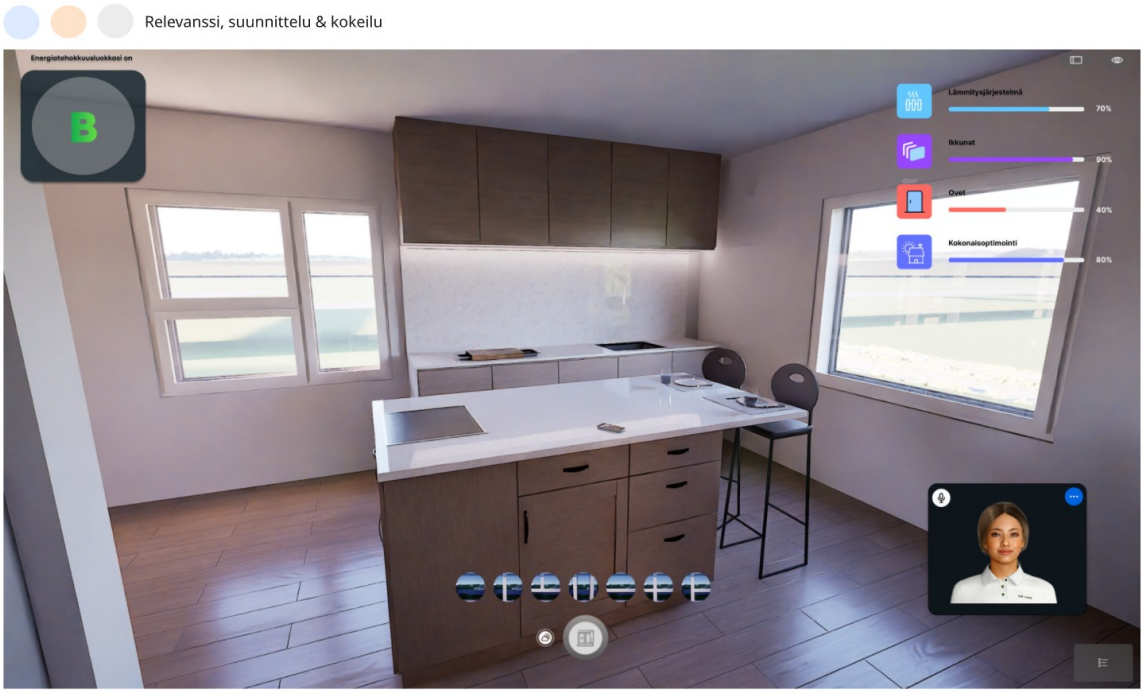
Kolmannen kehitysjakson keskeinen tutkimustulos liittyy käyttäjän aktiiviseen rooliin energiatehokkuusratkaisujen hahmottamisessa ja valitsemisessa. Palveluun sisällytetty kokoonpano- ja asetusvalitsin antaa kuluttajille keinon simuloida erilaisten energiatehokkuustoimenpiteiden ulkonäköä ja toiminnallisuutta valmiissa rakennusmalleissa. Käyttäjä pystyvät valitsemaan muun muassa ikkuna- ja ovityyppejä, säätämään valaistuksen määrää ja testaamaan päivänvalon vaikutuksia kodin viihtyvyyteen.



Kuva 19 – Kokoonpano- ja asetusvalitsin energiatehokkuuteen valintojen simulointiin (Makkonen, 2025s)

Merkittävä tutkimustulos kolmannesta kehitysjaksosta on avoimien tietomallitietokantojen roolin kasvu energiatehokkaiden tuotteiden digitaalisessa saatavuudessa. Uusimman rakennuslain myötä yhä useammat valmistajat tarjoavat tuotteistaan tietomalliyhteensopivat digitaaliset mallit avoimissa tietokannoissa. Tämän kehityksen myötä tuotevalinta voidaan tehdä entistä realistisemmin ja tarkemmin suoraan Twinmotion-ohjelman kokoonpano- ja asetusvalitsimessa. Kuluttaja voi tällä tavoin kokeilla erilaisia energiatehokkuusvaihtoehtoja kotiinsa. Käyttäjä voi siis tehdä valintoja, jotka ovat paitsi visuaalisesti havainnollistettavissa, myös rakenteellisesti ja laskennallisesti tarkkoja. Tämä koettiin kolmannen kehitysjakson aikana tehdyssä kuluttajakokeilussa erittäin käyttökelpoiseksi ja päätöksentekoa tukevaksi ratkaisuksi.

Kolmannen kehitysjakson tutkimuksen tuloksena prototyyppiin integroidaan tekoälyavustaja, jota hyödynnetään joko kirjoitettuna ja myöhemmin puheohjattuna versiona. Tutkimus osoittaa, että puheohjattu tekoäly lisäsi interaktiivisuutta ja immersiota, kun taas kirjoitettu tieto toimii hyvin pedagogisena sekä informatiivisena kanavana. Kokeileva kehittämineen osoitti, että tekoälyn antama palaute ei aina ollut linjassa asiantuntijatiedon kanssa. Esimerkiksi vanhempien rakennustyyppien, kuten rintamamiestalojen, kohdalla tekoäly ehdotti ratkaisuja, joita ei käytännössä voida toteuttaa ilman perusteellisempaa analyysia. (Liite 7) Tämä osoitti tarpeen kehittää tekoälyn suosituksia tukevia validointimekanismeja sekä varmistaa energiatehokkuustietokantojen luotettavuus.

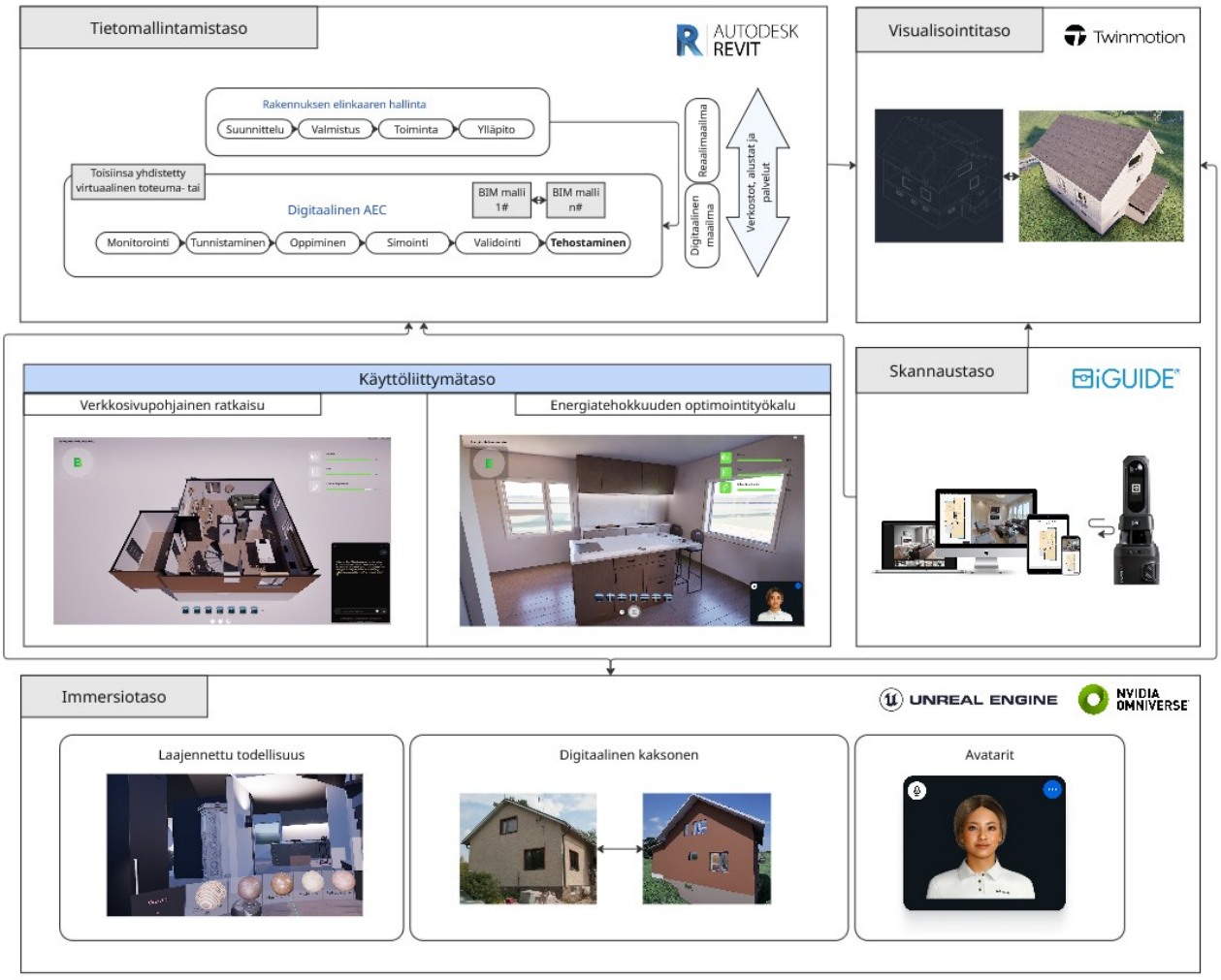


Kuva 20 –Kokoonpano- ja asetusvalitsin yhdistettynä prototyyppiin (Makkonen, 2025t)

Kolmannessa kehitysjaksossa tehty kuluttajakokeilu ja haastattelu osoittavat, että visuaalisesti vuorovaikutteinen suunnittelupalvelu tukee merkittävästi kuluttajan päätöksentekoa energiatehokkuusremontin yhteydessä. Kun kuluttaja voi tarkastella omia tilojaan realistisessa muodossa, muokata ikkunaratkaisuja sekä vertailla vaihtoehtojen visuaalisia ja teknisiä vaikutuksia, syntyy konkreettinen ja mielekäs kokemus. Havainnollistaminen esimerkiksi ikkunakoon vaikutuksista sekä teknisistä näkökohdista, kuten lämmöneristyksestä, kuuluvuudesta ja turvallisuudesta, lisää ymmärrystä ja vaikuttaa koettuun hyötyyn. Lisäksi kuluttaja kokee tärkeänä, että palvelu tuottaa suuntaa antavia hinta-arvioita sekä mahdollisuuden tekoälypohjaiseen keskusteluun, jonka avulla voi omassa tahdissa syventää tietämystään ja valmistella yhteydenottoa asiantuntijaan. Palvelun käyttömahdollisuudet nähdään laajoina ja sen potentiaali remonttisuunnitteluun tunnistetaan selkeästi. Kuluttajakokeilu vahvistaa, että teknologisesti toteutettu ennakkomallinnus voi olla ratkaiseva työkalu asumisen energiatehokkuuden edistämistä koskevien päätösten tukemisessa.

7 Tutkimuksen lopputulos

Tutkimuksen tuloksena syntyi kaksi prototyyppiratkaisua. Alla olevassa kuvassa on esitetty, miten nämä prototyypit liittyvät tutkimuksessa käsiteltyihin teknologioihin. Prototyypit muodostavat kokonaisuuden, jonka ympärille muut teknologiset ja tiedolliset ratkaisut rakentuvat tukemaan käyttäjälähtöistä energiatehokkuuden suunnittelua ja päätöksentekoa. Käyttöliittymätasolla palvelun arvo korostuu sekä kuluttajalle että asiantuntijalle, sillä sen avulla voi vertailla vaihtoehtoja, hahmottaa energiatehokkuustietoa ja muokata ratkaisuja omaan tarpeisiin sopiviksi. Prototyyppien teknologia-arkkitehtuuri on esitetty alla olevassa kuvassa ja tarkennettu osiin seuraavilla sivuilla.



Kuva 21 – Prototyyppien teknologia-arkkitehtuuri.(Makkonen, 2025u)

7.1 Prototyypin teknologia-arkkitehtuuri

Käyttöliittymätaso sisältää kaksi prototyyppiä, jotka ovat palvelun kaksi erillistä mutta toisiaan täydentävää palvelupolkua. Ensimmäinen vaihtoehto on verkkopohjainen ratkaisu, jonka tarkoituksena on tarjota selainkäyttöinen alusta kuluttajalle. Tällä alustalla käyttäjä voi kokeilla energiatehokkuusvalintojen vaikutuksia geneeriseen asuntomalliin ja saada tukea päätöksentekoon. Palvelu havainnollistaa energiatehokkuusratkaisujen vaikutuksia E-lukuun ja energiankulutukseen, mikä tukee käyttäjän orientoitumista aiheen ympärille. Tämän käyttötilanteen suunnittelua ja arviointia ohjaa tutkimuksen metodologinen viitekehys.

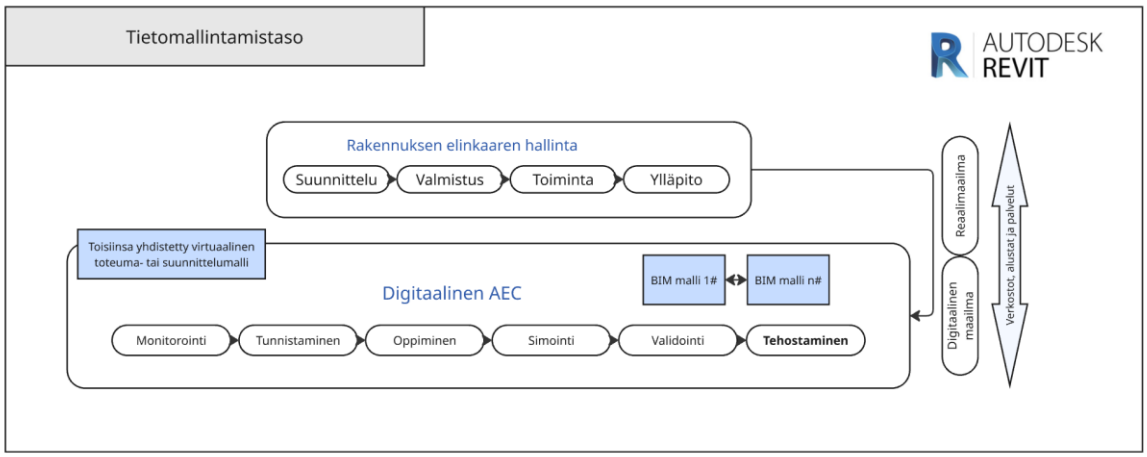
Kuva 22 – Käyttöliittymätaso (Makkonen, 2025v)

Toinen vaihtoehto rakentuu tehostamistyökaluksi, jossa palvelu muokataan käyttäjän oman kodin pohjalta. Tässä ratkaisussa kuluttaja voi saada spesifejä, omaan asuntoonsa perustuvia energiatehokkuussuosituksia. Palvelussa hyödynnetään energiatodistusta ja sen ympärille muodostettua näkymää (Liitteet 2 ja 6) dynaamisena mittarina, joka päivittyy valittujen muutosten mukaan. Tarvittaessa energiatodistus voidaan myös päivittää sertifioidun energiatodistuksen laatijan yhteistyöllä, johon liitteen kuusi näkymä toimii integroivana ratkaisuna. (Liite 6) Tämän käyttötilanteen suunnittelussa hyödynnetään kokeilevaa kehittämistä energiatodistuksen laatijan haastattelua (Liite 5) sekä aiheeseen liittyviä tutkimuksia.

Näiden käyttöliittymäkerrosten mahdollistaminen edellyttää neljän teknisen ja sisällöllisen tason suunnittelua, jotka on kuvattu seuraavilla sivuilla.

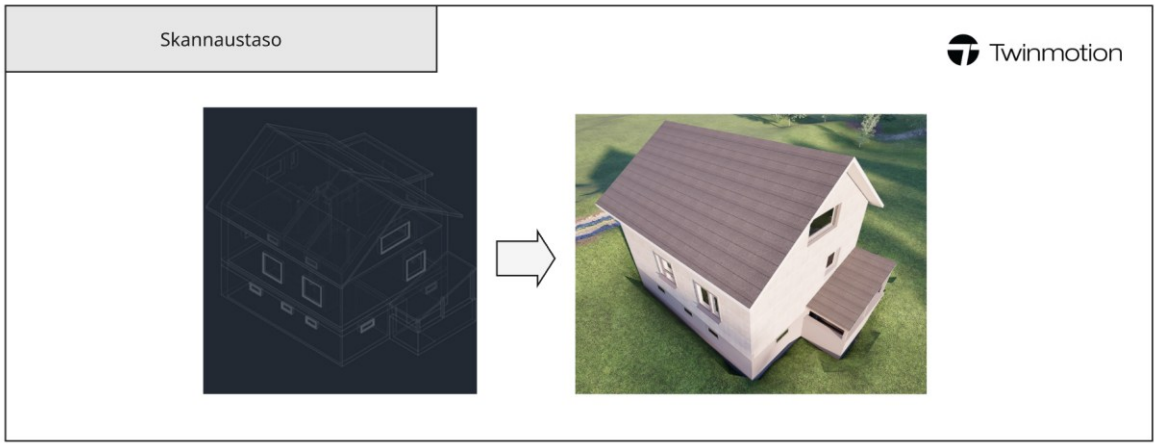
Palvelun ydin tietomallitasolla rakentuu AEC-kokonaisuudesta (Architecture, Engineering, Construction), joka toteutuu tietomalliohjelmiston sisällä. Tietomalli tukee rakennuksen elinkaaren hallintaa eri vaiheissa suunnittelusta ylläpitoon ja aina purkamiseen asti.

Tietomalliin voidaan liittää tietoa rakenteista (esimerkiksi U-arvo), järjestelmistä ja energiankulutuksesta, mikä luo pohjan tarkalle laskennalle ja tiedonhallinnalle. Tietomallinnusohjelma mahdollistaa myös energiasimuloinnin tarvittaessa. Tietomalliohjelman avulla pystytään myös luomaan suoraan pohjapiirustuksista yksinkertaisista rakennuksista 3D-malli. Tämä ratkaisu toimii vaihtoehtona skannaukselle, joka kuvattu myöhemmin skannaustasolla.



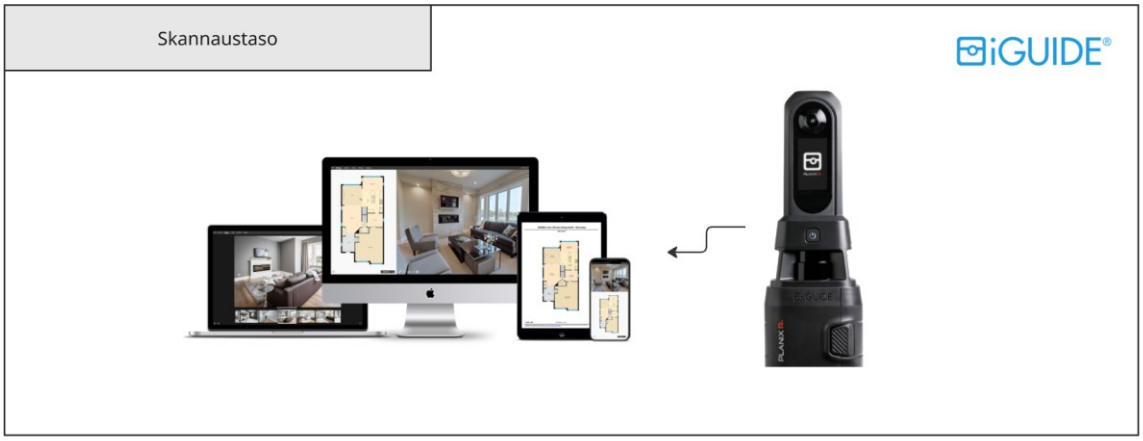
Kuva 23 – tietomallintamistaso (Makkonen, 2025w)

Visualisointitaso rakentuu Twinmotion-ohjelmistoon, joka on graafinen käyttöliittymä tietomallien muuntamiseksi visuaalisesti havainnollistettavaan muotoon. Mallit muodostetaan yksityiskohtaisiksi kolmiulotteisiksi esityksiksi, jotka soveltuvat sekä rakenteelliseen että esteettiseen tarkasteluun. Visualisointitaso tukee käyttöliittymän vuorovaikutteisuutta ja energiatehokkuusratkaisujen ymmärrettävyyttä.



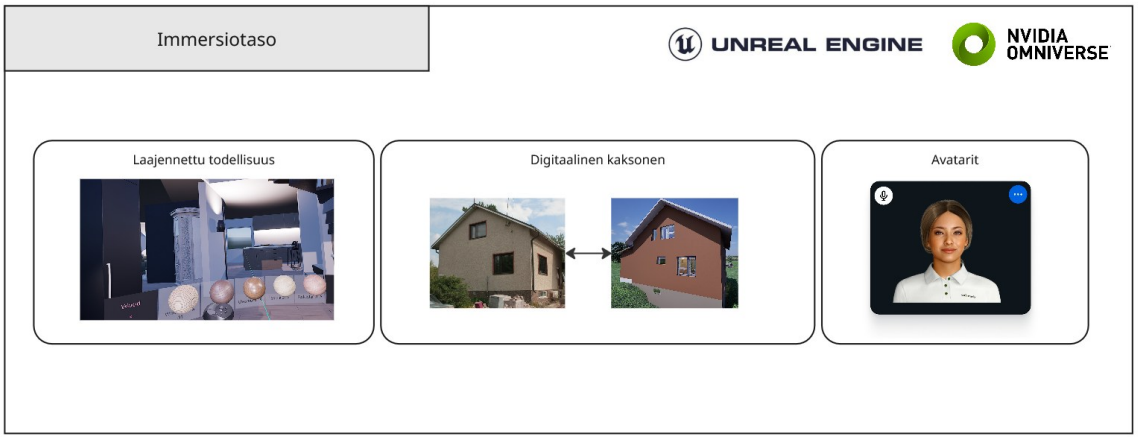
Kuva 24 – Visualisointitaso (Makkonen, 2025x)

Skannaustaso yhdistää fyysisen asuinympäristön digitaaliseen malliin hyödyntämällä iGUIDE-järjestelmää. Skannauksen avulla voidaan määrittää asunnon tarkat geometriset mitat, mikä tukee sekä energiatodistusten laadintaa että olemassa olevien rakennusten tietomallintamista. Prosessin tuloksena kodista muodostetaan passiivinen digitaalinen kaksonen, eli visuaalinen ja mitallisesti tarkka digitaalinen vastine, joka ei vielä ole yhteydessä reaaliaikaiseen dataan.



Kuva 25 – Skannaustaso (Makkonen, 2025y)

Immersiotasolla palveluun integroidaan laajennetun todellisuuden, digitaalisen kaksosen ja avatar-komponenttien soveltaminen. Laajennetun todellisuuden näkymät välittävät käyttäjälle mukaansatempaavan tilallisen kokemuksen, jossa eri ratkaisujen vaikutuksia voidaan havainnollistaa realistisesti. Digitaalinen kaksonen mahdollistaa ajantasaisen ja visuaalisesti tarkennetun mallin käytön, ja avatar-komponentti toimii pedagogisena apurina.



Kuva 26 – Immersiotaso (Makkonen, 2025z)

7.2 Tulos sidosryhmien näkökulmasta

Tutkimuksen konkreettinen lopputulos rakentuu kahden käyttöliittymätason palveluratkaisun ympärille. Geneeriseen asuntomalliin perustuva verkkopohjainen työkalu sekä käyttäjän omaan kotiin mukautuva energiatehokkuuden tehostamistyökalu. Näiden käyttöliittymien kautta konkretisoituu palvelun tarjoama arvo käyttäjille visuaalisuuden, vuorovaikutteisuuden ja päätöksenteon tuen muodossa.

Geneerinen selainpohjainen ratkaisu toimii perehdyttävänä alustana, jossa käyttäjä voi kokeilla eri energiatehokkuusvalintojen vaikutuksia verkkosivulla. Tämä tukee kuluttajan ymmärrystä energiatehokkuuden perusteista ja vaihtoehtojen vaikutuksesta E-lukuun ja energiankulutukseen ilman, että omaa asuntotietoa tarvitsee syöttää.

Toinen ratkaisu on käyttäjän omaan kotiin mukautuva energiatehokkuustyökalu. Tietomallinnukseen ja skannaukseen perustuva palvelu antaa käyttäjälle keinon tarkastella muutosten vaikutusta juuri oman asunnon E-lukuun ja energiatehokkuuteen. Palvelu voi sisältää tekoälyavusteisen neuvonnan ja dynaamisen energiatodistuksen, joka päivittyy muutosten mukaan.

Kuluttajalle nämä ratkaisut tukevat ymmärrystä energiatehokkuuden vaikutuksista käytännössä. Käyttäjä saa realistisen kuvan eri toimenpiteiden vaikutuksista ja pystyy vertailemaan vaihtoehtojen kustannus–hyötysuhdetta. Jälleenmyyjien näkökulmasta palvelu toimii tehokkaana työkaluna asiakasdialogissa ja auttaa konkretisoimaan energiatehokkuustuotteiden hyödyt visuaalisessa muodossa, mikä parantaa palvelukokemusta ja tehostaa myyntityötä. Kohdeyrityksen kannalta ratkaisu tuottaa merkittävää lisäarvoa digitaalisessa asiakaskohtaamisessa sekä edistää tiedonhallintaa ja asiakasymmärryksen syventämistä.

Edellisillä sivuilla kuvattujen teknologisten ratkaisujen yhdistelmä tuottaa käyttäjälähtöisen ja skaalautuvan palvelukonseptin, joka vastaa eri sidosryhmien tarpeisiin ja tukee tehokasta, visuaalisesti perusteltua energiatehokkuuspäätöksentekoa.

8 Johtopäätökset

Tässä luvussa käsitellään vastaukset tutkimuskysymyksiin käyden vuoropuhelua saatujen tulosten ja tutkimuksessa esitetyn teoreettisen viitekehyksen ja empiirisen tiedon välillä. Tarkastelussa tuodaan esiin, miten empiiriset havainnot tukevat tai haastavat aiempaa tutkimusta ja millaisia uusia näkökulmia niistä nousee esiin. Seuraavaksi pohditaan mitä havainnot merkitsevät laajemmassa kontekstissa.

8.1 Vastaukset tutkimuskysymyksiin

Tutkimuskysymys 1: Millaisella työkalulla voidaan tehostaa kodin energiatehokkuuttaja luoda energiatodistus?

Tutkimus osoittaa, että kodin energiatehokkuutta ja energiatodistuksen luontiprosessia voidaan tehostaa hybridimallin avulla, joka yhdistää kolmiulotteisen skannauksen (iGuide PLANIX), tietomallinnuksen (Revit) ja immersiivisen visualisoinnin (Twinmotion, Unreal Engine 5). Teoreettinen viitekehys korostaa digitaalisten työkalujen, kuten tietomallien ja simulaatioiden, merkitystä energiatehokkuuden arvioinnissa (Esfahani et al., 2021; Ye et al., 2024) sekä tarvetta dynaamisemmalle ja käyttäjälähtöisemmälle energiatodistuksille (Amecke, 2012; Energiatodistuksen laatija, 2025). Kehitetty prototyyppi konkretisoi tämän visualisoimalla eri ratkaisujen vaikutuksia ymmärrettävästi. Tutkimuksessa esitetty energiatehokkuustyökalu esittelee uuden tavan havainnollistaa energiatehokkuustietoja, perinteisen, usein staattisena ja vaikeaselkoisena koetun energiatodistuksen rinnalla ja tekee näkyväksi vuorovaikutteisemman sekä selkeämmän tavan ymmärtää energiatehokkuustoimenpiteitä. Hybridimalli, joka käyttää scan-to-BIM-prosessia, on erityisen relevantti olemassa olevalle rakennuskannalle, josta ei välttämättä ole valmiita tietomalleja Saatavissa, kuten Esfahani et al. (2021) ovat myös tuoneet esiin.

Tutkimuskysymys 2: Mitkä tiedot ovat keskeisimpiä energiatehokkuuden arvioinnissa, jotta palvelun tekninen tarkkuus voidaan varmistaa?

Tutkimus vahvistaa teoreettisen ja empiirisen käsityksen (Energiatodistuksen laatija, 2025; Vuolle et al., 2018) siitä, että energiatehokkuuden arvioinnin tekninen tarkkuus edellyttää

luotettavaa ja kattavaa lähtötietoa. Keskeisiksi tiedoiksi tunnistetaan tarkat geometriset mitat rakennuksesta, materiaalitiedot (esim. U-arvot), rakennusosien ominaisuudet sekä talotekni-sten järjestelmien (lämmitys, ilmanvaihto) tiedot. Prototyypissä hyödynnetty LiDAR-skannaus (iGuide PLANIX) osoittautuu tehokkaaksi tavaksi kerätä tarkkaa geometrista dataa, mikä on linjassa scan-to-BIM-tutkimusten (Esfahani et al., 2021) kanssa. Tietomallinnusohjelmat mahdollistavat näiden tietojen hyödyntämisen visualisoinnissa sekä tarkkojen energiatehokkuustuotteiden viemisen BIM-rakennetietokannoista. Teknisen tarkkuuden varmistamiseksi myös energialaskennan periaatteiden ja standardien (kuten E-luvun laskenta) noudattaminen on palvelun tarkkuuden kannalta ratkaisevaa. (Vuolle et al., 2018)

Vaikka prototyyppi keskittyy visualisointiin, potentiaalinen integraatio energiasimulointiohjelmistoihin (kuten IDA ICE) voisi edelleen edistää analyysin syvyyttä ja tarkkuutta, kuten Kalamees (Kalamees, 2004) ja Vera-Piazzini et al. (2022) ovat esittäneet dynaamisen simuloinnin hyödyistä.

Tutkimuskysymys 3: Kuinka energiatehokkuuden tehostamistyökalu tulisi visualisoida ja esittää immersiivisten teknologioiden avulla, jotta se vastaisi kuluttajien tarpeita ja tukisi heidän päätöksentekoaan?

Tutkimus osoittaa, että immersiiviset teknologiat, kuten laajennettu todellisuus ja digitaaliset kaksoset, avaavat tehokkaan tavan visualisoida energiatehokkuuden edistämistyökalu ja sen tuottamaa informaatiota. Teoriaosuudessa korostetaan immersiivisten teknologioiden potentiaalia edistää käyttäjäkokemusta ja ymmärrystä monimutkaisista järjestelmistä (Ye et al., 2024; Karaarslan et al., 2023). Prototyypin kehityksessä (Twinmotion, Unreal Engine 5) ja sen arvioinnissa (A/B-testaus, käyttäjähaastattelut) havaittiin, että visuaalisesti rikas ja interaktiivinen esitystapa auttaa käyttäjiä hahmottamaan eri suunnitteluratkaisujen ja materiaalivalintojen vaikutuksia kodin energiatehokkuuteen konkreettisemmin kuin perinteiset raportit tai kaksiulotteiset piirustukset. Amecken (2012) havainnot tukevat ajatusta siitä, että kuluttajat kaipaavat selkeämpää ja taloudellisesti relevanttia tietoa energiatehokkuudesta. Immersiivinen ympäristö mahdollistaa "mitä jos" - skenaarioiden intuitiivisen tutkimisen, mikä voi madaltaa kynnystä tehdä energiatehokkuutta edistäviä päätöksiä. Käyttäjien näkökulmasta tärkeäksi nousee myös vaihtoehtojen vertailtavuus ja kustannushyötysuhteen hahmottaminen, mikä on linjassa kuluttajien päätöksentekoprosesseja koskevan tutkimustiedon kanssa.

8.2 Tutkimuksen tulosten hyödyntämispotentiaali

Tutkimuksen tuloksilla on huomattava hyödyntämispotentiaali. Rakennus-, energia-ala ja energiatehokkuustuotteiden jälleenmyynti käy parhaillaan merkittävää digitalisaation murrosta muiden alojen joukossa ja tämän kaltaisella palvelulla on potentiaalia toimia roolissa uudenlaisten digitaalisten palveluiden markkinoilla.

Energiatodistuksen muodostusnäkökulmasta tutkimuksen tärkeänä havaintona voidaan pitää, että kuluttajien näkökulmasta energiatehokkuuden visuaalinen ja reaaliaikainen esitystapa immersiivisillä teknologioilla koetaan hyödylliseksi. Energiatehokkuusmittarit jotka reagoivat käyttäjän tekemään virtuaaliremonttiin, lisäävät ymmärrystä energiatehokkuusratkaisujen vaikutuksista. Tämä voi edistää päätöksentekoa ja madaltaa kynnystä investoida energiatehokkuuteen. Pelillistäminen ja käyttäjäystävällinen käyttöliittymä nähdään keskeisinä elementteinä kuluttajien sitouttamisen kannalta.

Tämän tutkimuksen tulokset tuottavat merkittäviä hyödyntämismahdollisuuksia kohdeorganisaatiolle, joka valmistaa ja myy energiatehokkuustuotteita. Kehitetty konsepti ja prototyyppi voivat toimia innovatiivisena myynnin ja markkinoinnin työkaluna. Sen avulla voidaan asiakkaan omassa tai digitaalisesti mallinnetussa kodissa havainnollistaa konkreettisesti, miten erilaiset ratkaisut vaikuttavat energiatehokkuuteen, asumismukavuuteen ja elinkaarikustannuksiin. Tämä voi edistää asiakaskokemusta, lisätä luottamusta ja tehostaa myyntiprosessia. Työkalu voi myös toimia konsultatiivisena apuvälineenä, jonka avulla asiakkaat ymmärtävät paremmin monimutkaisia energiatehokkuuskysymyksiä ja voivat tehdä tietoon perustuvia päätöksiä. Tämä voi johtaa parempaan asiakastyytyväisyyteen ja pitkäaikaisempiin asiakassuhteisiin. Samoin työkalu voi auttaa kohdeorganisaatiota profiloitumaan alan edelläkävijänä ja innovatiivisena toimijana, mikä vahvistaa sen brändi-imagoa ja kilpailuetua markkinoilla.

Tämän tutkimuksen tieteellinen kontribuutio konkretisoituu uudenlaisen hybridimallin kehittämisessä, jossa kolmiulotteinen skannaus, tietomallinnus ja immersiivinen visualisointi yhdistyvät energiatehokkuustyökaluksi. Mallin avulla käyttäjät voivat realistisesti ja vuorovaikutteisesti havainnollistaa kodin energiatehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, mikä tukee heidän päätöksentekoaan. Tämän ohella tutkimus tuottaa lisäarvoa energiatodistuksen käytettävyyteen tekemällä siinä esitetyt tiedot visuaalisesti ymmärrettävämmiksi ja kuluttajalle mielekkäämmiksi. Kontribuutio on merkittävä myös siksi, että tutkimuksen prototyyppi

yhdistää teknisen tarkkuuden ja käyttäjälähtöisyyden uudella tavalla energiatehokkuusviestinnässä, mikä tukee sekä kestävää kehitystä että rakennusalan digitalisaatiota.

8.3 Tutkimuksen luotettavuuden reflektointi

Tutkimuksen luotettavuuden kannalta keskeistä on, että tutkimus on toteutettu tieteellisesti systemaattista otetta noudattaen. Tutkimuksessa on hyödynnetty useita toisiaan tukevia menetelmiä, suunnittelutieteellistä tutkimusta, kokeilevaa kehittämistä ja integroivaa kirjallisuuskatsausta, jotka ovat perusteltuja uudenlaisen innovaation suunnittelussa. Systemaattinen ja johdonmukainen tutkimusprosessi alusta loppuun lisää tutkimuksen validiteettia ja realiabiliteettia.

Suunnittelutieteellisen tutkimusotteen soveltaminen on perusteltu valinta, kun tavoitteena on uudenlaisten artefaktien, kuten tässä tapauksessa prototyypin, kehittäminen. Iteratiivinen kehitysprosessi, johon sisältyy prototyyppien rakentamista ja arviointia, mahdollistaa jatkuvan oppimisen ja kehittämisen. Teoreettinen viitekehys joka on muodostettu laajan kirjallisuuskatsauksen pohjalta, ja empiirinen aineisto joka on kerätty monipuolisesti hyödyntäen haastatteluja, kokeiluja ja asiantuntijapalautetta vahvistaa tulosten luotettavuutta.

Tutkimuksen haasteena voidaan pitää tutkimuksen monitieteellistä viitekehystä, joka edellyttää laaja-alaista perehtymistä ja osaamista rakennustekniikasta, tietotekniikasta ja energiatekniikasta. Koska tutkimus sijoittuu tuotantotalouden alueelle ja painopiste on digitaalisen palvelun kehittämisessä sekä prototypoinnissa, ei tämä monitieteisyys kuitenkaan merkittävästi heikennä tulosten sovellettavuutta.

Tutkimuksen vahvuutena voidaan pitää sen käytännönläheisyyttä ja tavoitteellisuutta todellisten ongelmien ratkaisemiseksi kodin energiatehokkuuden edistämisessä. Hybridimallin kehittäminen, joka yhdistää skannauksen, tietomallinnuksen ja immersiivisen visualisoinnin, on innovatiivinen lähestymistapa. Teknologioiden, kuten 3D-skannauksen ja tietomalliohjelmistojen, hyödyntäminen perustuu olemassa oleviin ja testattuihin ratkaisuihin.

Tutkimukseen liittyy kuitenkin myös rajoituksia. Kehitetty prototyyppi on testauttu vielä pienellä otosmäärällä käyttäjiä. Prototyypin laajempaa toimivuutta, skaalautuvuutta ja suorituskykyä erilaisissa käyttötilanteissa ole vielä testattu. Käyttäjäpalautteen kerääminen

perustuu rajalliseen osallistujajoukkoon mikä rajoittaa tulosten yleistettävyyttä. Laajemmat käyttäjätutkimukset ovat tarpeellisia tulosten yleistettävyyden varmistamiseksi.

Tulosten yleistettävyyteen voi vaikuttaa myös se, että ratkaisu on kehitetty yhteistyössä yhden kohdeorganisaation kanssa, mikä voi vaikuttaa tulosten sovellettavuuteen muissa organisaatioissa tai markkinasegmenteissä. Myös immersiivisten teknologioiden uutuusaste saattaa vaikuttaa käyttäjien omaksumisnopeuteen, mikä voi edellyttää lisäkoulutusta ja käyttötottumusten kehittämistä.

8.4 Jatkotutkimusaiheet ja kehitysideat

Prototyypin teknistä kehitystä tulisi jatkaa. Prototyypin energialaskennan tarkkuus riippuu syötetyn datan laadusta ja käytetyn laskentamallin yksityiskohdista. Koska tutkimuksessa pääpaino on visualisoinnissa, energiasimulointien integrointi jää jatkokehitysehdotukseksi. Tämä voisi sisältää syvemmän integraation dynaamisiin energiasimulointityökaluihin (IDA ICE) tarkempien ja reaaliaikaisempien analyysien mahdollistamiseksi. Scan-to-BIM-prosessin automaatiota ja optimointia olisi myös syytä tutkia, koska tutkimusprosessin aikana se osoittautui huomattavan aikaa vieväksi ja häiriöherkäksi prosessiksi. Tekoälyn käyttäminen esimerkiksi personoitujen energiansäästösuositusten luomisessa tai rakennuksen poikkeamien tunnistamisessa tietomallista voisi tuoda merkittäviä etuja päätöksentekoon. Myös laajennetun todellisuuden erilaisten toteutustapojen soveltuvuutta remonttikohteiden visualisoinnissa ja ohjeistuksessa kannattaa selvittää.

Käyttäjälähtöisyys ja liiketoimintapotentiaali

Jatkotutkimusaiheena käyttäjäkokemukseen ja -hyväksyntään liittyen tarvitaan laajempia käyttäjätutkimuksia eri kohderyhmien (esim. kodinomistajat, vuokralaiset, LVI-suunnittelijat, kiinteistönvälittäjät) parissa työkalun käytettävyyden ja toiminnallisuuksien kehittämiseksi. Olisi tärkeää tutkia työkalun pitkäaikaisvaikutuksia kuluttajien energiakäyttäytymiseen ja saavutettuihin energiansäästöihin. Pelillistämisen mahdollisuuksia käyttäjien sitouttamiseksi ja oppimisen edistämiseksi tulisi myös arvioida.

Liiketoiminnallisesti tulisi tutkia erilaisten liiketoimintamallien soveltuvuutta työkalun kaupallistamiseen. Integraatiomahdollisuudet esimerkiksi energiatehokkuustuotteiden verkkokauppoihin tai kiinteistötietojärjestelmiin (esim. kansallinen Ryhti-järjestelmä) voivat

laajentaa hyödyntämispotentiaalia. Tämän ohella olisi tärkeää arvioida, kuinka työkalut voivat tukea yhteiskunnallisten energiatehokkuustavoitteiden saavuttamista ja lainsäädännön toimeenpanoa.

Immersiivisten teknologioiden rooli ja vastuullinen kehitys

Standardointi ja tiedonhallinta muodostavat keskeisen jatkotutkimuskohteen. Yhteiset standardit ja tiedonsiirtoformaatit ovat olennaisia eri teknologioiden ja tietolähteiden yhteensovittamisessa. Samoin datan omistajuuteen, tietosuojaan ja tietoturvaan liittyvät kysymykset korostuvat, kun käsitellään yksityiskohtaista tietoa kotien energiankulutuksesta.

Energiatehokkuuden kehittäminen vaatii kokonaisvaltaista lähestymistapaa, jossa huomioidaan teknisten ratkaisujen lisäksi käyttäjien toimintatavat ja uusien teknologioiden tarjoamat mahdollisuudet. Yksi keskeinen jatkotutkimusalue liittyy suunnitteluvaiheen roolin vahvistamiseen energiatehokkuuden edistämisessä. Nykyisin energiatodistus laaditaan usein vasta rakennusprojektin loppuvaiheessa, jolloin useimmat ratkaisut on jo tehty. Tämän vuoksi olisi perusteltua kehittää dynaaminen, suunnitteluvaiheeseen integroitava energiatodistus, joka tukisi vaihtoehtoisten ratkaisujen vertailua ja sitouttaisi eri sidosryhmät energiatehokkuustavoitteisiin jo varhaisessa vaiheessa.

Immersiiviset teknologiat, kuten laajennettu todellisuus antavat mahdollisuuden rakennusten energiatehokkuuden kokemukselliseen ymmärtämiseen. Niiden avulla voidaan luoda vuorovaikutteisia simulaatioita, joissa niin asiantuntijat, kuin tulevat asukkaat voivat testata ja arvioida energiaratkaisuja jo ennen toteutusta. Esimerkiksi laajennetun todellisuuden ympäristössä voidaan vertailla lämmöneristysvaihtoehtoja, valaistusratkaisuja tai lämpötilansäätöjä ja arvioida niiden vaikutuksia energiankulutukseen. Tätä ei kuitenkaan laajemmin testattu tässä tutkimuksessa, mikä korostaa tarvetta jatkotutkimuksille.

Tutkimuksen aikana tunnistettiin myös potentiaalia laajentaa tarkastelukulmaa metaversumiteknologioihin. Vaikka tätä teknologiaa käsiteltiin vain lyhyesti luvussa kolme, havaittiin sen voivan merkittävästi syventää immersiivistä kokemusta ja laajentaa kodin kehittämismahdollisuuksia energiatehokkuuden ohella myös muilla osa-alueilla. Metaversumi avaa uusia tutkimusnäkökulmia muun muassa asumismukavuuden, turvallisuuden ja hyvinvoinnin kokemukselliseen kehittämiseen. Näiden teemojen tarkastelu tarjoaisi arvokasta lisätietoa metaversumiteknologian potentiaalista osana tulevaisuuden asumista.

Kestävyysperusteisuus teknologioiden takana

Immersiivisten teknologioiden kehityksessä on huomioitava myös niiden energiaintensiivisyys. Reaaliaikainen grafiikan renderöinti, pilvilaskenta ja datan siirto ovat resursseja vaativia prosesseja. Siksi tulisi kehittää kevyempiä, paikallisesti toimivia ratkaisuja sekä energiatehokasta laitteistoa. Samalla on arvioitava immersiivisyyden tuoma lisäarvo suhteessa perinteisiin suunnittelumenetelmiin.

Sosiaalinen saavutettavuus on tärkeää kestävyyden näkökulmasta. Vaikka iso osa nuoremmista kuluttajista ovat tottuneita digitaalisiin ratkaisuihin, varsinkin vanhemmalle väestölle teknologia voi muodostaa ylipääsemättömän kynnyksen. Immersiivisten ratkaisujen tulee tukea inklusiivisuutta ja tarjota vaihtoehtoisia käyttöliittymiä eri käyttäjäryhmille. Yksilöllinen kokemus immersiivisistä teknologioista vaihtelee, eikä kokemus ole kaikille positiivinen. Jotkut voivat kokea teknologian ahdistavana tai sekavana. On tärkeää tutkia, miten käyttäjäkokemus eroaa eri ryhmissä ja millaisia immersiotasoja tarvitaan eri tarpeisiin.

Käyttäjälähtöisyys palvelujen kehittämisessä

Kuluttajien toiveet voivat poiketa suunnittelijoiden oletuksista, mikä korostaa käyttäjälähtöisen suunnittelun merkitystä. Immersiivisten teknologioiden hyödyntämisessä on tärkeää tukea yksilöllistä päätöksentekoa erityisesti energiatehokkaiden ratkaisujen valinnassa. Kodin tasolle soveltuvien ratkaisujen kehittäminen edellyttää uusia pilottikokeiluja. Yksi lupaava tutkimussuunta on kehittää Omniverse-alustoihin perustuvia simulaatioita, joissa yhdistetään sensoridata, käyttäjän toiminta ja energiatehokkuuden edistäminen. Tämänkaltaisella ratkaisulla voidaan ymmärtää entistä syvemmällä tasolla kuluttajien energiapäätöksiä ja kehittää käyttäjälähtöisempiä ratkaisuja.

Immersiivisten teknologioiden potentiaali energiatehokkuuden edistämisessä on merkittävä, mutta sen hyödyntäminen vaatii monitieteistä tutkimusta, kokeiluja ja kriittistä arviointia. Energiatehokkuustyökalujen on palveltava niin suunnittelijoita kuin kuluttajia, samalla kun huomioidaan teknologian resurssivaateet ja sosiaaliset vaikutukset. Vain kokonaiskuvaan perustuvulla lähestymistavalla voidaan rakentaa kestävämpiä ratkaisuja.

9 Yhteenveto

Tässä tutkimuksessa esitetään, miten kodin energiatehokkuutta voidaan edistää immersiivisten teknologioiden avulla. Työn lähtökohtana on vuoden 2025 alussa voimaan astunut rakennuslaki, joka korostaa energiatehokkuutta ja tietomallien soveltamista rakennusten elinkaaren hallinnassa, sekä kuluttajien muuttuva kulutuskäyttäytyminen. Tässä tapaustutkimuksessa yhdistetään suunnittelutieteellinen tutkimusote ja kokeileva kehittäminen, ja työn tuloksena kehitetään kaksi prototyyppiä energiatehokkuustyökalusta.

Tutkimuksen keskeisin tulos on hybridimalli, joka yhdistää kolmiulotteisen skannauksen, tietomallit ja immersiivisen visualisoinnin. Energiatehokkuustyökalun avulla voidaan tarkasti ja visuaalisesti havainnollistaa kodin energiatehokkuuden edistämispotentiaalia. Tietojen pohjalta voidaan arvioida esimerkiksi energiatehokkuusremonttivaihtoehtojen vaikutuksia energialuokkaan, mikä tukee kuluttajien tietoon perustuvaa päätöksentekoa.

Tutkimus osoittaa, että immersiivinen esitystapa edistää kuluttajien ymmärrystä energiavalinnoista, lisää sitoutumista ja voi madaltaa kynnystä investoida energiatehokkuusratkaisuihin. Tutkimus esittelee perustan jatkokehitykselle, jossa energiatehokkuuden suunnittelua voidaan tukea yhä visuaalisemmilla, tarkemmilla ja käyttäjälähtöisemmillä työkaluilla.

Tieteellisenä kontribuutiona tutkimus yhdistää uudella tavalla kolmiulotteisen skannauksen, tietomallintamisen ja immersiivisen visualisoinnin kodin energiatehokkuuden arvioinnissa. Kehitetty hybridimalli laajentaa suunnittelutieteellisen tutkimuksen soveltamisalaa rakennetun ympäristön energiatehokkuushaasteissa ja esittelee konkreettisia ratkaisuja kuluttajalähtöisten päätöksentekotyökalujen kehittämiseen.

Lähteet

Aguilar-Santana, J.L., Velasco-Carrasco, M., Riffat, S., 2020. Thermal Transmittance (U-value) Evaluation of Innovative Window Technologies. Future Cities and Environment 6, 12. https://doi.org/10.5334/fce.99

Ahmed, N., Afyouni, I., Dabool, H., Al Aghbari, Z., 2024. A systemic survey of the Omniverse platform and its applications in data generation, simulation and metaverse. Front. Comput. Sci. 6, 1423129. https://doi.org/10.3389/fcomp.2024.1423129

Albuquerque, P.U.B., Ohi, D.K.D.A., Pereira, N.S., Prata, B.D.A., Barroso, G.C., 2018. Proposed Architecture for Energy Efficiency and Comfort Optimization in Smart Homes: Smart Home Architecture for Energy Efficiency. J Control Autom Electr Syst 29, 718–730. https://doi.org/10.1007/s40313-018-0410-y

Al-Kababji, A., Alsalemi, A., Himeur, Y., Fernandez, R., Bensaali, F., Amira, A., Fetais, N., 2022. Interactive visual study for residential energy consumption data. Journal of Cleaner Production 366, 132841. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132841

Ambika, A., Shin, H., Jain, V., 2025. Immersive technologies and consumer behavior: A systematic review of two decades of research. Australian Journal of Management 50, 55–79. https://doi.org/10.1177/03128962231181429

Amecke, H., 2012. The impact of energy performance certificates: A survey of German home owners. Energy Policy 46, 4–14. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.01.064

Bertram, J., Moskaliuk, J., Cress, U., 2015. Virtual training: Making reality work? Computers in Human Behavior 43, 284–292. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.10.032

Billio, M., Casarin, R., Costola, M., Veggente, V., 2024. Learning from experts: Energy efficiency in residential buildings. Energy Economics 136, 107650. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107650

Biswas, H.K., Sim, T.Y., Lau, S.L., 2024. Impact of Building Information Modelling and Advanced Technologies in the AEC Industry: A Contemporary Review and Future Directions. Journal of Building Engineering 82, 108165. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.108165

Borrmann, A., Beetz, J., Koch, C., Liebich, T., Muhic, S., 2018. Industry Foundation Classes: A Standardized Data Model for the Vendor-Neutral Exchange of Digital Building Models, in: Borrmann, A., König, M., Koch, C., Beetz, J. (Eds.), Building Information Modeling. Springer International Publishing, Cham, pp. 81–126. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92862-3_5

Casals, M., Gangolells, M., Macarulla, M., Forcada, N., Fuertes, A., Jones, R.V., 2020. Assessing the effectiveness of gamification in reducing domestic energy consumption: Lessons learned from the EnerGAware project. Energy and Buildings 210, 109753. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109753

Chang, S., Suh, J., 2025. The Impact of VR Exhibition Experiences on Presence, Interaction, Immersion, and Satisfaction: Focusing on the Experience Economy Theory (4Es). Systems 13, 55. https://doi.org/10.3390/systems13010055

Da Silva, C.R., Garcia, A.A.B., 2013. A collaborative working environment for small group meetings in Second Life. SpringerPlus 2, 281. https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-281

Del Ama Gonzalo, F., Moreno Santamaría, B., Montero Burgos, M.J., 2023. Assessment of Building Energy Simulation Tools to Predict Heating and Cooling Energy Consumption at Early Design Stages. Sustainability 15, 1920. https://doi.org/10.3390/su15031920

Dudhee, V., Vukovic, V., 2021. Integration of Building Information Modelling and Augmented Reality for Building Energy Systems Visualisation, in: Mporas, I., Kourtessis, P., Al-Habaibeh, A., Asthana, A., Vukovic, V., Senior, J. (Eds.), Energy and Sustainable

Futures, Springer Proceedings in Energy. Springer International Publishing, Cham, pp. 83–89. https://doi.org/10.1007/978-3-030-63916-7_11

Dwivedi, Y.K., Hughes, L., Baabdullah, A.M., Ribeiro-Navarrete, S., Giannakis, M., Al-Debei, M.M., Dennehy, D., Metri, B., Buhalis, D., Cheung, C.M.K., Conboy, K., Doyle, R., Dubey, R., Dutot, V., Felix, R., Goyal, D.P., Gustafsson, A., Hinsch, C., Jebabli, I., Janssen, M., Kim, Y.-G., Kim, J., Koos, S., Kreps, D., Kshetri, N., Kumar, V., Ooi, K.-B., Papagiannidis, S., Pappas, I.O., Polyviou, A., Park, S.-M., Pandey, N., Queiroz, M.M., Raman, R., Rauschnabel, P.A., Shirish, A., Sigala, M., Spanaki, K., Wei-Han Tan, G., Tiwari, M.K., Viglia, G., Wamba, S.F., 2022. Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. International Journal of Information Management 66, 102542. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542

Elfarri, E.M., Rasheed, A., San, O., 2023. Artificial Intelligence-Driven Digital Twin of a Modern House Demonstrated in Virtual Reality. IEEE Access 11, 35035–35058. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3265191

Elias Bibri, S. (Ed.), 2024. Smart City Innovations: Navigating Urban Transformation with Sustainable Mobility, Advances in Science, Technology & Innovation. Springer Nature Switzerland, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57385-9

Emmelkamp, P.M.G., Meyerbröker, K., 2021. Virtual Reality Therapy in Mental Health. Annu. Rev. Clin. Psychol. 17, 495–519. https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-081219-115923

Enyejo, J.O., Obani, O.Q., Afolabi, O., Igba, E., Ibokette, A.I., 2024. Effect of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) experiences on customer engagement and purchase behavior in retail stores. Magna Sci. Adv. Res. Rev. 11, 132–150. https://doi.org/10.30574/msarr.2024.11.2.0116

Esfahani, M.E., Rausch, C., Sharif, M.M., Chen, Q., Haas, C., Adey, B.T., 2021. Quantitative investigation on the accuracy and precision of Scan-to-BIM under different modelling scenarios. Automation in Construction 126, 103686. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103686

European Union, 2024. Revised Energy Performance of Buildings Directive (EPBD), ENER 719. Saatavilla: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:L_202401275&pk_keyword=Energy&pk_content=Directive

Felius, L.C., Dessen, F., Hrynyszyn, B.D., 2020. Retrofitting towards energy-efficient homes in European cold climates: a review. Energy Efficiency 13, 101–125. https://doi.org/10.1007/s12053-019-09834-7

Francisco, A., Mohammadi, N., Taylor, J.E., 2020. Smart City Digital Twin–Enabled Energy Management: Toward Real-Time Urban Building Energy Benchmarking. J. Manage. Eng. 36, 04019045. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000741

Freina, L., Ott, M., 2015. A literature reA LITERATURE REVIEW ON IMMERSIVE VIRTUAL REALITY IN EDUCATION: STATE OF THE ART AND PERSPECTIVES. Presented at the eLSE 2015, Bucharest, RO, pp. 133–141. https://doi.org/10.12753/2066-026X-15-020

Fuller, A., Fan, Z., Day, C., Barlow, C., 2020. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. IEEE Access 8, 108952–108971. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358

Gerassimenko, A., De Moor, L., Defau, L., 2025. Does the market value energy efficiency within EPC-labels? An analysis of the residential real estate market in Flanders. IJHMA 18, 772–812. https://doi.org/10.1108/IJHMA-12-2023-0173

Glaessgen, E., Stargel, D., 2012. The Digital Twin Paradigm for Future NASA and U.S. Air Force Vehicles. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Honolulu, Hawaii. https://doi.org/10.2514/6.2012-1818

Gül, L.F., 2018. Studying gesture-based interaction on a mobile augmented reality application for co-design activity. J Multimodal User Interfaces 12, 109–124. https://doi.org/10.1007/s12193-017-0252-0

Guthridge, G., 2024. Three ways to move energy consumers from interest to action. Ernst & Young Global Limited. Saatavissa: https://www.ey.com/content/dam/ey-unified-site/ey-com/en-gl/insights/power-utilities/documents/ey-energy-transition-consumer-insights-report-2024-v2.pdf

Hadavi, A., Alizadehsalehi, S., 2024. From BIM to metaverse for AEC industry. Automation in Construction 160, 105248. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.105248

Hamel, J., Dufour, S., Fortin, D., 1993. Case Study Methods. SAGE Publications, Inc., 2455 Teller Road, Newbury Park California 91320 United States of America. https://doi.org/10.4135/9781412983587

Hevner, March, Park, Ram, 2004. Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly 28, 75. https://doi.org/10.2307/25148625

Huynh-The, T., Pham, Q.-V., Pham, X.-Q., Nguyen, T.T., Han, Z., Kim, D.-S., 2023a. Artificial intelligence for the metaverse: A survey. Engineering Applications of Artificial Intelligence 117, 105581. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105581

Huynh-The, T., Pham, Q.-V., Pham, X.-Q., Nguyen, T.T., Han, Z., Kim, D.-S., 2023b. Artificial intelligence for the metaverse: A survey. Engineering Applications of Artificial Intelligence 117, 105581. https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105581

Joanna Briggs Institute, 2019. JBI: Arviointikriteerit asiantuntijoiden näkemykselle ja narratiiviselle tekstille. Saatavissa: https://hotus.fi/wp-content/uploads/2019/03/jbi-kriteerit-asiantuntijoiden-nakemys-ja-narratiivinen-teksti.pdf

Kalamees, T., 2004. IDA ICE: the simulation tool for making the whole building energy- and HAM analysi.

Karaarslan, E., Aydin, Ö., Cali, Ü., Challenger, M. (Eds.), 2023. Digital Twin Driven Intelligent Systems and Emerging Metaverse. Springer Nature Singapore, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-0252-1

Kauppinen, J., 2025. Rakennusten energia-tehokkuus . Ympäristöministeriön verkkosivu. Saatavissa: https://ym.fi/rakennusten-energiatehokkuus (luettu 5.14.25).

Kim, D.Y., Lee, H.K., Chung, K., 2023. Avatar-mediated experience in the metaverse: The impact of avatar realism on user-avatar relationship. Journal of Retailing and Consumer Services 73, 103382. https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2023.103382

Kong, D., Yang, Y., Sa, X., Wei, X., Zheng, H., Shi, J., Wu, H., Zhang, Z., 2023. Evaluation of the Impact of Input-Data Resolution on Building-Energy Simulation Accuracy and Computational Load—A Case Study of a Low-Rise Office Building. Buildings 13, 861. https://doi.org/10.3390/buildings13040861

Kosonen, A., Keskisaari, A., 2020. Zero-energy log house – Future concept for an energy efficient building in the Nordic conditions. Energy and Buildings 228, 110449. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110449

Krstić, H., Teni, M., 2017. Review of Methods for Buildings Energy Performance Modelling. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 245, 042049. https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/4/042049

Krüger, M., Gilbert, D., Kuhlen, T.W., Gerrits, T., 2024. Game Engines for Immersive Visualization: Using Unreal Engine Beyond Entertainment. PRESENCE: Virtual and Augmented Reality 33, 31–55. https://doi.org/10.1162/pres_a_00416

Lee, H., 2025. A unified conceptual model of immersive experience in extended reality. Computers in Human Behavior Reports 18, 100663. https://doi.org/10.1016/j.chbr.2025.100663

LUT-Tiedekirjasto, 2024. LUT tiedonhankinnan opas. Saatavissa: https://libguides.lut.fi/tiedonhankinta

Ma, Z., 2023. Energy metaverse: the conceptual framework with a review of the state-of-the-art methods and technologies. Energy Inform 6, 42. https://doi.org/10.1186/s42162-023-00297-w

Maftei, L., Harty, C., 2015. Designing in Caves: Using Immersive Visualisations in Design Practice. ArchNet-IJAR 9, 53. https://doi.org/10.26687/archnet-ijar.v9i3.693

Majumdar, S., Kandpal, V., Anthopoulos, L.G. (Eds.), 2024. Smart Cities: Innovations, Challenges and Future Perspectives, S.M.A.R.T. Environments. Springer Nature Switzerland, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-59846-3

Makkonen, J., 2025a. Kuva 1: Tutkimuksen teoreettinen viitekehys VENN-diagrammi. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025b. 2: Tutkimuksen värikoodaus. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025c. Kuva 3: Tietomallit, energiamallit ja visualisointi. Luonnosteltu Soralla BEM-kuva joka muokattu ja lisätty kahteen itse tehtyyn kuvaan. Saatavissa: https://sora.chatgpt.com/

Makkonen, J., 2025d. Kuva 4: Immersiiviset teknologiat ja niiden kytkeytyminen metaversumiteknologiaan. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025e. Kuva 5: Kuluttajan päätöksentekoon vaikuttavat tekijät. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025f. Kuva 6: Laajennettu todellisuus immersiivisenä teknologiana. Luotu konseptikuva Soralla, käyttäen promptia: Extended reality in home energy-efficiency context. Kuva siirretty kuvankäsittelyohjelmaan jossa vektoroitu, muutettu värimaailma purppuraksi ja paranneltu. Saatavissa: https://sora.chatgpt.com/

Makkonen, J., 2025g. Kuva 7: Digitaalinen kaksonen. Luotu konseptikuva Soralla käyttäen promptia: physical building to purple digital twin. Kuva liitetty kuvankäsittelyohjelmassa fyysiseen malliin. Alkuperäinen kuva saatavissa: https://hulluarkkitehti.fi/2016/11/28/tyyppitalot-1-rintamamiestalo/

Makkonen, J., 2025h. Kuva 8: Tekoälyavatar. Tehty Figma-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025i. Kuva 9: Integroiva synteesi ja teoreettinen viitekehys. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025j. Kuva 10: Tutkimuksen päävaiheet. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025k. Kuva 11: Tutkimuksen metodologinen viitekehys VENN-diagrammi. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025l. Kuva 12: Tutkimuksen metodologian synteesi. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025m. Kuva 13: Integroivan kirjallisuuskatsauksen hakusanat. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025n. Kuva 14: Mukailtu PRISMA-prosessikaavio aineistohausta. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025o. Kuva 15: Hybridimallin ensimmäinen prototyyppi. Tehty Miro-työkalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025p. Kuva 16: Kodin energiatehokkuustyökalunäkymä. Kuva tehty Figmalla hyödyntäen Twinmotion prototyyppiä. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025q. Kuva 17: Verkkosivupohjainen ratkaisu. Kuva tehty Figmalla hyödyntäen Twinmotion prototyyppiä. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025r. Kuva 18: Kodin energiatehokkuuden edistämisnäkymä. Kuva tehty Figmalla hyödyntäen Twinmotion prototyyppiä. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025s. Kuva 19: Kokoonpano- ja asetusvalitsin energiatehokkuuteen valintojen simulointiin. Kuva tehty Figmalla hyödyntäen Twinmotion prototyyppiä. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025t. Kuva 20: Kokoonpano- ja asetusvalitsin yhdistettynä prototyyppiin. Kuva tehty Mirotyökalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025u. Kuva 21: Teknologia-arkkitehtuuri. Kuva tehty Mirotyökalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025v. Kuva 22: Käyttöliittymätaso. Kuva tehty Mirotyökalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025w. Kuva 23: Tietomallintamistaso. Kuva tehty Mirotyökalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025x. Kuva 24: Visualisointitaso. Kuva tehty Mirotyökalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025y. Kuva 25: Skannaustaso. Kuva tehty Mirotyökalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Makkonen, J., 2025z. Kuva 26: Immersiotaso. Kuva tehty Mirotyökalulla. Saatavissa: https://miro.com/

Maksimović, M., Jokić, S., Bošković, M.Č., 2025. Innovative Horizons for Sustainable Smart Energy: Exploring the Synergy of 5G and Digital Twin Technologies. Process Integr Optim Sustain 9, 431–470. https://doi.org/10.1007/s41660-024-00478-4

Mäntyranta, T., Kaila, M., 2008. Fokusryhmähaastattelu laadullisen tutkimuksen menetelmänä lääketieteessä. Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim 2008, 1507–13. https://www.duodecimlehti.fi/duo97349

Mc Guire, J., Rogan, F., Balyk, O., Mac Uidhir, T., Gaur, A., Daly, H., 2023. Developing decarbonisation pathways in changing TIMES for Irish homes. Energy Strategy Reviews 47, 101086. https://doi.org/10.1016/j.esr.2023.101086

McArthur, A., Cooper, A., Edwards, D., Klugarova, J., Yan, H., Barber, B.V., Gregg, E.E., Weeks, L.E., Jordan, Z., 2025. Textual evidence systematic reviews series paper 3: critical appraisal of evidence from narrative, opinion, and policy. JBI Evidence Synthesis. https://doi.org/10.11124/JBIES-24-00293

Meritähti-Lustig, L., 2025. Rakentamis-laki sujuvoittaa rakentamista ja edistää päästö-vähennyksiä ja kierto-taloutta. Ympäristöministeriö. Saatavissa: https://ym.fi/rakentamislaki

Miller, T., 2019. Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences. Artificial Intelligence 267, 1–38. https://doi.org/10.1016/j.artint.2018.07.007

Mustafa, B., 2022. Analyzing education based on metaverse technology. TSSJ 32, 278–295. https://doi.org/10.47577/tssj.v32i1.6742

Ojanen, T., Nykänen, E., Hemmilä, K., 2017. Rakenteellinen energiatehokkuus korjausrakentamisessa. Teknologian tutkimuskeskus VTT:n opas. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/15180/Rakenteellinen_energiatehokkuus_korjausrakentamisessa.pdf

Oprean, D., Simpson, M., Klippel, A., 2018. Collaborating remotely: an evaluation of immersive capabilities on spatial experiences and team membership. International Journal of Digital Earth 11, 420–436. https://doi.org/10.1080/17538947.2017.1381191

Ou, Y., Bailey, N., McArthur, D.P., Zhao, Q., 2025. The price premium of residential energy performance certificates: A scoping review of the European literature. Energy and Buildings 332, 115377. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115377

Pandey, Prashant Kumar, Pandey, Praveen Kumar, Mahajan, S., Paul, J., Iyer, S., 2025. Digital Twin and Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality, in: Digital Twins for Smart Cities and Villages. Elsevier, pp. 273–293. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-28884-5.00013-0

Pigni, F., Watson, R.T., Piccoli, G., 2021. Digital Twins: Representing the Future. SSRN Journal. https://doi.org/10.2139/ssrn.3855535

Poskela, J., Kutinlahti, P., Hanhike, P., Martikainen, M., Urjankangas, H.-M., n.d. Kokeileva kehittäminen (TEM Raportti No. 67/2015). Työ- ja elinkeinoministeriö. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/74944/TEM-rap_67_2015_web.pdf?sequence=1

Rafsanjani, H.N., Nabizadeh, A.H., 2023. Towards digital architecture, engineering, and construction (AEC) industry through virtual design and construction (VDC) and digital twin. Energy and Built Environment 4, 169–178. https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.10.004

Rakentamislaki, 2025. Suomen säädöskokoelma, 751/2023.

Rashdi, R., Martínez-Sánchez, J., Arias, P., Qiu, Z., 2022. Scanning Technologies to Building Information Modelling: A Review. Infrastructures 7, 49. https://doi.org/10.3390/infrastructures7040049

Razzaq, I., Amjad, M., Qamar, A., Asim, M., Ishfaq, K., Razzaq, A., Mawra, K., 2023. Reduction in energy consumption and CO2 emissions by retrofitting an existing building to a net zero energy building for the implementation of SDGs 7 and 13. Front. Environ. Sci. 10, 1028793. https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.1028793

Rischmoller, L., Reed, D., Khanzode, A., Fischer, M., 2018. Integration Enabled by Virtual Design & Construction as a Lean Implementation Strategy. Presented at the 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Chennai, India, pp. 240–249. https://doi.org/10.24928/2018/0521

Santos, N., Peslak, A., 2022. Immersive Technologies: Benefits, Timeframes, and Obstacles. IIS. https://doi.org/10.48009/2_iis_2022_115

Seduikyte, L., Morsink-Georgali, P.-Z., Panteli, C., Chatzipanagiotidou, P., Stavros, K., Ioannidis, D., Stasiuliene, L., Spudys, P., Pupeikis, D., Jurelionis, A., Fokaides, P., 2022. Next-Generation Energy Performance Certificates. What novel implementation do we need? https://doi.org/10.5281/ZENODO.8189221

Shen, W., Zhang, X., Qiping Shen, G., Fernando, T., 2013. The User Pre-Occupancy Evaluation Method in designer–client communication in early design stage: A case study. Automation in Construction 32, 112–124. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.01.014

Sørensen, F., Mattsson, J., Sundbo, J., 2010. Experimental methods in innovation research. Research Policy 39, 313–322. https://doi.org/10.1016/j.respol.2010.01.006

Stanney, K., Lawson, B.D., Rokers, B., Dennison, M., Fidopiastis, C., Stoffregen, T., Weech, S., Fulvio, J.M., 2020. Identifying Causes of and Solutions for Cybersickness in Immersive Technology: Reformulation of a Research and Development Agenda. International Journal of Human–Computer Interaction 36, 1783–1803. https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1828535

Subagio, T., 2023. Study on Implementation of Building Information Modelling (BIM) in the Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry (AEC), in: Kusumastuti, A., Anis, S., Hidayanto, A.N., Nurmasitah, S., Atika, A., Apriyani, D., Achmadi, T.A., Sudiyono, S. (Eds.), Proceedings of the 4th Vocational Education International Conference (VEIC 2022). Atlantis Press SARL, Paris, pp. 400–411. https://doi.org/10.2991/978-2-494069-47-3_46

Suzuki, K., Mariola, A., Schwartzman, D.J., Seth, A.K., 2023. Using Extended Reality to Study the Experience of Presence, in: Maymon, C., Grimshaw, G., Wu, Y.C. (Eds.), Virtual Reality in Behavioral Neuroscience: New Insights and Methods, Current Topics in Behavioral Neurosciences. Springer International Publishing, Cham, pp. 255–285. https://doi.org/10.1007/7854_2022_401

Tiainen, M., 2024. Ilmastoselvitys ja rakennustuoteluettelo luovat uusia edellytyksiä rakennuksen vähähiilisyyden arvioinnille. Saatavissa: https://valtioneuvosto.fi/-/1410903/ilmastoselvitys-ja-rakennustuoteluettelo-luovat-uusia-edellytyksia-rakennuksen-vahahiilisyyden-arvioinnille

Torcellini, P., Houssainy, S., Pless, S., Livingood, W., Polly, B., 2020. The Future of Zero Energy Buildings: Produce, Respond, Regenerate. Saatavissa: https://www.nrel.gov/docs/fy20osti/77415.pdf

Torraco, R.J., 2005. Writing Integrative Literature Reviews: Guidelines and Examples. Human Resource Development Review 4, 356–367. https://doi.org/10.1177/1534484305278283

Trevis, B., Moseley, D., 2024. The growing importance of energy efficiency in home buying decisions. Oxford Economics. Saatavissa: https://www.oxfordeconomics.com/resource/the-growing-importance-of-energy-efficiency-in-home-buying-decisions/?utm_source=chatgpt.com (accessed 5.15.25).

Um, J., Park, J.M., Park, S.Y., Yilmaz, G., 2023. Low-cost mobile augmented reality service for building information modeling. Automation in Construction 146, 104662. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104662

Vasarainen, M., Paavola, S., Vetoshkina, L., 2021. A Systematic Literature Review on Extended Reality: Virtual, Augmented and Mixed Reality in Working Life. IJVR 21, 1–28. https://doi.org/10.20870/IJVR.2021.21.2.4620

Vera-Piazzini, O., Scarpa, M., Peron, F., 2022. Building Energy Simulation and Monitoring: A Review of Graphical Data Representation. Energies 16, 390. https://doi.org/10.3390/en16010390

Volk, R., Stengel, J., Schultmann, F., 2014. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs. Automation in Construction 38, 109–127. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023

Vuolle, M., Airaksinen, M., Sankelo, P., 2018. Energiatodistusopas 2018. Saatavissa: https://www.motiva.fi/files/16464/Energiatodistusopas_2018_-_Rakennuksen_energiatodistus_ja_E-luvun_maarittaminen.pdf

Wagner, I., 2012. Building Urban Narratives: Collaborative Site-Seeing and Envisioning in the MR Tent. Comput Supported Coop Work 21, 1–42. https://doi.org/10.1007/s10606-011-9152-0

Whittemore, R., Knafl, K., 2005. The integrative review: updated methodology. Journal of Advanced Nursing 52, 546–553. https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x

Wong, S., Levesque, N., Delisle, V., Gagne, A., Proulx, L.-P., 2017. Using the thermal energy storage potential of residential homes for ToU rate savings and demand response, in: 2017 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE). Presented at the 2017 IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering (SEGE), IEEE, Oshawa, ON, Canada, pp. 223–228. https://doi.org/10.1109/SEGE.2017.8052802

Ye, Q., Ran, Y., Wang, Q., Li, Z., Sun, J., Zhan, J., Chen, J., Sun, Y., 2024. Metaverse for the Energy Industry: Technologies, Applications, and Solutions. IEEE Trans. Cybern. 54, 7919–7935. https://doi.org/10.1109/TCYB.2024.3475272

Yeom, S., An, J., Hong, T., Koo, C., Jeong, K., Lee, J., 2024. Managing energy consumption and indoor environment quality using augmented reality based on the occupants' satisfaction and characteristics. Energy and Buildings 311, 114165. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114165

Ympäristöministeriö, 2020. Pitkän aikavälin korjausrakentamisen strategia 2020-2050. Saatavissa: https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf/37a549e9-b330-5f8c-d863-2e51f2e8239a/Suomen-EPBD-2a-ilmoitus_final_10-03-2020-242AE19E_F497_4A38_8DF2_95556530BA53-156573.pdf?t=1603259873424

Liite 2 - Energiatodistusnäkymä A/B- testaus

Liite 3 – Ohjausryhmän kyselyn tulokset

Kyselyyn osallistujat: Neljä ohjausryhmän edustajaa	
Kyselyn laatija: Jarno Makkonen	Päiväys: 28.3.2025

Kyselyn kysymykset:

Mielipiteet ensimmäisestä prototyypistä. Nähdäänkö se mahdollisesti osana liiketoimintaa? (energiatehokkuustyökalusta)

Pidätkö hyödyllisenä, että asiakas voisi kokeilla erilaisia energiatehokkuusratkaisuja esimerkiksi verkkosivuilla?

Mitkä seuraavista ominaisuuksista näkisit mielelläsi osana palvelua/prototyyppiä?

1. Vuorovaikutteinen esittely jossa asiakas voi kokeilla kotiinsa tuotteita ja saada energiatehokkuusvinkkejä.
2. 3D-mallin sisään tuodut tuote-esittelyt yrityksen tuotteille.
3. Pelillisyys: esim. asiakas saa pisteitä tekemistään hyvistä energiatehokkuusvalinnoista.
4. Tekoälyapuri: Tekoäly avustaa energiatehokkuusratkaisuissa ja yrityksen tuotteiden valinnassa.

Mikä teki valitsemistasi vaihtoehdoista kiinnostavan / miksi pidit muita vähemmän houkuttelevina? Jos haluat kommentoida vapaasti, kerro ajatuksesi.

Voit lopuksi kertoa vapaasti jos sinulla on ideoita ja/tai antaa palautetta tähän mennessä näkemistäsi asioista.

Haastattelua ohjanneet kokeilevan kehittämisen hypoteesit:

1. Ohjausryhmällä on tärkeä rooli realististen liiketoiminta- ja prototyyppipalautteiden tuottajana.
2. Palvelun arvo voi hahmottua vasta, kun se on konkretisoitu käytännön hyödyiksi ja hinnoitteluksi.
3. Interaktiivisuus ja visuaalisuus ovat kriittisiä myyntiargumentteja.

Yhteenveto haastattelun tuloksista:

- Visualisointi ja skannaus saivat pääosin positiivisen vastaanoton.
- Vuorovaikutteinen käyttöliittymä, jossa asiakas voi kokeilla tuotteita ja saada energiatehokkuusvinkkejä, nousi tärkeimmäksi ominaisuudeksi.
- Kohdeyrityksen tuotteiden esittely 3D-mallissa koettiin mielekkääksi (3/4 vastaajista).
- Tekoäly ja pelillisyys nähtiin potentiaalisina lisänä (2/4 vastaajaa piti mielekkäänä).
- Yhtäkään ehdotetuista toiminnoista ei pidetty turhana.
- Skaalautuvuus: kevyempi kokeiluversio voisi tuottaa asiakkaalle oivalluksia ennen maksullisen palvelun hankintaa ja luoda kontaktin yritykseen.

Kehitysehdotukset:

- Verkkosivulle toivottiin ilmaista työkalua, jossa käyttäjä voi kokeilla energiatehokkuusratkaisuja omalla pohjapiirustuksellaan.
- Syötettävät tiedot voisivat sisältää mm. rakennusvuoden, seinän paksuudet, ikkunatyypit, ilmanvaihdon, lämmitysmuodon, energiankulutuksen.
- Lopputuloksena suuntaa-antava energialuokka ja energiansäästö kilowattitunneissa.
- Palvelun tulisi toimia asiakashankinnan työkaluna, joka mahdollistaa myöhemmin kaupallisen konversion.

Liite 4 - Haastattelun tulokset – Energiatehokkuustuotteiden jälleenmyyjät

Haastateltavat: Jälleenmyyjät		
Haastattelija: Jarno Makkonen	Päiväys: 18.3.2025	Kesto: 53min

Haastattelun kysymykset:

Mitä ajatuksia palvelu herätti esittelyn perusteella?

Kuinka helppokäyttöiseltä palvelu vaikuttaa?

Kuinka merkityksellistä on päästä vaikuttamaan parannustoimenpiteisiin virtuaalisesti?

Kuinka tärkeää on saada tietoa remontin kustannuksista ja takaisinmaksuajasta?

Koetko hyödylliseksi laskurin/simulaation remonttivaihtoehtojen vaikutusten tarkasteluun?

Tekoälyapuri vai asiakaspalvelija – kumpi parempi, ja miksi?

Minkä arvoiseksi arvioit tällaisen palvelun (ilman remonttia)?

Mihin vertaisit tämän palvelun arvoa tai hyötyä (esim. kiinteistövälitys, sisustussuunnittelu)?

Mikä olisi palvelun tärkein hyöty jälleenmyyjän näkökulmasta?

Miten palvelu tukisi asiakaskohtaamisia ja myyntityötä?

Kuinka todennäköisesti käyttäisit palvelua myynnin tukena?

Miten asiakas voisi hyötyä 3D-visualisoinneista, jos ei itse käytä ohjelmaa?

Mitkä asiakasryhmät ovat todennäköisimpiä käyttäjiä?

Miten palvelun hinta vaikuttaa ostopäätökseen (asiakkaan ja myyjän näkökulmasta)?

Mikä olisi realistinen hinnoittelumalli jälleenmyynnissä?

Mitä kehitysideoita tai kysymyksiä palvelun jatkokehitykseen liittyy?

Millä tavalla myyntityötä voitaisiin edistää digitaalisen mallin avulla?

Haastattelua ohjanneet kokeilevan kehittämisen hypoteesit:

1. Mallinnus ja energiatehokkuuden näkyväksi tekeminen voi parantaa kuluttajien ymmärrystä ja madaltaa kynnystä toteuttaa remontti.
2. Tekoälyn ja visuaalisten simulointien yhdistäminen voi parantaa palvelukokemusta ja päätöksenteon luottamusta.
3. Myyjän näkökulmasta palvelu voisi toimia myynnin tukityökaluna, jolla voidaan havainnollistaa energiatehokkuuden vaikutuksia konkreettisesti ja visuaalisesti.
4. Palvelun arvo voi perustua sen kykyyn yhdistää remonttisuunnittelu, kustannusarviot ja energiatodistus samaan pakettiin, joka tuo asiakkaalle lisäarvoa ja luo uusia liiketoimintamalleja.

Yhteenveto haastattelun tuloksista:

Käyttäjäkokemus ja palvelun arvo:
- Visuaalinen ja realistinen esitys lisää luottamusta ja kannustaa remonttipäätökseen.
- Palvelun avulla asiakas voi nähdä muutokset etukäteen ja arvioida vaikutukset energialuokkaan.
- Visuaalinen käyttöliittymä ja simulaatiot (esim. lämpövuodot, valaistus) tuovat turvaa päätöksentekoon.

Tekninen luotettavuus:
- Skannauksen tarkkuus koettiin riittäväksi (millimetriluokka).
- 2–3 tunnin skannausaika vanhoissa kohteissa hyväksyttävä, varsinkin tuloksen tarkkuuden valossa.
- Visualisointi kokeiltiin kuvailun perusteella helpoksi käyttää ja malli helposti muokata

Tekoälyn ja asiakaspalvelun rooli:
- Tekoäly nähtiin hyödylliseksi vaihtoehdoksi ajasta riippumattomana kanavana, mutta asiakaspalvelijaan luotetaan edelleen enemmän varsinkin isoissa päätöksissä.
- Tekoäly voisi täydentää, ei korvata – esim. suunnittelun alkuvaiheessa tai silloin kun asiakas haluaa tutkia itsenäisesti.

Käyttötarkoitukset ja hyötynäkökulmat:
- Tärkeimmät hyödyt: virtuaaliesittely myyntityössä, energiatodistus remontin yhteydessä, suositusten konkretisointi.
- Mahdollistaa myös passiivisen käytön kuvien kautta asiakastapaamisissa.
- Nuoret asunnon ostajat ja energiatehokkuutta painottavat asiakkaat nähtiin tärkeimpinä kohderyhminä.
- Vanhemmalle väestölle voisi tarjota paperiversion 3D-mallinnuksen pohjalta.
- Kuluttajien päätöksentekoon vaikuttaa teknisten tarkkuustietojen sijasta olennaisesti tunne siitä mitä hyötyä remontti tuottaa. Esim. vetoisuuden väheneminen, verkkoyhteyden vahvistuminen jne.

Liite 5 - Haastattelun tulokset – Energiatodistuksen laatija

Haastateltava: Energiatodistuksen laatija / energiatehokkuusasiantuntija		
Haastattelija: Jarno Makkonen	Päiväys: 1.4.2025	Kesto: 60min

Haastattelun kysymykset:

- Milloin olet aloittanut energiatodistusten laatimistyön? Koulutus?
- Millainen yleisvaikutelma jäi prototyypistä? Mitä keskustelua käytiin?
- Minkälaiset asiakkaat tilaavat energiatodistuksia?
- Miten asiakkaat kokevat energiatodistuksen laatimisen?
- Miten uusi vaihtoehto vaikuttaa asiakaskokemukseen?
- Miten keräät ja varmistat tarvittavat tiedot?
- Miten selvität U-arvot, ilmavuotokertoimet, lämmitysjärjestelmät?
- Mitkä tiedot ovat kriittisimpiä energiatehokkuuden arviointiin?
- Mitkä tiedot ovat hankalimpia selvittää?
- Mitä toivoisit skannauksen tuottavan automaattisesti?
- Mitkä tiedot täytyy silti syöttää käsin?
- Mielipiteesi ammattilaisnäkymästä ja ohjelmistoista?
- Mielipide graafisesta energiatodistusnäkymästä?
- Keskustelua rakennustiedoista ja rakennusvaipan ominaisuuksista?
- Miten selvität rakenteiden U-arvot ja muut tiedot?
- Miten määrität kylmäsillat ja huonekorkeuden?
- Ilmanvaihdon tietojen määrittäminen?
- Lämmitysjärjestelmän selvittäminen?
- Palvelun mahdollinen hinta?
- Digitaalisten työkalujen mahdollisuudet ja toiveet?
- Mikä olisi työkalun suurin hyöty?
- Mikä on suurin este toteutuksessa?
- Huolia 3D-skannaukseen perustuvasta laadinnasta?
- Tärkeimmät tiedot, joita uusi palvelu voisi tuottaa?
- Miltä näyttäisi ihanteellinen prosessi rahasta riippumatta?

Haastattelua ohjanneet kokeilevan kehittämisen hypoteesit:

1. Energiatehokkuuspalvelun käyttäjäarvoa voidaan lisätä, jos energiatodistus ei näyttäydy pelkkänä pakollisena asiakirjana, vaan tuottaa konkreettista hyötyä (esim. remontti- ja säästöpäätöksiin).
2. 3D-skannaus ja tietomallinnus voivat merkittävästi nopeuttaa ja tarkentaa energiatodistuksen laadintaprosessia.
3. Prototyypin visualisointi ja ammattilaisnäkymä voivat parantaa asiakaskokemusta ja työn tarkkuutta.
4. Energiatehokkuuspalvelun hinta voi olla hyväksyttävämpi, jos se tarjoaa selkeää lisäarvoa nykykäytäntöihin verrattuna.
5. Automaattinen mittatiedon keruu vähentää virheitä ja nopeuttaa työprosessia olemassa olevissa rakennuksissa.

Yhteenveto haastattelun tuloksista:

Energiatodistuksen nykyrooli ja käyttäjäkokemus:

- Asiakkaat kokevat energiatodistuksen usein ylimääräisenä vaatimuksena, ei hyödyllisenä työkaluna.
- Arvo voi nousta, jos todistus tarjoaa konkreettisia vertailutietoja energiatehokkuuden parantamiseksi.

Digitaalisten työkalujen rooli:

- 3D-skannauksen suurin hyöty on geometrian
- määrittämisessä jossa on mahdollista säästää aikaa ja parantaa tarkkuutta.
- Tietomallien integrointi voisi parantaa erityisesti uudiskohteiden käsittelyä.
- Haastateltava ei kokenut erityistä huolta teknologian käytöstä – tärkeintä on, että se oikeasti auttaa eikä kuormita.

Tiedonkeruu:

- Standardiarvoihin on valmiita tietokantoja ja dynaamiseen laskentaan ohjelmistoja (rakennuspalvelut, IDA ICE)
- Vanhojen rakennusten dokumentaation puute vaikeuttaa mm. U-arvojen, ilmavuotolukujen ja pinta-alojen määrittämistä.
- Ilmanvaihto ja lämmitysjärjestelmä ovat usein kriittisimmät tiedot E-luvun kannalta – ja myös vaikeimmat arvioida tarkasti ilman mittauksia.

Ammattilaisnäkymän ja käyttöliittymän palaute:

- Ajatus poikkeavuuksien huomautuksista ja graafisista esityksistä sai kiitosta.
- Visualisointi voi parantaa ymmärrettävyyttä ja nopeuttaa päätöksentekoa myös asiakkaan näkökulmasta.
- 3D-mallinnukseen perustuva visualisointi (esim. lämpövuodot näkyviin mallissa) nähtiin lupaavana suuntana.

Lainsäädännölliset ja käytännön rajoitteet:

- Virallinen energiatodistus vaatii sertifioidun laatijan ja kohdekäynnin – automatisointi voi tukea työtä, mutta ei täysin korvata sitä.
- Jatkuva manuaalinen tarkistus (esim. laitetiedot, korjaukset) on edelleen osa prosessia, vaikka teknologia kehittyy.

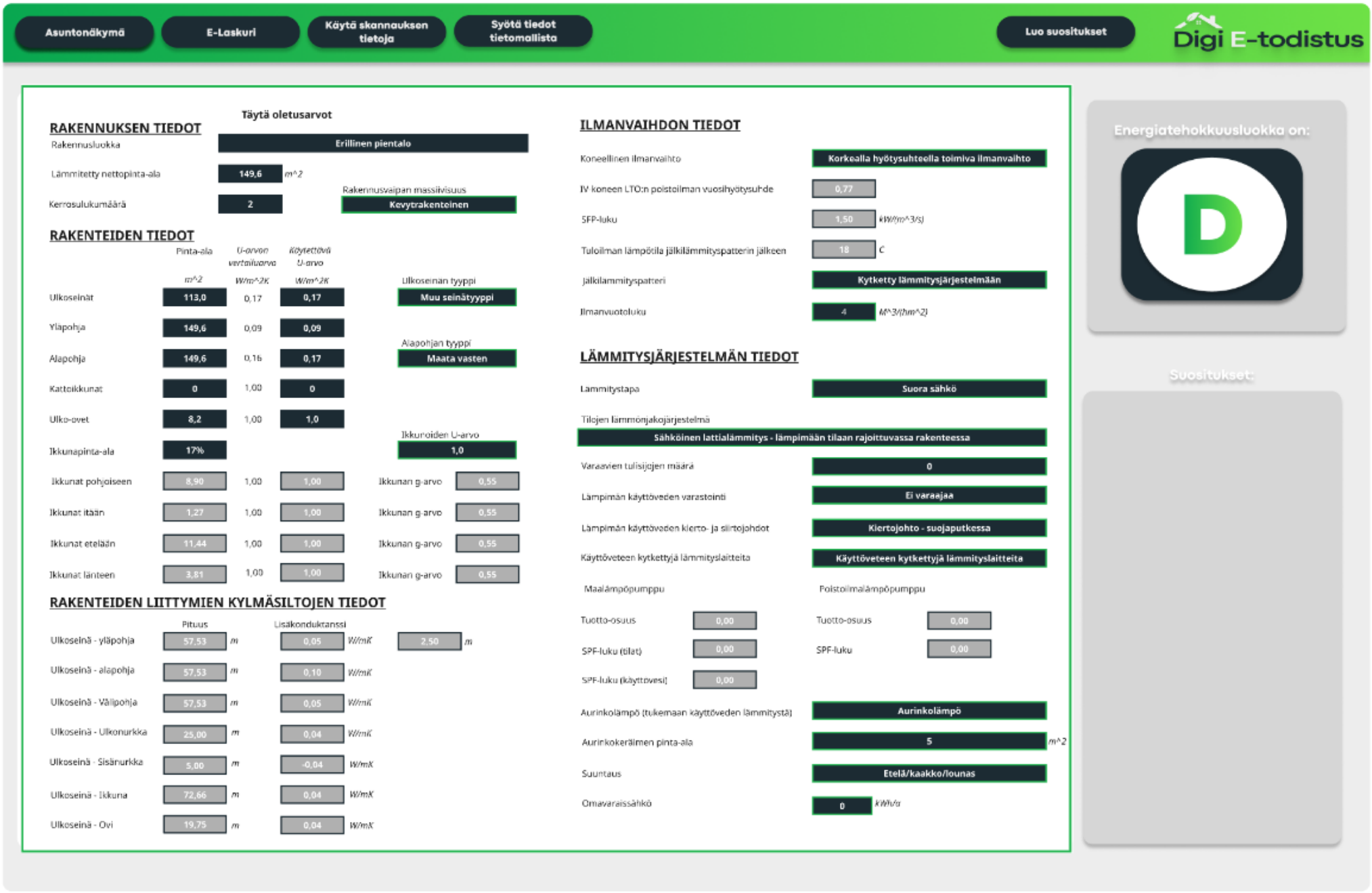
Palvelun hinnoittelu ja käyttökelpoisuus:

- Haastateltava näki, että palvelu voisi olla selvästi arvokkaampi, jos se tuo lisäarvoa pelkän todistuksen sijaan (esim. suositukset, visualisointi).
- Hinnoittelu voi vaihdella huomattavasti riippuen palvelun laajuudesta ja kohteen monimutkaisuudesta.

Optimointiajattelu:

- Tärkeintä olisi tuottaa tiedot "oikeaan aikaan", eli silloin, kun asiakas tekee päätöksiä, ei vasta niiden jälkeen. Energiatodistusta tulisi hyödyntää dynaamisemmin eri remontin vaiheissa.

Liite 6 – Integroiva näkymä energiatodistuksen laatijalle



Liite 7 – Haastattelun tulokset Rakennusalan suunnittelupäällikkö

Haastateltava: Rakennusalan suunnittelupäällikkö		
Haastattelija: Jarno Makkonen	Päiväys: 11.4.2025	Kesto: 30min

Haastattelun kysymykset:

Mikä on palvelun kiinnostavin käyttöalue?

Mikä on energiatodistuksen merkitys käytännössä?

Miten energiatehokkuutta tulisi arvioida vanhoissa rakennuksissa?

Millaisia riskejä liittyy energiatehokkuuden edistämiseen?

Miten vanhojen rakennusten kosteuskäyttäytyminen ja rakennefysiikka tulisi huomioida?

Mitkä ovat tyypilliset lämmitysjärjestelmät ja mitä tulisi ottaa huomioon niiden muutoksessa?

Miten visuaalisuus ja sisustussuunnittelu voisivat tukea remonttipäätöksiä?

Haastattelua ohjanneet kokeilevan kehittämisen hypoteesit:

1. Energiatehokkuus ei yksinään riitä ohjaamaan korjausrakentamisen päätöksiä, myös kosteustekniset ja rakenteelliset tekijät on huomioitava.
2. Energiatehokkuuden laskenta ja todentaminen tarvitsee tukea oikeista mittaustyökaluista ja menetelmistä, kuten U-arvolaskurit ja kosteuskuvaajat.
3. Korjausrakentamisessa tarvitaan enemmän visualisointia ja käyttäjäystävällisiä päätöksenteon tukivälineitä.
4. Ikkuna- ja oviremontit ovat tehokkaita ja turvallisia keinoja parantaa energiatehokkuutta ilman riskejä.
5. Uusi palvelukonsepti voisi olla hyödyllinen erityisesti muutosvaihtoehtojen visualisointiin.

Yhteenveto haastattelun tuloksista:

Palvelun mahdollinen rooli:
- Palvelu nähtiin kiinnostavana erityisesti remontin visualisoinnin tukena.
- Energiatehokkuuden osalta palvelu voi olla hyödyllinen, jos se ei ohjaa väärään remontointiin.

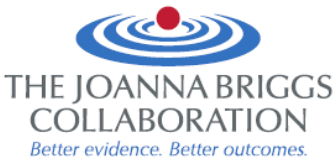
Energiatehokkuus ja riskit:
- Suunnittelupäällikkö korosti, että liiallinen tai huolimaton eristysten parantaminen voi aiheuttaa home- ja kosteusongelmia, esitetyn kohteessa (rintamamiestaloissa).
- Kastepisteen siirtyminen rakenteen sisään on todellinen riski, jota on voi havainnollistaa esim. DOF-lämpö-laskurilla.
- Viilentäminen ja lämmöneristyksen liiallinen lisääminen voi johtaa rakenteiden mätänemiseen.

Korjausperiaatteet:
- Vanhoissa rakennuksissa pätee usein periaate: "Jos ei ole rikki, älä korjaa".
- Paras energiatehokkuustoimenpide on usein ikkunoiden ja ovien uusiminen, koska se ei vaikuta kantaviin rakenteisiin tai kosteustekniikkaan.
- Eristyksiä tulisi muuttaa vain rakennusfysikaaliset vaikutukset ymmärtäen.

Tekniset laskentatyökalut:
- Suositteli erityisesti:
  - Puuinfon U-arvolaskuria: puurakenteiden U-arvon määritykseen
  - DOF-lämpölaskuri: eristemateriaalien vaikutusten ja kastepisteen tutkimiseen
- U-arvojen määrittämisessä kannattaa hyödyntää standardin SFS EN ISO 6946 mukaisia menetelmiä ja ympäristöministeriön ohjeistuksia.

Käytännön suunnittelunäkökulmat:
- Lämmitysjärjestelmien muutoksissa tulee kiinnittää huomiota siihen, mikä järjestelmä korvaa öljylämmityksen, joka on edelleen monessa vanhassa kohteessa käytössä.
- Uusien rakenteiden ja muutosten vaikutus myös vesikaton kantavuuteen, välipohjiin ja kylmäullakoihin on syytä arvioida huolellisesti.

Liite 8 – Energiatodistuksen laatijan haastattelun JBI-arviointi



21.1.2019

JBI: Arviointikriteerit asiantuntijoiden näkemykselle ja narratiiviselle tekstille

Tätä tarkistuslistaa käytetään asiantuntijoiden näkemyksen ja narratiivisen tekstin metodologisen laadun arviointiin. Arvioinnin tarkistuslistaan sisältyy yhteensä 6 arviointikriteeriä joiden yksityiskohtaiset sisällöt on lyhyesti kuvattu alla. Arvioijan on hyvä tutustua myös Joanna Briggs Instituutin julkaisemaan katsauksen tekijöiden käsikirjaan arviointia tehdessään. Tarkistuslistan alkuperäinen englanninkielinen versio löytyy tästä linkistä. Kunkin kriteerin toteutuminen arvioidaan asteikolla: Kyllä (K), Ei (E), Epäselvä (?), Ei sovellettavissa (NA). (McArthur ym. 2015.)

Arvioija: Jarno Makkonen Päiväys: 1.4.2025

Haastateltava: Energiatodistuksen laatija / Energiatehokkuusasiantuntija

Arviointikriteeri	**K**	**E**	**?**	**NA**
1. Onko mielipiteen lähde selkeästi tunnistettavissa?	☑	☐	☐	☐
2. Onko mielipiteen lähteellä asema asiantuntijoiden joukossa?	☑	☐	☐	☐
3. Ovatko kohdeyleisön kiinnostuksen kohteet kirjoituksen keskiössä?	☑	☐	☐	☐
4. Onko esitetty näkemys analyyttisen prosessin tulos, ja onko esille tuodun mielipiteen taustalla logiikkaa?	☑	☐	☐	☐
5. Viitataanko olemassa olevaan kirjallisuuteen/näyttöön?	☑	☐	☐	☐
6. Puolustaako kirjoittaja näkemystään loogisesti suhteessa muuhun kirjallisuuteen tai lähteisiin?	☑	☐	☐	☐

Kokonaisarviointi: Hyväksy ☑ Hylkää ☐ Lisätietoja tarvitaan ☐

Kommentteja (mukaan lukien syy hylkäykseen):

Haastattelu täydensi ja vahvisti kirjallisuudesta esiin tulleita tietoja erityisesti koskien kodin energiatehokkuuden tehostamista sekä energiatodistuksen laadintaprosessia. Haastattelu antoi erinomaisia näkökulmia kuluttajalähtöisen energiatehokkuustyökalun suunnitteluun.

Lähde: McArthur A, Klugarova J, Yan H, Florescu S. Innovations in the systematic review of text and opinion. Int J Evid Based Healthc. 2015;13(3):188–195.

Liite 9 – Rakennusalan suunnittelupäällikön haastattelun JBI-arviointi

THE JOANNA BRIGGS COLLABORATION
Better evidence. Better outcomes.

21.1.2019

JBI: Arviointikriteerit asiantuntijoiden näkemykselle ja narratiiviselle tekstille

Tätä tarkistuslistaa käytetään asiantuntijoiden näkemyksen ja narratiivisen tekstin metodologisen laadun arviointiin. Arvioinnin tarkistuslistaan sisältyy yhteensä 6 arviointikriteeriä joiden yksityiskohtaiset sisällöt on lyhyesti kuvattu alla. Arvioijan on hyvä tutustua myös Joanna Briggs Instituutin julkaisemaan katsauksen tekijöiden käsikirjaan arviointia tehdessään. Tarkistuslistan alkuperäinen englanninkielinen versio löytyy tästä linkistä. Kunkin kriteerin toteutuminen arvioidaan asteikolla: Kyllä (K), Ei (E), Epäselvä (?), Ei sovellettavissa (NA). (McArthur ym. 2015.)

Arvioija: Jarno Makkonen Päiväys: 13.4.2025

Haastateltava: Rakennusalan suunnittelupäällikkö

Arviointikriteeri	**K**	**E**	**?**	**NA**
1. Onko mielipiteen lähde selkeästi tunnistettavissa?	☑	☐	☐	☐
2. Onko mielipiteen lähteellä asema asiantuntijoiden joukossa?	☑	☐	☐	☐
3. Ovatko kohdeyleisön kiinnostuksen kohteet kirjoituksen keskiössä?	☑	☐	☐	☐
4. Onko esitetty näkemys analyyttisen prosessin tulos, ja onko esille tuodun mielipiteen taustalla logiikkaa?	☑	☐	☐	☐
5. Viitataanko olemassa olevaan kirjallisuuteen/näyttöön?	☑	☐	☐	☐
6. Puolustaako kirjoittaja näkemystään loogisesti suhteessa muuhun kirjallisuuteen tai lähteisiin?	☑	☐	☐	☐

Kokonaisarviointi: Hyväksy ☑ Hylkää ☐ Lisätietoja tarvitaan ☐

Kommentteja (mukaan lukien syy hylkäykseen):

Haastattelu antoi arvokasta tietoa prototyypin hyödynnettävyydestä rakennus- ja energia-alalla, prototyypin käytettävyydestä sekä asiantuntijan näkemyksiä energiatehokkuuden edistämisessä ja siihen liittyvissä ongelmissa korjausrakennuskohteissa.

Lähde: McArthur A, Klugarova J, Yan H, Florescu S. Innovations in the systematic review of text and opinion. Int J Evid Based Healthc. 2015;13(3):188–195.