

Samu Saari

**ESINEIDEN INTERNET -TEKNOLOGIAN HYÖDYN-
TÄMINEN VIHREÄN RAKENTAMISEN LIIKETOI-
MINTAMALLEISSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA
2024

TIIVISTELMÄ

Saari, Samu

Esineiden Internet -teknologian hyödyntäminen vihreän rakentamisen liiketoimintamalleissa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2024, 103 s.

Tietojärjestelmätiede pro gradu -tutkielma

Ohjaaja: Koskelainen, Tiina

Viime vuosina kasvaneen ympäristötietoisuuden myötä rakennusala on kokenut paineita siirtyä kohti ympäristöystävällisempiä toimintatapoja. Rakennusalan on osoitettu olevan luonteeltaan haastava tämän konservatiivisen luonteen ja jatkuvasti muuttuvan ympäristön vuoksi. Tämä tekee alasta haastavan uusien käytänteiden, kuten teknologioiden käyttöönotolle. Tämä tutkimus keskittyy esineiden internetin (engl. Internet of Things, IoT) hyödyntämiseen vihreässä rakentamisessa sekä sen tuoman arvon tarkasteluun liiketoimintamallin eri osaluilla. Tutkimuksessa selvitetään, miten IoT-teknologia edistää vihreän rakentamisen hankkeita arvonluonnin näkökulmasta. Lisäksi tutkimuksessa pyritään selvittämään mahdollisia syitä rakennusalan hitaaseen teknologiseen käyttöönottoon tarkastelemalla sitä IoT:n näkökulmasta. Tutkimuksen teoriaosio on toteutettu narratiivisena kirjallisuuskatsauksena, ja tutkimuksen empiirinen osio puolistrukturoituina teemahaastatteluina, jotka kohdennettiin rakennusalan ammattilaisille. IoT tarjoaa merkittäviä hyötyjä vihreän rakentamisen liiketoimintamalleihin arvonluonnin keinojen kautta, jotka pääosin perustuvat avoimuuden lisäämiseen sekä prosessien tehostamiseen ja sitä kautta suoriin ja epäsuoriin positiivisiin ympäristövaikutuksiin. Tutkimustulokset paljastavat myös, että vaikka IoT avaa uusia arvonluontimahdollisuuksia vihreän rakentamisen prosesseissa, teknologian laajempi hyödyntäminen ja käyttöönotto vaatii rakennusosalalla syvempää muutosta.

Työssä on hyödynnetty GPT-4 kielimallia kieliasun ajoittaiseen paranteluun. Kielimallin toimesta ei ole luotu uutta tietoa, vaan työkalua on hyödynnetty pohtimisen tukena, luonnollisempaan kirjoitustyyliin ja tulosten ymmärrettävämpään viestintään tähdäten.

Asiasanat: esineiden Internet, IoT, vihreä rakentaminen, rakennusala, arvonluonti, liiketoimintamalli

ABSTRACT

Saari, Samu

Enhancing Green Building Business Models through Internet of Things Technology

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2024, 103 pp.

Information System Science, Master's Thesis

Supervisor: Koskelainen, Tiina

With increasing environmental awareness, the construction sector has faced pressure to adopt more environmentally friendly practices. Given its conservative nature and the ever-changing environmental context, the sector finds it challenging to embrace new technologies. This study focuses on the use of the Internet of Things (IoT) in green construction and assesses its value across different aspects of the business model. It examines how IoT technology enhances green building projects from a value creation perspective and seeks to identify potential reasons for the slow technological adoption in the construction sector through an IoT lens. The theoretical component of the study was conducted as a narrative literature review, while the empirical component involved semi-structured thematic interviews with construction industry professionals. IoT significantly benefits green building business models by enhancing transparency and process efficiency, thereby generating both direct and indirect positive environmental impacts. The findings also indicate that although IoT opens new value-creation opportunities in green building processes, broader deployment, and adoption of the technology necessitate a deeper transformation within the construction industry.

The GPT-4 language model has been used to improve the language from time to time. The language model has not created new knowledge but instead used as a tool to support reflection, aiming for a more natural writing style and more comprehensible communication of results.

Keywords: Internet-of-Things, IoT, green building, construction industry, value creation, business model

KUVIOT

KUVIO 1: Rakennusten kohtaamat luonnonvoimat	15
KUVIO 2: Business Model Canvas arvonluonnin näkökulmasta	17
KUVIO 3: Business Model Canvas ja sinisen meren strategia viitekehyyksen yhdistäminen.....	20
KUVIO 4: IoT-tekniologian tunnuspiirteitä.....	23
KUVIO 5: IoT:n tuomat hyödyt hankinnoissa.....	36
KUVIO 6: Tutkimuskirjallisuuden valintaprosessi ja -perusteet.....	48
KUVIO 7: Esineiden internet -tekniologian vaikutukset vihreän rakentamisen liiketoimintamalliin	75
KUVIO 8: IoT:n Arvo Vihreässä rakentamisessa	83

TAULUKOT

TAULUKKO 1: Teoreettinen viitekehys	44
TAULUKKO 2: Haastateltavat	51
TAULUKKO 3: Haastatteluaineiston koodiryhmät, koodit ja koodien esiintyvyys	53

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT JA TAULUKOT

1	JOHDANTO.....	8
2	RAKENNUSALA.....	12
	2.1 Rakennusala yleisesti.....	12
	2.2 Rakennusala tulevaisuudessa.....	13
	2.3 Rakennusalan tunnistetut haasteet.....	14
	2.4 Vihreä rakentaminen.....	15
	2.4.1 Vihreän rakentamisen liiketoimintamalli.....	16
	2.4.2 Sinisen meren strategia ja liiketoimintamalli.....	19
	2.4.3 Vihreän rakentamisen onnistumistekijöitä.....	20
3	ESINEIDEN INTERNET.....	22
	3.1 Teknologinen tausta.....	24
	3.2 Tiedonsiirtoteknologia.....	25
	3.3 Potentiaali ja nykyiset sovellutukset rakennusalalla yleisesti.....	25
	3.4 Haasteet.....	26
	3.4.1 Tunnettuus.....	26
	3.4.2 Teknologiset rajoitteet.....	27
	3.4.3 Ympäristöhaasteet.....	28
	3.4.4 Yhtenäinen viitekehys.....	28
4	ARVONLUONTI.....	29
	4.1 Arvonluonnin muodot.....	30
	4.1.1 Liiketoimintamalliperspektiivi.....	31
	4.1.2 Sidosryhmäteoria ja Sidosryhmäperspektiivi.....	31
	4.2 Arvonluonnin mittarit.....	32
	4.2.1 Arvoketju.....	32
	4.2.2 Sidosryhmäperustainen arvo.....	33
	4.3 Arvonluonti rakennusalalla.....	34
	4.4 Esineiden internetin luoma arvo rakennusalalla yleisesti.....	35
	4.5 Arvonluonti vihreän rakentamisen prosesseissa esineiden internetin avulla.....	37
	4.5.1 Kustannukset.....	37
	4.5.2 Toimitusketju ja materiaalit.....	38
	4.6 Vihreän rakentamisen haasteet.....	39
	4.7 Yhteenveto.....	41
5	TUTKIMUSMENETELMÄT.....	45
	5.1 Tutkimuksen tavoitteet.....	45
	5.2 Tutkimusmenetelmät.....	46

5.2.1	Teoriaosio	47
5.2.2	Empiirinen osio.....	48
5.3	Aineistonkeruuprosessi	49
5.4	Teemahaastattelujen toteuttaminen.....	50
5.5	Aineiston analyysi	52
6	TULOKSET.....	54
6.1	Vihreän rakentamisen haasteet.....	57
6.2	Esineiden internetin luoma arvo	59
6.3	Vihreän rakentamisen hyödyt Esineiden Internetin käytön myötä...65	
6.4	Esineiden internetin tunnistetut haasteet.....	67
6.5	Tekoäly osana Esineiden Internettiä	71
6.6	Muut havainnot	72
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	73
7.1	Esineiden internet -teknologian arvonluonti vihreän rakentamisen liiketoimintamallin osa-alueilla	73
7.1.1	Arvolupaus.....	76
7.1.2	Avainresurssit, -prosessit ja -kumppanuudet.....	78
7.1.3	Asiakassuhteet, Asiakassegmentit & Jakelukanavat.....	80
7.1.4	Kustannusrakenne ja tulovirrat.....	81
7.2	Liiketoimintamallin kokonaisvaltainen muutos	83
8	YHTEENVETO	87
8.1	Rajoitteet.....	88
8.2	Kontribuutio ja jatkotutkimusaiheet.....	89
	LÄHTEET.....	91
	LIITE 1: TOUREETTINEN VIITEKEHYS LÄHTEINEEN.....	102
	LIITE 1: HAASTATTELUKYSYMYKSET	103

KÄSITEHAKEMISTO

AI (Artificial Intelligence, Tekoäly, Keinoäly): Tietokone tai tietokoneohjelma, joka kykenee tekemään ihmisen älyn kaltaisia päätöksiä, kuten analysointia.

Aliurakoitsija: Henkilö, joka toteuttaa urakoitsijan työtä.

Big Data: Suuret, järjestelemättömät, jatkuvasti lisääntyvät tietomassat.

BIM: Rakennustietomalli, joka esittää rakennuskohteen ja tämän ominaisuustiedot digitaalisesti kolmiulotteisessa muodossa.

Datan Integraatio: Erilaisten tietolähteiden yhdistäminen yhdeksi kokonaisuudeksi.

Data-analyysi: Prosessi, jossa analysoidaan, kerätään, järjestetään ja tallennetaan raakadataa merkityksellisten havaintojen saavuttamiseksi.

Ekosysteemi: Verkostot, joissa digitaalisessa ympäristöissä toimivat kumppanit luovat, lunastavat ja jakavat keskenään arvoa.

Energiatehokkuus: Energian käyttö vain tarvittava määrä, minimoiden hukkaa.

IoT (Internet of Things, Esineiden Internet): Toisiinsa liitetyt tietotekniset laitteet, jotka voivat kerätä ja siirtää dataa langattoman verkon kautta automaattisesti.

Kestävä Kehitys: Kehityksen muoto, jonka tavoitteena on turvata nykyisille ja tuleville sukupolville hyvät elämisen mahdollisuudet.

LoRa (Long Range): Pitkän kantaman langaton viestintäteknologia.

Pilvipalvelut (Cloud Services): Verkon välityksellä tarjotut datan tallennus- ja käsittelypalvelut.

RFID (Radio-Frequency Identification): Radiotaajuuksia hyödyntävä etätunnistusteknologia.

Sensori: Laite, jolla mitataan fyysisiä suureita.

Urakoitsija: Rakennushankkeen tilaajan osapuoli, jonka tarkoituksena on saada sopimuksen mukainen tuote valmiiksi.

Vihreä Rakentaminen: Ympäristöystävälliset ja kestävän kehityksen mukaiset rakennusmenetelmät.

1 JOHDANTO

Viime vuosikymmenten aikana kasvaneet ympäristöhaasteet ja syvempi perehtyminen ympäristönäkökulmiin ovat tuoneet vihreät käytänteet entistä merkittävämpään rooliin lukuisilla toimialoilla. Muutos näkyy myös rakennusalalla. Vihreään rakentamiseen on kiinnitetty paljon huomiota rakennusteollisuuden aiheuttamien ympäristövaikutuksien sekä muihin aloihin verrattuna hitaan kestävä kehityksen omaksumisen johdosta (Myers, 2005).

Rakennusalalla on siirrytty kohti vihreämpiä toimintatapoja tarkoituksena vähentää rakennusteollisuudessa syntyvää ympäristökuormaa. Tätä rakennustapaa kutsutaan vihreäksi rakentamiseksi. Vihreälle rakentamiselle tyypillistä on uusiutuvien energialähteiden hyödyntäminen rakentamisprosessin aikana, vähähiilisten, energiatehokkaiden materiaalien sekä kiertotalousratkaisujen hyödyntäminen (Mokhlesian & Holmén, 2012; Myers, 2005; Patil ym., 2022; YIT, 2021). Vihreä rakentaminen tähtää kokonaisvaltaisesti rakennuksen koko elinkaaren aikaisten hiilidioksidipäästöjen vähentämiseen. Vihreä rakentaminen yleistyy kovaa vauhtia ja sitä ohjataan myös säännöksillä. Esimerkiksi Suomessa astuu voimaan vuonna 2025 lakimuutos, joka asettaa vaatimuksia rakennusteollisuudelle ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi (Ympäristöministeriö, 2023.)

Rakennusala tunnetaan maailmanlaajuisesti alhaisista kustannushyödyistä ja pyrkimyksestä nopeisiin voittoihin (Aho, 2013; Pekuri ym., 2014). Usein tuotosten lisäämiseksi keskitytään yksinomaan kustannusten karsimiseen (Abuzeinab ym., 2018). Tämän johdosta rakennusala on tunnettu laajalti heikon tuottavuuden alana (Khurshid ym., 2023). Vaikka esineiden internet (eng. Internet of Things, IoT) -teknologian hyödyt ovat hyvin tunnistettuja, syvällisempi tarkastelu siitä, kuinka IoT tukee vihreän rakentamisen liiketoimintamalleja ja edistää kestävää arvonluontia, on jäänyt vajavaiseksi. Vihreän rakentamisen perusteellisempi tutkimus on tärkeää, sillä siirtyminen perinteisestä rakentamisesta vihreisiin menetelmiin muuttaa olennaisesti sekä arvonmuodostusta että kustannusrakennetta (Mokhlesian & Holmén, 2012).

IoT mahdollistaa fyysisten laitteiden, kuten sensorien ja toiminnanohjausjärjestelmien yhdistämisen internetin välityksellä toimivaan verkostoon. Tämä verkosto tukee datan keräämistä, käsittelyä, jakamista ja joissain tapauksissa

myös laitteiden etähallintaa. IoT-laitteet mahdollistavat reaaliaikaisen tiedonkeruun ja analysoinnin rakennusprosessin eri vaiheissa, mikä on erityisen tärkeää vihreässä rakentamisessa. Sensorit voivat kerätä tietoa esimerkiksi lämpötilasta, energiankulutuksesta, liikkeestä ja valaistuksesta, jotka ovat keskeisiä tekijöitä ympäristöystävällisessä rakentamisessa (Mokhlesian & Holmén, 2012).

Huolimatta Babunin (2021) ja Gamlinin sekä kumppaneiden (2020) tutkimuksista, jotka osoittavat kuinka IoT parantaa tuottavuutta rakennusalalla, teknologian käyttöönotto on yhä vähäistä. Rakennusala on itse asiassa ainoa ala, joka omaksuu IoT-teknologiaa erityisen hitaasti (Khurshid ym., 2023). Tämän tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa esteet IoT:n laajemmalle käyttöönotolle rakennusalalla ja kehittää strategioita näiden haasteiden voittamiseksi.

Lisäksi tämä tutkimus pyrkii selvittämään, miten IoT-teknologia muuttaa vihreän rakentamisen liiketoimintamalleja arvonluonnin näkökulmasta. Arvonluonnin näkökulma on tärkeä, sillä vihreän rakentamisen liiketoimintamallit keskittyvät liiketoimintaan, jonka perustana toimii ympäristöystävällisen arvon luominen ja talteenotto (Abuzeinab ym., 2018). Nämä mallit on suunniteltu sisällyttämään ympäristönäkökohdat suoraan kaupalliseen toimintaan, varmistamaan, että kestävyys ei ole vain lisäarvo, vaan liiketoimintastrategian pääkomponentti. Lisäksi tällainen lähestymistapa mahdollistaa yrityksille taloudellisen arvon tuottamisen samalla, kun ne vastaavat ympäristöhaasteisiin ja edistävät kestävämpää tulevaisuutta. Tällä rajauksella voidaan muodostaa seuraavat tutkimuskysymykset

1. *Miten IoT-teknologian hyödyntäminen vihreissä rakennushankkeissa luo arvoa rakennusalalla?*
2. *Miten IoT-teknologia voi uudistaa vihreän rakentamisen liiketoimintamallia ja sen arvolupausta?*

Tutkimus käsittelee rakennushankkeita prosessien näkökulmasta, keskittyen erityisesti arvonluontiin koko hankkeen elinkaaren aikana. Elinkaari alkaa suunnitteluvaiheen yleiskatsauksesta ja päättyy rakennusten mahdolliseen jatkoseurantaan. Tutkimus jättää käsittelyn ulkopuolelle syvemmän perehtymisen materiaallivalintoihin ja suunnitteluun liittyen. Fokuksessa ovat ensisijaisesti kiinteistöarakentamisen prosessit, pois lukien infrastruktuurin rakentaminen, kuten sillat, raideverkot, viheralueet ja vesihuolto. Sidosryhmien näkökulman sisällyttäminen perustuu Olanderin (2007) ja Prabhun (2016) tutkimuksiin, jotka korostavat rakennusalalla toimivien moninaisten sidosryhmien merkitystä ja kasvavaa vaikutusta.

Teoreettinen osuus tutkimuksesta toteutettiin narratiivisena kirjallisuuskatsauksena, joka keskittyi IoT:n rooliin ja merkitykseen rakennusalalla sekä arvonluonnin teoreettisiin näkökulmiin. Katsaus tarjosi syvällisen ymmärryksen siitä, miten IoT vaikuttaa rakennusalan prosesseihin, parantaa tehokkuutta ja edistää kestävä kehityksen tavoitteita. Katsauksessa käsiteltiin vihreän rakentamisen käsitettä ja miten IoT tukee ympäristöystävällisempiä rakennusmenetelmiä ja -materiaaleja. Lisäksi analysoitiin IoT:n mahdollisuuksia uudistaa rakennusalan liiketoimintamalleja, korostaen teknologian roolia arvonluonnissa sekä sen potentiaalia luoda uusia kilpailuetuja ja markkinamahdollisuuksia. Teoreettinen

osuus loi pohjan empiiriselle tutkimukselle, tarjoten teoreettiset kehykset ja näkökulmat, jotka ohjasivat aineiston keruuta ja analyysia.

Tutkimuksen empiirinen osuus toteutettiin haastattelujen kautta, jotka suoritettiin eri sidosryhmien edustajille rakennusalalla. Haastattelut olivat puolistrukturoituja teemahaastatteluja, mikä mahdollisti syvällisen ja monipuolisen keskustelun haastateltavien kanssa. Haastatteluilla pyrittiin selvittämään, miten IoT-teknologia vaikuttaa arvonluontiin rakennusalalla ja millaisia haasteita sekä mahdollisuuksia teknologia tuo mukanaan. Tämä osio tarjosi kattavan kuvauksen siitä, mikä on alan suhtautuminen IoT-teknologiaan ja mitkä ovat alalla merkittävät kompastuskivet, ja niiden kautta syntyvät arvonluontimahdollisuudet vihreässä rakentamisessa. Hirsjärven ja Hurmeen (2022) mukaan haastattelu aineistonkeruumuotona on joustava ja palvelee monialaista tutkimusta hyvin. Puolistrukturoitu teemahaastattelu on valikoitu vastaajien diversiteetin vuoksi, sillä eri sidosryhmien edustajien arvioitiin painottavan eri asioita vastauksistaan. Vastauksia ei haluttu rajata tiukkaan mahdollisimman kattavan aineiston saamiseksi.

Tutkimuksen empiirisessä osiossa tutkittiin IoT-teknologian ominaisuuksia, arvonluontipotentialia ja sen nykyistä käyttöä rakennusalalla. Teoreettisessa osassa toteutettiin narratiivinen kirjallisuuskatsaus, jonka tavoitteena oli luoda kattava perusta IoT-teknologian roolille ja merkitykselle rakennusalalla. Tämä kirjallisuuskatsaus tarjosi perusteellisen käsityksen rakennusalan nykytilanteesta, toimintaympäristöstä ja arvonluonnin dynamiikasta, keskiössä oli erityisesti tutkiminen, miten IoT osallistuu ja edistää näiden tekijöiden kehittymistä. Katsauksessa käytiin läpi arvonluonnin eri muotoja ja tarkasteltiin, miten IoT-teknologia voi avata uusia väyliä arvon tuottamiseen rakennusalalla, eritoten vihreää rakentamista silmällä pitäen. Arvonluonti analysoitiin sekä organisaa-tion että yhteiskunnan näkökulmasta, mutta syvemmin tutkittiin, miten arvo muodostuu liiketoiminnan ja sidosryhmien kannalta. Tutkimuksessa selvitettiin arvon eri ilmenemismuotoja ja miten arvonluontia voidaan mitata. Lopulta tarkasteltiin, kuinka IoT ja vihreä rakentaminen yhdessä vaikuttavat arvonluontiin rakennusalalla, tuoden esiin sekä yleiset että teknologiaspesifiset arvonluonnin näkökohdat.

Teoriaosion perusteella saatiin selville, että IoT-teknologiasta on jonkinasteista näyttöä rakennusalan prosessien vauhdittamisessa. Suurimmat teknologian tarjoamat arvonluontimahdollisuudet keskittyvät prosessien tehostamiseen ja resurssien optimointiin. Virtaviivaistaminen ja etenkin teknologian reaaliaikainen tiedonsiirto tarjoavat käyttötarkoituksia, jotka edesauttavat rakennusalan toimia merkittävästi.

Teknologian kuvattiin omaavan merkittäviä hyötyjä, mutta myös haasteita. Näitä olivat esimerkiksi haastava käyttö ja luottamusongelmat teknologiaa kohtaan. Lisäksi alan konservatiivisen luonteen on osoitettu aiheuttavan haastetta uusien teknologioiden implementoinnille. Vihreässä rakentamisessa korostuvat samat arvonluonnin keinot, kuin perinteisessä rakentamisessa, mutta teknologialla on kyvykkyys tehostaa rakennusten ympäristöystävällisyyttä esimerkiksi materiaalien seurannan ja energiankulutuksen automaatioiden myötä. Empiirisen osion tulokset mukailivat havaintoja ja teoriaa merkittävästi. Tulokset puhui-

vat teknologian puolesta, korostaen tämän mahdollisuuksia muuttaa alaa ja vihreää rakentamista merkittävästi. Suurimmat arvonluonnin muodot painottuivat aika ja kustannussäästöihin, mutta lisäksi tuloksissa erityisesti reaaliaikaisen seurannan mahdollistamat arvonluontikeinot liittyen turvallisuuteen, laadunvarmistukseen, ennaltaehkäisyyn ja tuottavuuden lisäämiseen.

Tutkielma koostuu kahdeksasta luvusta, jotka ovat Rakennusalan luonne, Esineiden Internet teknologiana, Arvonluonti, tutkimusmenetelmät, tulokset, pohdinta ja yhteenvedo. Ensimmäinen sisältöluke keskittyy kartoittamaan rakennusalan peruspiirteitä ja huomioita asioista, jotka vaikuttavat arvonluontiin alalla. Toinen sisältöluke käsittelee Esineiden internet -teknologiaa, painottaen tämän teknologisia kyvykkyyksiä, jotka toimivat perustana arvonluonnille. Kolmas sisältöluke syventyy tarkastelemaan arvonluontia ilmiönä, kuvaten arvonluonnin muotoja, mittareita ja teoriaa. Viides luku esittelee tutkimus- ja analyysimenetelmät perustellen niiden valinnan tämän tutkimuksen kontekstissa. Kuudes luku esittelee empiirisen osion tutkimuksen tulokset. Seitsemäs luku keskittyy kokoamaan yhteen havainnot teoriaosuudesta ja vertaamaan empiirisen osion havaintoja yhteen aiempien havaintojen kanssa. Viimeinen eli kahdeksas luku keskittyy tarkastelemaan tutkimusta syvällisemmin kokonaisuutena ja nostaa esille tutkimuksen rajoitteet ja muut huomiot sekä yhteenvedon.

2 RAKENNUSALA

Tässä osiossa keskitytään rakennusalan nykytilan monipuoliseen tarkasteluun, huomioiden taloudelliset, ympäristölliset ja teknologiset ulottuvuudet. Tavoitteena on eritellä rakennusalan nykypäivän käytännöt, markkinoiden toimintamekanismit sekä kestävä kehityksen periaatteiden toteutuminen alalla tällä hetkellä ja tulevaisuudessa.

Lisäksi tavoitteena on tunnistaa ja analysoida alan kohtaamia keskeisiä haasteita. Näin ollen luoden perustan teknologian integraation ja arvonluonnin strategioiden käyttöönotolle, tarjoten samalla mahdollisia ratkaisuja havaittuihin ongelmiin.

2.1 Rakennusala yleisesti

Rakennusala poikkeaa monin tavoin muista toimialoista. Ensimmäisen asiakas-kontaktin ja varsinaisen kaupan päättämisen välillä saattaa kulua kuukausia tai jopa vuosia. Tämä on seurausta siitä, että rakennusprojektit usein vaativat perusteellista suunnittelua ja valmistelua, ennen kaupan syntymistä. Tarjouspyynnöt, tarjousten jättäminen ja vastatarjoukset ovat keskeinen osa rakennusalan ostoprosessia (Ventovuori ym., 2002).

Rakennusalalla asiakkaita ja myyjiä on suhteellisen vähän, ja usein he tuntevat toisensa hyvin. Edellytyksenä myyjiltä on hyvä tekninen tietämys ja totuuspuolella edellytyksenä on erikoisosaaminen ja ammattitaito. Erona myös muihin aloihin, rakennusalalla asiakkaat eivät usein osta omaan kulutukseensa, vaan keskittyvät pääsääntöisesti yritysten ja organisaatioiden tarpeisiin. Kertaostot ovat luonteeltaan suuria ja strategisesti merkittäviä, ja ne vaativat huolellista suunnittelua ja harkintaa. Rakennushankkeen ostamiseen osallistuu useat tahot ja päätöksiä tehdään usein tiimien tai ylempien tahojen tasolla, jolloin päätöksenteko monimutkaistuu (Ventovuori ym., 2002.) Rakennusalalla ostajilla on usein tarkat osto-ohjeet, eli spesifikaatiot ja tuotteet ovat kompleksisia. Myyntityö myös usein on haastavampaa, kuin esimerkiksi kulutushyödykkeiden kohdalla (Ventovuori ym., 2002).

Rakentamisprojektissa asiakkaalle ei myydä ja toimiteta ainoastaan lopputuotetta eli valmista kohdetta tai rakennuspalvelua, vaan kokonainen palveluprosessi (Ventovuori, 2003). Rakennustuotannossa perimmäinen tavoite on vastata asiakkaan erilaisiin tarpeisiin. Näitä tarpeita voivat olla esimerkiksi asuminen, liiketoiminta, vapaa-aika ja yhteiskunnalliset palvelut. Toiminnan ytimessä on kysynnän ja tarjonnan kohtaaminen, jotka ohjailevat rakennusprojektien toteutusta. Toiminnan ytimessä on lopputuotos, joka palvelee ihmisten ja yhteisöjen monialaisia tarpeita (Ventovuori ym., 2002). Rakennushanke itsessään on monitahoinen kokonaisuus, jossa eri osapuolet työskentelevät yhdessä koko projektin ajan. Samanaikaisuus erottaa rakennusprojektit perinteisistä tuotantoprosesseista, joissa tyypillisimmin osapuolet toimivat itsenäisinä tekijöinä (Ventovuori, 2003).

2.2 Rakennusala tulevaisuudessa

Kuten monet muut toimialat, rakennusala on tällä hetkellä murroksessa niin talous-, kuin ympäristönäkökulmasta katsottuna. Erona tähän on, että rakennusala ja etenkin uudisrakentaminen nähdään olevan vahvasti sidonnaisia taloudellisiin haasteisiin (Ekström, 2023.) Tulevaisuudessa useiden alojen kohdatessa muutoksia liittyen kiertotalouden, vähähiilisyyden ja kestäväen kehityksen myötä, on rakennusala yksi merkittävimmistä aloista, johon katset tulevat kohdistumaan. Meiselsin ja kumppanien (2024) tutkimus korostaa, kuinka kestävät toimintaperiaatteet ovat muodostuneet rakennusalalla yhdeksi keskeiseksi tekijäksi. Tämän kehityksen taustalla on muun muassa se tosiasia, että rakennukset ovat suuria energiankuluttajia ja merkittäviä päästöjen lähteitä. Tämä on johtanut siihen, että alalla on alettu entistä enemmän painottaa vihreitä käytäntöjä ja pyrkiä vähentämään rakennusten ympäristövaikutuksia. Ala pyrkii vähentämään hiilijalanjälkeään esimerkiksi innovaatioiden ja uusiutuvien materiaalien sekä energianlähteiden kautta. Vihreä rakentaminen ja energiatehokkuus ovat avainasemassa rakennusteollisuudessa ympäristökriisin hillitsemiseksi ja vihreiden käytänteiden merkityksen ja edellytysten odotetaan kasvavan yhä tärkeämmäksi tulevaisuudessa (Meisels ym., 2024).

Darko ja Chan (2016) ovat havainneet, että kestävä kehitys otetaan yhä enemmän huomioon rakennusalalla. Tämä ilmenee kasvavana mielenkiintona vihreään rakentamiseen liittyvää tutkimusta kohtaan. Heidän analyysinsä mukaan tällaisen tutkimuksen keskiössä ovat vihreiden rakennushankkeiden toteutus, erilaiset sertifikaatit, energiatehokkuuden parantaminen sekä uusien teknologioiden hyödyntäminen. Begićin ja Galićin (2021) mukaan rakennustietomalli (eng. Building Information Modeling, BIM) on yksi niistä avaintekijöistä, jotka ajavat rakennusalalla teknologista muutosta. Tämä teknologinen vallankumous tunnetaan myös nimellä Rakennusala 4.0 (eng. Construction 4.0). BIM:n yhdistäminen IoT-teknologiaan on tärkeää, sillä tämä liitto tarjoaa rakennusprojekteihin lisäarvoa tarjoamalla tehostuneen pääsyn ja hallinnan tietoon. Erityisesti reaaliaikainen seuranta ja tehostunut viestintä, sekä tiedon analyysi ovat merkittäviä etuja, jotka tukevat esimerkiksi rakennesuunnittelua ja mallintamista. Tämä avaa

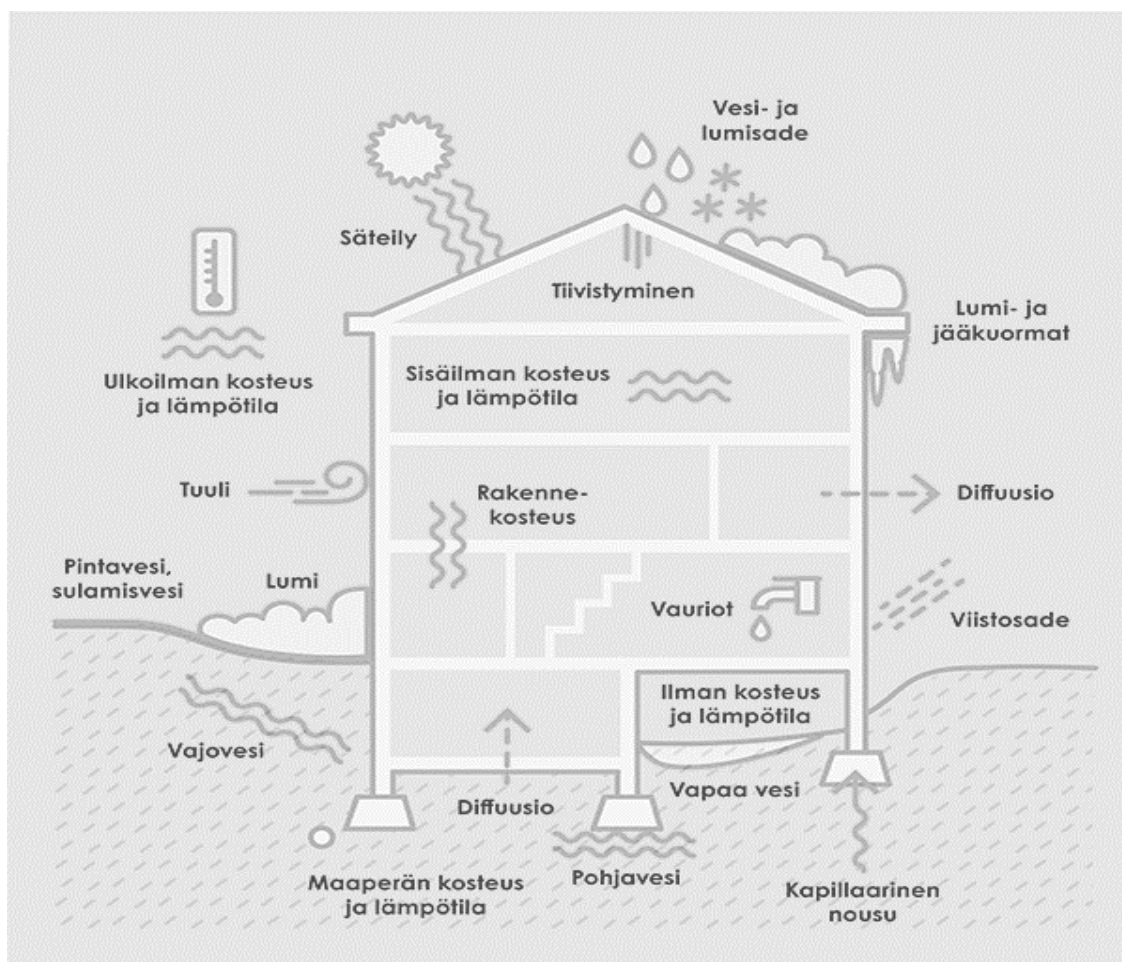
uusia mahdollisuuksia projektien tehokkaampaan hallintaan ja samalla avaa resursseja vihreän rakentamisen periaatteiden toteuttamiseen (Begić & Galić, 2021).

2.3 Rakennusalan tunnistetut haasteet

Viime vuosina rakennusala on kokenut inflaation vaikutukset voimakkaasti. Meiselsin ja kumppaneiden (2024) mukaan rakennusteollisuudessa havaittu kasvu vuonna 2023 johtui enimmäkseen materiaalien ja muiden kustannusten hintojen noususta, ei tuotantomäärien kasvusta. Heidän mukaansa ala kohtaa haasteita jatkuvan inflaation, materiaalikustannusten epävarmuuden ja nousevien työvoimakustannusten myötä. Lisäksi rakennusalan toimintaa globaalisti rajoittavat ammattitaitoisen työvoiman puute, korkeat korkotasot sekä lainanantostandardien kiristyminen (Meisels ym., 2024).

Haastavat olosuhteet johtavat usein kiristyneeseen kilpailutilanteeseen. Kiristynyt kilpailu toimii samalla katalyyttinä tarpeelle innovoida ja muokata nykyisiä toimintaperiaatteita toiveena saavuttaa kilpailuetu ja vahvempi markkina-asema. Muiden alojen, kuten terveydenhuollon, koulutuksen, teollisuuden sekä logistiikan kohdalla teknologiset innovaatiot ja näiden implementaatio ovat lisääntyneet huomattavasti teknologisen kehityksen myötä. Tämä on seurausta viestinnän ja tuottavuuden tehostumisesta. Rakennusala kuitenkin tukeutuu vahvasti valmistuotteiden kuluttamiseen, eikä teknologinen harppaus ole mahdollistanut vastaavia muutoksia (World Economic Forum, 2016.) Rakennusala on myös historiallisesti ollut yksi hitaimmista aloista omaksumaan innovaatioita ja etenkin digitalisaatiota (Luis Blanco ym., 2023). Rakennusosalalla varovainen suhtautuminen innovaatioihin ja niiden sisältämiin riskeihin voi olla yksi keskeinen syy uusien teknologioiden hitaaseen käyttöönottoon. Innovatiiviset ratkaisut voivat tuoda mukanaan taloudellisia, teknisiä ja operatiivisia riskejä, joita on tärkeä hallita ja pyrkiä systemaattisesti minimoimaan. Erityisesti ne yritykset, jotka ottavat käyttöön uusia innovaatioita ensimmäisten joukossa, tarvitsevat vahvan strategian epävarmuuden hallitsemiseksi. Tämä edellyttää huolellista suunnittelua, jossa uusien teknologioiden potentiaaliset vaikutukset nykyisiin järjestelmiin ja prosesseihin arvioidaan huolellisesti (Slaughter, 2000).

Rakennusala kohtaa myös monia haasteita, jotka ulottuvat taloudellisten ja hallinnollisten tekijöiden ulkopuolelle. Erityisesti sääolosuhteet, luonnonkatastrofit ja työmaiden sijaintien erityispiirteet tuovat lisähaasteita alalle. Esimerkiksi Suomessa pitkät ja kylmät talvet merkittävästi vaikuttavat rakennusprojektien aikatauluihin ja kustannuksiin. Sään ääri-ilmiöt, kuten voimakkaat tuulet ja rankkasateet haastavat rakennusala Suomessa (RALA ry, 2024). Nämä voivat aiheuttaa merkittäviä vaurioita rakennuksille niin rakennusprosessin aikana kuin tämän jälkeen pitkin rakennuksen elinkaaren eri vaiheita. Rakennukset ovat siis alttiita monille eri luonnonvoimille ks. (KUVIO 1) kuten esimerkiksi pohjaveden liikkeille, maaperän kosteudelle ja lämpötilan muutosten aiheuttamille tapahtumasarjoille. Rakennekosteus, lumi- ja jääkuormat ovat myös tekijöitä, jotka huomioimattomana saattavat aiheuttaa merkittäviä vaurioita.



KUVIO 1: Rakennusten kohtaamat luonnonvoimat (RALA ry, 2024)

On siis selvää, ettei rakennusalalle ole luonteensa puolesta helppoa sisällyttää uusia käytänteitä ja toimintatapoja. Konservatiivinen luonne ja äkilliset muutokset järjestyttävät vakaisiin, muuttumattomiin oloihin suunniteltuja ratkaisuja. Lisäksi rakennusala kuitenkin on pakotettu muuttumaan kohti kestävämpiä, vihreämpiä ratkaisuja siinä missä muutkin. Talouden aspektien näytellessä suurta roolia, nousee tarve myös innovaatiolle ja prosessien tehostamiselle.

2.4 Vihreä rakentaminen

Kestävän kehityksen tavoitteiden saavuttaminen rakentamisessa edellyttää, että ympäristön, talouden ja sosiaalisen näkökulman peruseriaatteet pidetään tasapainossa huolellisesti. Ympäristönäkökulma korostaa rakentamisen ympäristövaikutusten minimoimista, luonnonvarojen kestäväää käyttöä sekä ekosysteemien suojelua. Taloudellisessa näkökulmassa keskitytään rakentamisen kustannustehokkuuteen, pitkän aikavälin säästöihin ja investointien kannattavuuteen.

Sosiaalinen näkökulma puolestaan painottaa ihmisten hyvinvointia, oikeudenmukaisuutta ja yhteisöjen elinvoimaisuuden tukemista. Nämä periaatteet muodostavat vihreän rakentamisen ydinarvot, joiden avulla voidaan edistää ja seurata kestävästä kehitystä rakennusprojekteissa (Hussin ym., 2013.)

Rakennusalan ollessa yksi suurimmista ympäristöä kuormittavista toimialoista, on ala pakotettu mukautumaan ja muuttumaan samalla tavalla kuin monet muut toimialat. Tästä syystä alalla on alettu kiinnittää huomiota vihreisiin toimintaperiaatteisiin eri tavoin. Eräs keskeinen keino viestiä vihreästä rakentamisesta ja edistää sitä on ympäristöluokitusten käyttö (Casini, 2021). Ympäristöluokitukset ja ympäristösertifiointijärjestelmät on kehitetty työkaluiksi, jotka auttavat mittaamaan, todentamaan ja vertailemaan ympäristötehokkuutta, tarjoten näin konkreettisen tavan arvioida ja parantaa rakennushankkeiden ympäristövaikutuksia.

Sertifioinnin kiintopisteinä toimii ympäristöystävällisten ja energiatehokaiden materiaalien hyödyntäminen, kierrätettävyys ja kierrätys sekä yleinen tehokkuus (Green Building Council Finland ry, 2024). Sertifiointijärjestelmät, kuten globaalit LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) tai enemmän Suomessa käytössä olevat rakennustiedon ympäristöluokitus ja Joutsenmerkki, tarjoavat selkeitä ohjeistuksia ja kriteereitä, jotka auttavat muotoilemaan kestävämpiä rakennusprojekteja ja edistämään ympäristötietoista rakentamista (Green Building Council Finland ry, 2024).

2.4.1 Vihreän rakentamisen liiketoimintamalli

Vihreän siirtymän pakottaessa muuttamaan käytänteitä, myös liiketoimintamallia joudutaan muokkaamaan. Liiketoimintamallin kuvaamista käsitellään usein Alexander Osterwalderin kehittämän Business Model Canvas -työkalun avulla. Business Model Canvas kartoittaa liiketoimintamallin tärkeimmät elementit yhteen kuvaan, joka auttaa samalla tarkastelemaan liiketoimintamallin elementtejä arvonluonnin näkökulmasta. Malli jakaa liiketoiminnan osa-alueisiin: asiakkaat, arvolupaukset, jakelukanavat, kumppanuudet, tulovirrat, avainresurssit, avainprosessit, asiakassuhteet ja kustannusrakenne. Malli voidaan jakaa arvon tuottamisen näkökulmasta kohtiin: miten arvonluonti on organisoitu, millä arvoa tuotetaan ja kenelle arvoa tuotetaan (KUVIO 2).

Miten arvontuottaminen organisoidaan?		Millä arvo tuotetaan?		Kenelle arvo tuotetaan?
Avainkumpanit	Avainprosessit	Arvolupaus	Asiakassuhteet	Asiakassegmentit
Kenen kanssa teemme yhteistyötä	Miten tuote tai palvelu toteutetaan?	Minkä asiakkaan tarpeen/ongelman tuote ratkaisee? Mikä on tuote?	Minkälaista asiakassuhdetta tärkeimmät asiakasryhmät odottavat?	Kenelle arvo tuotetaan? Ketkä ovat tärkeimmät asiakkaat?
	Avainresurssit		Jakelukanavat	
	Mitä resursseja arvolupauksen täyttäminen vaatii		Miten asiakas saavutetaan?	
Kustannusrakenne		Tulovirrat		
Mitkä ovat liiketoiminnan keskeiset kustannukset		Mistä tuotetusta arvosta asiakas on valmis maksamaan		
Miten malli tuottaa ansaintaa?				

KUVIO 2: Business Model Canvas arvonaluonnin näkökulmasta (Kupiainen, 2021)

Mokhlesianin ja Holménin (2012) tutkimus vihreästä rakentamisesta korostaa, kuinka keskeisiä arvon muodostus, yrityksen kyvykkyydet ja kumppaniverkot ovat alalla. Nämä elementit ovat tärkeitä vihreän rakentamisen edistämässä, mutta toisaalta niiden muokkaaminen yrityksissä voi osoittautua haastavaksi. Tämä osoittaa, että vihreään rakentamiseen siirtyminen ei ole pelkästään tekninen tai taloudellinen prosessi, vaan se vaatii myös perusteellisia muutoksia yrityksen liiketoimintamallissa. Lisäksi tutkimuksessa korostetaan, että kun yksi liiketoimintamallin elementti muuttuu, se saattaa vaatia tai aiheuttaa merkittäviä muutoksia myös muissa elementeissä, jotta koko liiketoimintamalli pysyy toimivana. Tämä on usein nähtävillä erityisesti arvolupauksen, kyvykkyyksien ja kustannusrakenteen kohdalla, sillä nämä ovat keskenään tiiviisti yhteydessä. Muutos yhdessä näistä osa-alueista voi siis edellyttää muutoksia toisissa, mikä samalla osoittaa liiketoimintamallin päivittämisen monimutkaisuuden vihreään rakentamiseen siirryttäessä (Mokhlesian & Holmén, 2012).

Vihreän rakentamisen toimintamalli muodostaa monimuotoisen ja monikerroksisen kokonaisuuden, joka haastaa perinteisiä rakentamisen käytäntöjä. Vihreään rakentamiseen sovellettavien arvonaluontiperiaatteiden tulee ottaa huomioon laajempi ympäristöllinen, taloudellinen ja sosiaalinen konteksti. Tämä tarkoittaa, että vihreän rakentamisen edistämiseksi ei riitä ainoastaan keskittyminen yksittäisiin teknologioihin tai materiaalivalintoihin, vaan on tärkeää ymmärtää ja uudelleenarvioida koko rakennusprojektin liiketoimintamalli.

Vihreän rakentamisen liiketoimintamalli koostuu viidestä elementistä, jotka ovat hyvin samankaltaisia Business Model Canvas -mallin kanssa. Vihreän rakentamisen toimintamallissa keskeisiä ovat:

- (Vihreä) Arvolupaus (GVP)
- Kohderyhmä (TG)
- Avaintoiminnot (KA)
- Avainresurssit (KR)
- Tulovirrat ja ansaintalogiikka (FL)

Mokhlesianin ja Holmenin (2012) mukaan vihreän rakentamisen liiketoimintamallissa suurimman muutoksen erona perinteiseen rakentamisen liiketoimintamalliin kokee arvonluonnin, kumppaniverkostojen ja avainosaaminen ulottuvuudet. Arvolupaus on merkittävä osa arvonluonnin ulottuvuutta liiketoimintamallissa, sillä tämä määrittää asiakkaalle viestittävää, hänen odottamaansa hyötyä tuotteen tai palvelun käytön seurauksena. Vihreän rakentamisen liiketoimintamallissa arvolupauksen perustana usein toimii ympäristöystävällisemmät käytännöt. Näitä käytäntöjä voivat olla niin materiaalit, työtavat kuin tuotteen kokonaiselinkaari päättyvät. Presleyn ja Meaden (2010) mukaan rakennusteollisuudessa arvolupauksessa tuotteella on kolme erityisen tärkeää asiaa:

- Rakennuksen varsinainen ympäristökestävyys voi esiintyä eri vaiheissa
- Rakennuksen odotettu käyttöikä saattaa siirtää varsinaisen ympäristövaikutuksen selviämistä kauemmaksi tulevaisuuteen
- Rakennettu ympäristö on suunniteltu osaksi kiertotaloutta eli materiaalit ovat uudelleenkäytettävissä rakennuksen elinkaaren loppuvaiheessa.

Näiden seikkojen myötä on tärkeä tiedostaa, että arvolupaus, etenkin ympäristökuorma voi joissain tilanteissa olla haastava hahmottaa asiakkaalle. Hahmottamista helpottavat havainnollistamista tukevat prosessit, kuten vihreä suunnittelu. Huomionarvoista silti on, että asiakkaat eivät osta tuotteen tai palvelun ominaisuuksia, vaan niiden tuomia hyötyjä (Abuzeinab ym., 2018). Tärkeää on siis korostaa myös vihreään rakentamiseen liittyviä muita hyötyjä eri sidosryhmien kesken. Kohderyhmän eli asiakasryhmien ulottuvuuden on ennustettu muuttuvan hieman, lähinnä asiakasryhmien on taipumusta mukaan ajautua enemmän kohti vihreitä arvoja edustavia asiakasryhmiä (Bossink, 2002). Huomioitavaa on myös, että osa asiakasryhmistä on vahvasti kustannusorientoituneita (Ball, 2002), jolloin on odotettavaa ettei kaikkia asiakasryhmiä kiinnosta vihreät ominaisuudet (Mokhlesian & Holmén, 2012).

Avaintoiminnoilla tarkoitetaan yrityksen tärkeimpiä toimintoja, joilla luodaan arvoa asiakkaille. Vihreässä rakentamisessa esimerkiksi vihreällä suunnittelulla tai kestävän kehityksen periaatteiden mukainen materiaalien valmistus ja suunnittelu ovat yksi merkittävistä keinoista yritykselle luoda arvoa vihreässä liiketoiminnassa (Haddadi ym., 2016). Yksi merkittävistä avaintoiminnoista vih-

reässä rakentamisessa on kyvykkyydet. Vihreä rakentaminen vaatii erikoisosamista ja tietämystä toisin sanoen kyvykkyyksiä, joita organisaatiolta ei välttämättä löydy. Yksi ratkaisu tähän voi olla kumppaniverkoston hyödyntäminen, sillä usein rakennusteollisuudessa pyritään hakemaan puuttuvia kyvykkyyksiä kumppaniverkostoilta tai jopa tämän ulkopuolelta (Bossink, 2011, s. 80). Tällöin korostuu tarve tehostetulle viestinnälle ja huolelliselle suunnittelulle, sillä rakennusprojektiin palkatun ulkoisen työvoiman eli aliurakoitsijoiden täytyy olla riittävän perillä hankkeen tilasta ja tavoitteista.

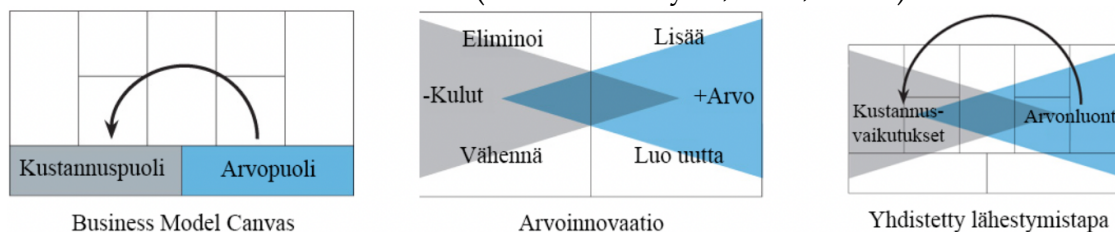
Liiketoimintamallin osio tulovirrat ja ansaintalogiikka, kuvaa kaikkien liiketoimintamallissa esiintyvien keinojen taloudellista arviointia. Aiemmin huomattiin, että vihreän rakentamisen kontekstissa vallitsee lisääntyneet kustannukset etenkin materiaalien osalta. Todettiin myös, että vihreässä rakentamisessa, resurssien tehokas hyödyntäminen, niiden uusiokäyttö sekä jätteiden käsittely ovat keskeisiä toimia kestävässä kehityksessä. Nämä toimet voivat kuitenkin olla haastavia, sillä jo alkuvaiheessa voi ilmetä lisääntyneitä kustannuksia, jotka saattavat pahimmillaan jopa estää rakennusalan yrityksiä omaksumasta vihreän rakentamisen periaatteita (Mokhlesian & Holmén, 2012). Presley ja Meade (2010) esittävät toisen tärkeän epävarmuustekijän liittyen vihreän rakentamisen kustannuksiin. Heidän mukaansa vihreän rakentamisen vielä osittain kypsytymättömän konsepti ja etenkin tämän aiheuttama epävarmuus saattavat aiheuttaa merkittäviä lisäkustannuksia joko asiakkaalle eli tilaajalle tai itse rakennusyritykselle tai sen aliurakoitsijoille.

2.4.2 Sinisen meren strategia ja liiketoimintamalli

Tutkimuksen kannalta on oleellista käydä läpi Osterwalderin ja muiden (2010, ss. 147–148) esittelemä liiketoimintamallin ja sinisen meren strategian yhdistelmä, joka luo tehokkaan välineen liiketoimintamallien uudistamiseksi. Sinisen meren strategia keskittyy luomaan uusia markkinoita ja täten välttämään kilpailijoiden välisiä taisteluja. Sinisen meren strategia pyrkii vähentämään kustannuksia samalla lisäten asiakkaille tarjottavaa arvoa (Kim, 2005). Yang ja Yang (2011) toteavat menestyvän yrityksen määritelmän laajentuneen asiakastyytyväisyydestä arvon luomiseen asiakkaalle. Arvonluonti johtaa molempia osapuolia hyödyttävään taloudelliseen suhteeseen joka tekee yrityksistä taloudellisesti menestyviä samalla edistäen pitkäaikaista kasvua (Yang & Yang, 2011). Aiemmin havaitsimme, että rakennusala on luonteeltaan vaativa, kilpailu on tiukkaa ja toimijoiden piiri melko rajattu. Tämä luo epäilyksen sille, voiko uusien markkinoiden luomiseen tähtäävä malli soveltua tähän tarkoitukseen. Huomioitavaa on, että rakennusala on perinteisesti ollut varsin konservatiivinen, keskittyen enemmän olemassa olevien prosessien ja käytäntöjen tehokkuuden kasvattamiseen kuin radikaalien innovaatioiden etsimiseen. Tämä ajattelutapa voi siis kannustaa yrityksiä hyödyntämään uusia mahdollisuuksia, jotka eivät vain ole taloudellisesti kannattavia vaan myös samalla luovat mahdollisuuden toimia vihreän rakentamisen edelläkävijöinä.

Sinisen meren strategia pyrkii lisäämään arvoa, samalla alentaen kustannuksia tunnistamalla, mitkä arvolupauksen osa-alueet voidaan eliminoida, vä-

hentää, nostaa tai luoda uudelleen. Tätä kutsutaan arvoinnovaatioksi, jonka tarkoituksena on haastaa alan strategista logiikkaa ja vakiintunutta liiketoimintamallia. Arvoinnovaation (ks. KUVIO 3) ensisijainen tavoite on alentaa kustannuksia pienentämällä vähemmän arvokkaiden ominaisuuksien tai palveluiden roolia tai jopa poistaa nämä kokonaan arvolupauksesta. Toinen tavoite on parantaa tai luoda uusia arvoa luovia ominaisuuksia tai palveluita jotka samalla eivät merkittävästi lisää kustannuksia (Osterwalder ym., 2010, s. 147).



KUVIO 3: Business Model Canvas ja sinisen meren strategia viitekehyksen yhdistäminen (Osterwalder ym., 2010, s. 148)

Yläpuolella sijaitsevassa kuviossa on kuvattu kuinka Business Model Canvas ja Sinisen meren strategian viitekehyksen arvoinnovaatio yhdistyvät. Business Model Canvas tarjoaa tehokkaan työkalun, joka auttaa sinisen meren strategiaa luodessa hahmottamaan kuinka eri liiketoimintamallin osa-alueet vaikuttavat toisiinsa. Yhdessä työkalut luovat vankan perustan liiketoiminnan uudelleenarvointiin ja täten kilpailukyvyn tehostamiseen.

Vihreä rakentaminen tarjoaa paljon muutoksia liiketoimintamalleihin, mutta luo samalla myös ratkaistavia ongelmia tai yleisiä huolenaiheita. Merkittävin muutos on uudet toimintatavat ja näiden tuoreesta luonteesta ja muuttuvista valmistus tai suoritusmenetelmistä johtuva epävarmuus, joka heijastuu myös taloudellisena epävarmuutena. Tarkastellaan seuraavaksi, mitkä tekijät johtavat vihreän rakennushankkeen onnistumiseen.

2.4.3 Vihreän rakentamisen onnistumistekijöitä

Vihreän rakentamisen onnistumista ohjaa kolme asiaa: materiaalivalinnat, energiatehokkuus ja päästöt. Materiaalivalintojen merkitys vihreässä rakentamisessa on keskeinen, sillä rakennusprojekteissa käytettävien materiaalien ympäristövaikutukset, uusiutuvuus ja kierrätettävyyden ovat ratkaisevassa asemassa. Energiatehokkuus puolestaan ohjaa rakennusten suunnittelua ja toteutusta, jotta saavutettaisiin mahdollisimman vähäinen energiankulutus ja käytettäisiin uusiutuvia energialähteitä. Rakennusprosessin aikaiset päästöt on myös otettava huomioon. Rakennustyömaiden toiminnan päästöjä on vähennettävä ja niiden toiminnassa on suositettava ympäristöystävällisiä käytäntöjä (Green Building Council Finland ry, 2024).

Darkon ja Chanin (2016) tekemästä kirjallisuuskatsauksesta käy ilmi, että vihreän rakentamisen (GB) hankkeiden onnistumiseen merkittävästi vaikuttavia tekijöitä on tutkittu toistaiseksi suhteellisen vähän. He nostavat esille Lapinskin, Hormanin ja Rileyn (2006) tunnistamat, viisi keskeistä prosessia vihreän rakentamisen onnistumisen edesauttajiksi. Prosessit sisältävät kestävien tavoitteiden

arvioinnin ja käyttöönoton jo projektin alkuvaiheessa, kestävästä kehitystä tukevien rakennusominaisuuksien tunnistamisen. Lisäksi onnistumistekijöihin kuuluvat kestävien tavoitteiden yhdistämisen osaksi liiketoimintalogiikkaa, tiimien tavoitteiden yhteensovittamista ja kokeneen suunnittelu- ja rakennustiimin valinta.

On myös tärkeää, että yritykset ja toimijat rakennusalalla pyrkivät jatkuvasti kehittämään kyvykkyyksiään, rakentamaan kestäviä kumppaniverkostoja ja uudistamaan arvolupauksiaan vastatakseen kestävästä kehityksen vaatimuksiin. Tämä edellyttää jatkuvaa oppimista, innovointia ja mukautumista, jotta voidaan luoda todellista lisäarvoa sekä rakennushankkeille että ympäristölle (Mokhlesian & Holmén, 2012). Erityisenä huomiona kuitenkin Darkon ja Chanin (2016) kirjallisuuskatsauksessa on huomio viestintäteknologian (ICT), kuten esimerkiksi aikaisemmin puhutun BIM-mallin käyttö osana rakennus- ja suunnitteluprosessia.

Yhteenvetona, rakennusala erottuu muista toimialoista sen pitkien ja monimutkaisten ostoprosessien, ammattitaitoisen työvoiman vaatimusten ja teknisten tietojen tarpeen vuoksi. Tulevaisuudessa ala keskittyy entistä enemmän kestävästä kehityksestä ja innovaatioihin, kuten BIM-teknologiaan, joka on tärkeä työkalu vihreässä rakentamisessa. Arvonluonnissa keskeistä on projektien tehokkuus, ympäristövaikutusten minimointi ja yhteiskunnallinen hyöty. Haasteina ovat mm. ilmastonmuutos ja teknologian hyödyntäminen. Seuraavassa luvussa käsittelemme tarkemmin IoT-teknologiaa ja tämän sovellutuksia rakennusalalla.

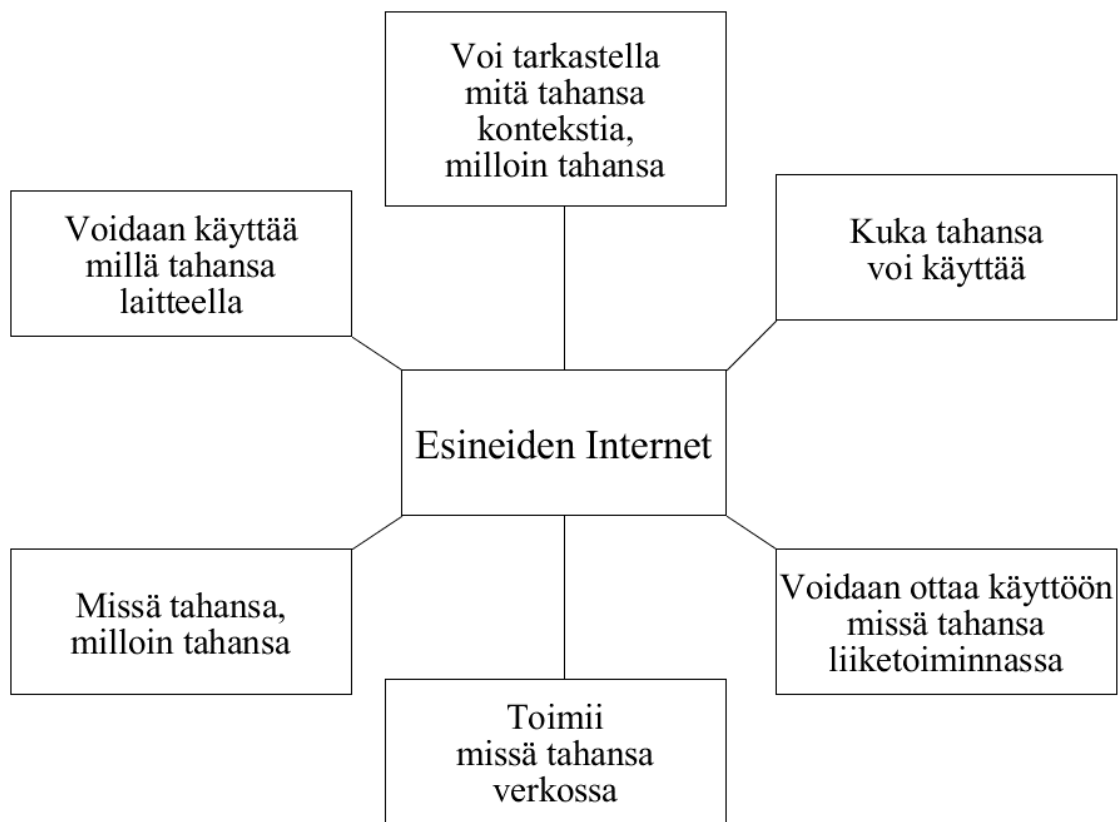
3 ESINEIDEN INTERNET

Tässä luvussa keskitytään IoT:n teknologiseen taustaan sekä IoT:n nykyisiin sovellutuksiin ja potentiaaliin rakennusosalalla. Luvussa tarkastellaan, kuinka IoT muuttaa rakennusteollisuuden perinteisiä toimintatapoja ja tukee kestävästä kehityksen periaatteita, kuten resurssien tehokkaampaa käyttöä ja ympäristövaikutusten minimointia. Lisäksi luku käsittelee IoT-teknologian kohtaamia haasteita, kuten teknologian alhaista tunnettuutta, teknologisia rajoitteita ja ympäristöön liittyviä haasteita. Luvun tarkoituksena on myös hahmottaa, kuinka nämä haasteet vaikuttavat IoT:n käyttöönottoon rakennusosalalla ja samalla tarjota näkökulmia ongelmien ratkaisemiseksi. Tavoitteena on luoda kattava ymmärrys IoT:n roolista rakennusosalalla ja sen mahdollisuuksista edistää alaa kohti tehokkaampia ja ympäristöystävällisempiä käytäntöjä.

IoT viittaa fyysisten esineiden verkostoon, joihin on sisällytetty sensoreita, ohjelmistoja ja muita teknologioita. Verkoston tarkoituksena on siirtää ja vaihtaa tietoa muiden laitteiden ja järjestelmien kanssa internetin välityksellä (Cirani ym., 2018, ss. 23–24; Kasujee & Rebbeck, 2023; Oracle, 2024). Digitalisaation myötä älyteknologioista on muodostunut teknologisen kehityksen keskeinen voima (Zheng ym., 2020). IoT-teknologioiden katsotaan nykyisin olevan avainasemassa myös neljännessä teollisessa vallankumouksessa, sillä ne tarjoavat huomattavia mahdollisuuksia innovaatioihin langattomuuden ja monipuolisten ominaisuuksien vuoksi (Nižetić ym., 2020).

IoT kuvastaa Ciranin ja kumppaneiden (2018, s. 23) mukaan maailmaa, jossa miljardit älykkäät, viestintä-, tunnistus- ja toimintakyvyillä varustetut esineet yhdistyvät IP-verkkoihin (Internet Protocol). Yksinkertaisemmin Esineiden internetin mahdollisuuksien havainnollistamista varten Reddy ja Kone (2019) ovat luoneet kuvion kuvastamaan Internet of Things (IoT) -teknologian monipuolisuutta ja joustavuutta eri konteksteissa (ks. KUVIO 4). Heidän mukaansa IoT tarjoaa mahdollisuuden seurata ja analysoida erilaisia tilanteita ja ilmiöitä reaaliaikaisesti, mikä mahdollistaa sen, että IoT:ta voidaan hyödyntää laajasti eri ympäristöissä ja tilanteissa. Tämä tarkoittaa, että IoT:n avulla voidaan kerätä tietoa mistä tahansa ympäristöstä tai kontekstista milloin tahansa, tarjoten näin arvokasta tietoa päätöksenteon tueksi.

IoT:n universaali luonne mahdollistaa myös sen, että kuka tahansa voi hyödyntää sen tarjoamia mahdollisuuksia, oli kyseessä yksityinen käyttäjä, yritys tai julkinen organisaatio. Alueet, joilla IoT:ta voidaan soveltaa ovat lähes rajattomat, jonka ansiosta tämä voidaan integroida mihin tahansa liiketoimintaan tai teollisuudenalaan. Lisäksi IoT ei rajoitu tiettyihin verkkoihin tai laitteisiin, vaan IoT voi toimia missä tahansa verkossa, taaten sen, että IoT-laitteet ja -järjestelmät ovat yhteensopivia saumattomasti erilaisissa verkko-olosuhteissa. IoT:n monipuolisuus ulottuu myös päätelaitteisiin. Kuvion mukaan IoT voi toimia millä tahansa laitteella, tehden tästä erittäin mukautuvan erilaisiin käyttötarkoituksiin. Reddy ja Kone (2019) korostavat IoT:n ainutlaatuista kykyä mukautua eri aloihin. Tämä osoittaa, että myös rakennusala kokee merkittäviä hyötyjä teknologian käyttöönotosta, muiden alojen tapaan.



KUVIO 4: IoT-teknologian tunnuspiirteitä (Reddy & Kone, 2019, s. 188)

Tang ja kumppanit (2019) tuovat esille tärkeän näkökulman IoT-teknologiaan liittyen, joka usein jää akateemisessa keskustelussa huomiotta. He painottavat, että vaikka nykytutkimus IoT:n käytöstä rakennusosalalla keskittyy merkittävästi rakennustiedon mallinnukseen ja IoT-laitteiden väliseen yhteistyöhön, se ei ota huomioon laajempaa tarvetta saumattomalle tiedon jakamiselle internetin välityksellä. Tämä osoittaa, että etenkin BIM:n ja IoT-laitteiden välinen integraatio tarjoaa monia etuja, jää tämän potentiaali osittain hyödyntämättä ilman yhtenäistä tiedonjakokehystä. Lisäksi näkökulma korostaa käyttäjäkokemuksen ja tiedon tehokkaan prosessoinnin ja jakamisen tärkeyttä, etenkin tiedon määrän kasvaessa.

3.1 Teknologinen tausta

IoT-tekniikan mahdollistajana voidaan pitää kahta keskeistä teknologiaa: Langattomat sensoriverkot (WSN) sekä radiotaajuustunnistus (RFID). Näiden teknologioiden lisäksi IoT-tekniikka perustuu myös pilvilaskentaan sekä internet-yhteyksiin (Bi ym., 2014). IoT:n hienous ja ainutlaatuisuus perustuu sen kykyyn mahdollistaa fyysisten esineiden automaattisen tiedon tallentamisen, luomisen ja hyödyntämisen internetin kautta. Tämä tarkoittaa, että esineet voivat itsenäisesti kerätä tietoa ja toimia sen perusteella, mikä avaa uusia mahdollisuuksia ja sovellusalueita eri toimialoilla (Ashton, 2009).

Jotta monimutkaiset langattomat järjestelmät, kuten IoT toimisivat oikein, on tärkeää, että eri laitteet ovat yksilöllisesti tunnistettavissa. AIOTI:ssa (Alliance for IoT and Edge Computing Innovation) ETSI:n (European Telecommunications Standards Institute) johtama IoT-standardointiryhmä (WG03, 2018) on tuonut esiin huomioita liittyen laitteiden identifiointiin. Heidän mukaansa etenkin dynaamisissa ympäristöissä, joissa laitteet kommunikoivat jatkuvasti keskenään, kyky tunnistaa ja hallita vuorovaikutuksia nousee erityisen kriittiseksi. Niin käyttäjien kuin laitteiden on oltava tunnistettavissa, jotta vuorovaikutus voi tapahtua turvallisesti ja sujuvasti.

Langattomien anturiverkkojen nousu 2000-luvun alussa edusti merkittävää askelta mikroelektroniikan ja viestinnän alueella (Cirani ym., 2018, ss. 23–24). Langattomat anturiverkot muodostuvat pienistä solmuista, jotka sekä keräävät että välittävät tietoa verkossa. Tekniikka mahdollistaa tiedon langattoman siirtämisen (Senouci & Mellouk, 2016; Vijayalakshmi & Muruganand, 2018, s. 1). WSN:n ydinajatus koostuu kolmesta elementistä (Cirani ym., 2018, s. 24):

1. "Langattomuus" tarkoittaa joustavuutta ja helppoutta järjestelmien käyttöönotossa ja asennuksessa. Johdottomuus mahdollistaa riippumattoman sijainnin.
2. "Anturi" kuvaa aistimistekniikan kykyä havaita ja olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa.
3. "Verkot" puolestaan viittaavat kykyyn luoda toiminnallisesti monipuolisia järjestelmiä, jotka koostuvat useista viestintäkykyisistä laitteista.

WSN kuvastaa hyvin pitkälti sitä periaatetta ja luonnetta, jota Esineiden internet edustaa nykypäivänä. Merkittävin ero kuitenkin on, että siinä missä langattomat sensoriverkot ensisijaisesti vain keräävät tietoa ympäristöstä, Esineiden internet pystyy myös hallinnoimaan laitteita tai välittämään tietoa käyttäjälle.

3.2 Tiedonsiirtoteknologia

Tiedonsiirtoteknologia viittaa menetelmiin ja välineisiin, jotka mahdollistavat datan siirtämisen paikasta toiseen. Tämä voi sisältää erilaisia langallisia ja langattomia teknologioita, jotka mahdollistavat informaation jakamisen laitteiden, järjestelmien ja verkkojen välillä (Friess & Vermesan, 2022, ss. 72–76).

IoT-laitteiden, useimmiten rajoitettu energiasaataavuus asettaa niille tiukat vaatimukset: ne tarvitsevat vähävirtaista, mutta samalla kauaskantoista tiedonsiirtoteknologiaa. Nykypäivänä matalan tehon laajalla alueella toimivat verkot LPWAN-verkot (Low-Power Wide-Area Networks) vastaavat näihin teknologisiin vaatimuksiin. Erityisesti LoRaWAN-teknologia (Long Range Wide Area Network) on herättänyt paljon kiinnostusta niin akateemisissa piireissä kuin myös teollisuudessa (Almuhaya ym., 2022). Sen alhainen energiankulutus, pitkän matkan tiedonsiirtokyky ja matalat datanopeudet tekevät siitä erityisen pätevän tiedonsiirtoteknologian IoT-ratkaisuihin.

Suosituiksi tiedonsiirtoteknologioiksi ovat muodostuneet esimerkiksi kapeakaisiset teknologiat, kuten Sigfox tai hieman erilaista lähetystapaa hyödyntävä LoRa. Nämä teknologiat voivat lähettää dataa yli 20 kilometrin päähän esteettömissä ympäristöissä (Pham ym., 2020). Kaupunkiympäristöissäkin kantama on muutamia kilometrejä (Genesis, 2019). LoRa-arkkitehtuuri perustuu sensorein ja yhdyskäytävän väliseen kommunikaatioon. Yhdistetyt sensorit lähettävät tietoa yhdyskäytävän kautta vain ja ainoastaan, kun niiden anturit havaitsevat muutoksen ympäristössä tai muun tapahtuman, kuten ajastimen päättyminen. Tämän jälkeen laite menee takaisin lepotilaan, joka mahdollistaa tämän alhaisen virrankulutuksen ja pitkän akunkeston. Tämä toimintaperiaate mahdollistaa sensoreille jopa 10–15 vuoden käyttöiän pienellä akulla.

3.3 Potentiaali ja nykyiset sovellutukset rakennusalalla yleisesti

Potentiaalisia käyttökohteita IoT:lle vihreässä rakentamisessa ovat muun muassa BIM:n mahdollistama syvempi ymmärrys hankkeesta, rakentamisen aikainen prosessien hallinta, etäkäyttö, kuten laitepalvelut ja korjaus ja lisäksi rakennustyökalujen sekä laitteiden seuranta. Muita käyttökohteita ovat koneohjaus, työmaan monitorointi, energian, polttoaineen ja muiden resurssien (Oke & Arowoia, 2021).

Näistä toistaiseksi vähiten hyödynnetyt osa-alueet ovat BIM, rakentamisen hallinta, etäkäytön valvonta, laitepalvelut ja -korjaukset, rakennustyökalut ja laitteet (Oke & Arowoia, 2021). Ottaen huomioon, että vihreän rakentamisen peruseräisiin kuuluu resurssien mahdollisimman tehokas käyttö ja ympäristöön kohdistuvan rasituksen minimointi, on tärkeää kiinnittää huomiota myös olemassa oleviin rakennuksiin ja niiden seurantaan vihreässä rakentamisessa. IoT-teknologian on osoitettu näyttelevän tärkeää roolia rakenteellisen kestävyysvarmistamisessa (Abruzzese ym., 2020; Chintalapudi ym., 2006; G. Wang &

Ke, 2024). Aikaisemmin tunnistettu IoT:n mahdollistava reaaliaikainen tiedonvälitys ja analyysi toimivat merkittävässä asemassa rakenteiden kunnan seurannassa. Lisäksi on tärkeää huomioida myös rakennustyömaan välittömässä läheisyydessä olevien rakenteiden kunnan seuranta rakennusprosessin aikana. Abuzzesen ja kumppaneiden (2020), mukaan useimpien teräsbetonirakenteiden suunniteltu käyttöikä on enintään 100 vuotta, joten rakenteita heikentävien toimien, kuten kaivamis-, räjäytys-, pontitus- ja paalutustöiden aiheuttamia vaikutuksia on syytä seurata rakenteen pitkäikäisyyden turvaamiseksi. Niin uusien kuin olemassa olevien rakenteiden turvallisuustason sekä rakenteellisen eheyden arvioinnin on osoitettu olevan maailmanlaajuisesti kasvava ongelma (Abuzzese ym., 2020).

3.4 Haasteet

Esineiden internetin (IoT) käyttö tuo mukanaan lukuisia etuja, mutta samalla se tuo esiin haavoittuvuuden kasvun, joka on erityisen merkittävä rakennusteollisuudessa. Tämä ala on luonteeltaan hajautettu, ja siinä toimii laaja kirjo eri sidosryhmiä, mikä tekee tietoturvan hallinnasta haastavaa (World Economic Forum, 2016). IoT-teknologian käyttöönotto rakennusalalla vaatii sekä organisatorisia että käyttäytymiseen liittyviä muutoksia. Casinin (2021, s. xiii) mukaan rakennusalalla on havaittavissa varautuneisuutta uusien teknologioiden suhteen. Innovaatiot usein kohtaavat vastustusta ja uusien teknologioiden omaksuminen tapahtuu hitaasti.

Babu (2021) tuo esiin haasteita, joita IoT:n käyttöönotto rakennusalalla saattaa aiheuttaa. Tutkimuksen mukaan esimerkiksi määrälaskijat, asiakkaat ja suunnittelijat kohtaavat IoT:n käytössä erilaisia ongelmia. Esimerkiksi määrälaskijat pitivät viestintävaatimuksia sekä fyysisen suojauksen tarvetta suurempina haasteina kuin suunnittelijat. Asiakkaiden huolenaiheena taas oli enemmän tietoturva, käyttöoikeuksien hallinta ja energiatehokkuus. Tutkimus osoittaa, kuinka eri sidosryhmien näkökulmat voivat erota voimakkaasti toisistaan.

Begićin ja Galićin (2021) tutkimus tuo esiin, että IoT-teknologian soveltamiseen liittyy haasteita, jotka kattavat turvallisuusongelmat, puutteelliset standardit sekä riittämättömän tietoisuuden teknologian tarjoamista hyödyistä. Tätä värittää lisäksi aikaisemmat epäonnistumiset teknologian käyttöönotossa sekä epävakaisiksi koetut sensorien väliset yhteydet. Yhdessä nämä haasteet muodostavat negatiivisia ennako-oletuksia teknologiaa kohtaan, joka voi hyvin olla syynä laajemmalle hyödyntämättömyydelle.

3.4.1 Tunnettuus

Onnistuneen IoT:n käyttöönoton saavuttaminen edellyttää IT-osastojen sekä tutkimus- ja kehitysosastojen tiivistä yhteistyötä. Teknologian markkinoinnilla on tässä prosessissa erityisen tärkeä rooli. Tehokkaan markkinoinnin avulla voidaan tehokkaasti viestiä IoT:n tarjoamista hyödyistä, mikä saattaa madaltaa kynnystä teknologian omaksumiseen.

Lu ja kumppanit (2017) tuovat esille, että vaikka BIM:n ja sen ympäristöystävällisten sovellusten tutkimuksessa on edetty, innovaatioiden todellinen hyödyntäminen rakennusalaalla on jäänyt odotettua vähäisemmäksi. Tämä viittaa siihen, että vaikka tekniset ratkaisut ja innovaatiot kehittyvät, niiden käytännön soveltaminen ja hyväksyminen kohtaavat esteitä. Syitä tähän voivat olla muun muassa puutteellinen tietoisuus teknologian mahdollisuuksista, koulutuksen ja osaamisen puute sekä organisatoriset ja kulttuuriset tekijät, jotka hidastavat uusien teknologioiden omaksumista.

Jotta IoT:n ja BIM:n kaltaisten teknologioiden potentiaalia voitaisiin hyödyntää täysimääräisesti rakennusalaalla, on ensiarvoisen tärkeää keskittyä paitsi teknologian kehittämiseen myös sen käyttöönoton edistämiseen. Tämä edellyttää monialaista lähestymistapaa, jossa teknologian kehittäjät, käyttäjät ja muut sidosryhmät työskentelevät yhdessä ymmärtääkseen paremmin toistensa tarpeita ja ratkaisemaan yhteisiä haasteita. Lisäksi on tärkeää panostaa käyttäjäkoulutukseen ja luoda positiivisia esimerkkejä onnistuneista projekteista, jotka osoittavat konkreettisesti, miten IoT ja BIM voivat tuoda lisäarvoa rakennusprosesseihin ja edistää kestävästä kehityksestä.

3.4.2 Teknologiset rajoitteet

Tangin ja kumppaneiden (2019) tutkimus valottaa, IoT-teknologian käyttöönoton pitävän sisällään vielä monia haasteita rakennusalan näkökulmasta. Nämä haasteet liittyvät ensisijaisesti teknologioiden väliseen integraation puutteeseen. Vaikka IoT tarjoaa mahdollisuuden reaaliaikaiseen tiedon keräämiseen, analysointiin ja seurantaan. Tutkimuksen mukaan suuri pullonkaula on siinä, kuinka tietoa voidaan oikeasti hyödyntää. Datamäärien kasvaessa ajan myötä, on tärkeää huolehtia tiedon johdonmukaisuudesta, jäljitettävyydestä sekä pitkäaikaisvarastoinnista (Hefnawy ym., 2016). Tästä voidaan nostaa esille tiedonhallinnan yhdeksi merkittävistä huomiopisteistä IoT-teknologian kohdalla. Liian suurta, hallinnoimatonta tietomäärää kutsutaan myös ilmiöllä, nimeltä Big Data.

Tang ja kumppanit (2019) nostavat esille korostuneen tarpeen tekniseen koulutukseen, riittävän laskentatehon sekä tietokonekapasiteetin varmistamiseen ja myös tilanteisiin, jolloin internet-yhteys katkeaa tai sitä ei ole saatavilla. He jatkavat kirjallisuudessa nousevan esille tietosuojahuolien kasvun sekä laitteiden ja ohjelmistojen rajoitukset. Myös eri toimijoiden yhteistyön puute ja standardien puuttuminen sekä yleinen epäluottamus teknologiaa kohtaan nousevat esille esteinä. Nämä haasteet vaihtelevat teknologian yhdistämisen ongelmista ja sen soveltamisen kapeasta ulottuvuudesta aina datan keräämisen vajavaisuuksiin työmailla. Lisäksi kirjallisuudessa korostuu tarve tekniseen koulutukseen, tehokkaan tietokonekapasiteetin puute, sensoriverkkojen toimimattomuus ilman verkkoyhteyttä, tietosuojahuolien kasvu sekä laitteiden ja ohjelmistojen rajoitukset. Myös eri toimijoiden yhteistyön puute ja standardien puuttuminen sekä yleinen epäluottamus teknologiaa kohtaan nousevat esille esteinä.

3.4.3 Ympäristöhaasteet

IoT:n laajamittainen käyttö ja sen myötä syntyvä datan hallinta on nostanut esiin keskeisiä ympäristöseikkoja, jotka on hyvä huomioida. Erityisesti piilevät vaikutukset, kuten datakeskusten energiankulutus usein jäävät huomiotta. Kuten Oke ja kumppanit (2022) ovat huomauttaneet, IoT-laitteiden tuottama valtava datamäärä vaatii jatkuvaa, tehokasta käsittelyä usein reaaliajassa. Tämä ei ainoastaan lisää datakeskusten ja palvelinten kuormitusta, vaan luo uusia haasteita esimerkiksi kapasiteetin, turvallisuuden ja datan analysoinnin osalta. IoT ympäristön tukemiseksi datakeskukset tarvitsevat runsaasti sähköä, mikä on johtanut lisääntyneisiin energiakustannuksiin.

Tähän lisääntyneeseen energiantarpeeseen on esitetty ratkaisuja lisäämällä uusiutuvien energialähteiden, kuten aurinkoenergian ja biokaasun käyttöä (Oke & Arowoia, 2021). Uusiutuvien energialähteiden käyttö ei ainoastaan alenna energiakustannuksia, vaan tukee se myös kestävämpää kehitystä IoT:n kasvavan käytön myötä. On myös tärkeää huomioida, että täyden päästöttömyyden sijaan, on hyvä keskittyä vertaamaan hiilijalanjälkeä lähtötilanteeseen. Usein IoT:n avulla saavutetut hyödyt ovat tämän hiilijalanjälkeä paljon suuremmat. Mikäli arvonluonnin painona on ympäristöystävällisyys, IoT:n käyttöönoton suunnittelussa olisi hyvä kiinnittää huomiota siihen, millaisissa hankekohtaisissa sovelluksissa IoT: tarjoaa riittävän hyödyn ympäristöystävällisyyden suhteen.

3.4.4 Yhtenäinen viitekehys

On olennaista tunnistaa, että laadukkaan tiedon rooli on ratkaisevaa mallinnustulosten ja sitä kautta myös liiketoimintapäätösten kannalta, kuten Byabazaire ja muut (2020) ovat osoittaneet. Tämän isäksi on myös keskeistä huomata, että ilman standardointia eri teollisuudenalojen valmistamat laitteet, kuten anturit, koneet ja kamerat voivat käyttää erilaisia viestintäprotokollia. Tämän seurauksen a laitteiden valmistaminen alhaisilla kustannuksilla ilman standardeja, voi johtaa haasteisiin, erityisesti tietoturvan ja laitteiden yhteen toimivuuden osalta (Patel ym., 2019).

Lisäksi, teknologian hyväksymismallin (engl. Technology Acceptance Model, TAM) mukaan yksilöiden halu hyväksyä teknologia perustuu sen koettuun hyötyyn ja käytön helppouteen (Davis ym., 1989, s. 985). Malli osoittaa, että mitä monimutkaisempi ja hajautetumpi IoT-järjestelmä on, sitä vähemmän käyttäjät kokevat sen hyödylliseksi. Tämä voi hidastaa teknologian omaksumista rakennuslalla, kun käyttöönoton kynns nousee.

4 ARVONLUONTI

Tässä luvussa käsitellään arvonluontia rakennusosalalla IoT-tekniikan ja vihreän rakentamisen näkökulmasta. Luvussa tarkastellaan eri arvonluonnin muotoja, mukaan lukien liiketoimintamalliperspektiivi ja sidosryhmäperspektiivi sekä miten nämä muodot tukevat kestävä kehityksen periaatteita. Lisäksi esitellään arvonluonnin mittarit, kuten arvoketju ja sidosryhmäperustainen arvo ja analysoidaan, miten IoT voi uudistaa arvonluonnin strategioita rakennusosalalla. Luvun tavoitteena on myös pohtia, miten IoT:n integrointi rakennusprojekteihin voi kohdata haasteita ja tarjota ratkaisuja näihin ongelmiin. Luvun päämääränä on luoda kattava käsitys siitä, miten IoT voi muokata rakennusala kohti tehokkaampia ja ympäristöystävällisempiä käytäntöjä, parantaen samalla arvonluontia koko.

Arvonluonnille esiintyy kirjallisuudessa muutama erilainen määritelmä. Bowman ja Ambrosini (2000) mukaan on myös tärkeää huomioida, että kirjallisuudessa on taipumus käyttää termiä ”arvo” viitattaessa lukuisiin eri ilmiöihin. He ovat esitelleet organisaatiotasolla kaksi erilaista arvon tyyppiä selkeyttämään kontekstia puhuttaessa arvonluonnista: Vaihtoarvo ja käyttöarvo. Käyttöarvolla kuvataan subjektiivista arvoa, jonka asiakas määrittelee sen perusteella, kuinka hyödylliseksi tarjottu tuote koetaan. Tuotteesta voidaan nimittää tämän rahallinen kokonaisarvo eli summa, jonka asiakas on suostuvainen maksamaan tuotteesta. Toisin sanoen käyttöarvo on käyttämisen näkökulma, joka painottuu siihen, että tuotteella voidaan suorittaa toimintoja. Vaihtoarvolla tarkoitetaan arvoa, joka toteutuu silloin kun tuote myydään. Vaihtoarvo on siis summa, joka maksetaan ostajan toimesta myyjälle ostajan kokemasta käyttöarvosta.

Lepak, Smith ja Taylor (2007) korostavat arvonluonnin kontekstiriippuvuutta jakamalla tämän yksilö-, yhteiskunta- ja organisaatiotasoon. Perustana tässä on se, että arvo nähdään eri tavalla eri näkökulmien mukaan. Heidän mukaansa yksilön näkökulmasta keskeisenä artefaktina toimivat heidän luovat kykynsä, motivaatio ja älykkyys sekä niiden suhde ympäristöön. Organisaation toimissa arvonluonnin lähteenä korostuvat innovointiin, tiedon luomiseen ja johtamiseen liittyvät kysymykset. Yhteiskunnallisella tasolla arvonluonnissa keskitytään yrittäjyyden tasoon ja makrotalouden tekijöihin, kuten yrittäjyyttä edistäviin ja rajoittaviin lakeihin ja asetuksiin.

Yksilö luo arvoa kehittämällä uusia ja tarkoituksenmukaisia toimintatapoja, palveluja, työpaikkoja, tuotteita, prosesseja tai muita panoksia. Tämän luomisen arvokkuus määrittyy sen perusteella, miten kohdehenkilö arvostaa näitä panostuksia (Lepak ym., 2007). Lepak ja kumppanit (2007) tarkastelevat yksilön arvontuontia painottaen erityisesti tehokkuuden tuomaa hyötyä. Heidän mukaansa yksilön kyky luoda uusia, aikaa ja resursseja säästäviä toimintatapoja on keskeistä arvontuonnissa. Tämä näkemys korostaa innovaatioiden merkitystä ja yksilön kykyä muokata ympäristöään tavoin, jotka vastaavat muiden tarpeisiin ja odotuksiin. Tällainen toiminta ei ainoastaan lisää tehokkuutta, vaan myös luo arvoa sekä yksilölle itselleen että laajemmalle yhteisölle.

Lepak ja kumppanit (2007) ovat käsitelleet organisaation tason arvontuontia, hyödyntäen laaja-alaisesti kirjallisuutta strategisen johtamisen ja dynaamisten kyvykkyyksien alueelta. He keskittyvät tutkimuksessaan erityisesti siihen, kuinka organisaatiot pystyvät luomaan uusia etuja tilanteissa, joissa ympäristön muutokset heikentävät tai syrjäyttävät olemassa olevat edut. Tällaisia tilanteita kutsutaan dynaamisiksi kyvykkyyksiksi. Esimerkiksi Teece, Pisano ja Shuen (1997) väittävät, että yritykset rakentavat tällaisissa tilanteissa etuja ainutlaatuisien organisaatioprosessien, varallisuusaseman ja kehityspolkujen kautta. Kehityspoluilla viitataan tässä kontekstissa organisaation kykyyn integroida, kehittää ja muokata niin sisäistä kuin ulkoista osaamista.

Porterin (1985) teorioiden mukaan yritykset luovat arvoa kehittämällä tai keksimällä uusia toimintatapoja, jotka voivat perustua uusiin menetelmiin, teknologioihin tai raaka-aineisiin. Innovaatiot ja keksinnöt ovat täten keskeisiä tekijöitä organisaation näkökulmasta arvontuonnissa. Eisenhardt ja Martin (2000) tuovat esille, että dynaamiset kyvykkyydet, kuten resurssien hankinta, integrointi ja uudelleenmuokkaus, ovat tärkeitä prosesseja, jotka ovat yleisiä ja helposti tunnistettavissa. Keräsen ja Jalkalan (2013) tutkimus puolestaan osoittaa, että organisaatioiden välisessä arvontuonnissa painotetaan lopulta asiakkaiden kustannusten alentamista tai tulojen kasvattamista. Tämä ajattelutapa on yhteneväinen Lepakin ja kumppaneiden (2007) näkemyksen kanssa yksilön arvontuonnista, jossa korostetaan loppukäyttäjän hyötyä arvontuonnin keskiössä.

Yhteiskunnallisella tasolla arvontuontiprosessi ilmenee usein yrittäjyyttä ja innovaatiota tukevien ohjelmien sekä kannustimien kautta, jotka kannustavat organisaatioita ja yrittäjiä luomaan uusia innovaatioita ja laajentamaan arvontarjontaa yhteiskunnalle. Joseph Schumpeter (1934) painotti markkinoiden kehityksen riippuvan jatkuvasta innovaatiosta ja teknisestä edistyksestä. Hän esitti myös voitontavoittelusta johtuvan yritysten innovatiivisuuden olevan merkittävä voima yhteiskunnan kasvussa ja taloudellisessa kehityksessä.

4.1 Arvontuonnin muodot

Lepakin ja muiden (2007) mukaan arvontuontiprosessin määritelmä vaihtelee tutkijoiden valitsemien näkökulmien mukaan. Arvontuontia tutkittaessa on keskeistä määritellä selkeästi, kuka arvoa tuottaa ja kuka siitä hyötyy, toisin sanoen tunnistaa arvontalähde. Tämä auttaa ymmärtämään, miten ja missä arvoa luodaan,

ja kenen toimesta, jotta voidaan arvioida prosessin tehokkuutta ja vaikutusta laajemmin yhteiskunnassa (Lepak ym., 2007).

Arvonluontiprosessit vaihtelevat merkittävästi myös yksilöiden, organisaatioiden ja yhteiskunnan välillä. Perinteiset liiketoimintamallit keskittyvät pääasiassa yrityksen ja asiakkaiden väliseen arvonluontiin (Lepak ym., 2007; Zott ym., 2011). Tämä tarkoittaa painotusta prosesseihin ja toimintoihin, jotka tuottavat erityisesti asiakasarvoa (Lepak ym., 2007). Kuitenkin tämä näkökulma jättää huomioimatta arvon monimuotoisuuden ja luontiprosessien monitahoisuuden.

Arvonluonti voidaan jakaa kahteen eri perspektiiviin: liiketoimintamalliperspektiiviin ja sidosryhmäteoriaperspektiiviin (Freudenreich ym., 2020). Molemmat näkökulmat tarjoavat tärkeitä oivalluksia siitä, kuinka arvoa luodaan ja jaetaan, mutta lisäksi ne korostavat myös tarvetta huomioida laajempi joukko sidosryhmiä arvonluontiprosessissa. Freudenreichin ja kumppaneiden (2020) mukaan näissä prosesseissa on olennaista tunnistaa ja hyödyntää eri sidosryhmien mahdollisuutta osallistua arvonluontiin sekä mahdollistaa heidän hyötymisensä luodusta arvosta. Tämä lähestymistapa vahvistaa käsitystä siitä, että arvonluonti on moniulotteinen prosessi, joka vaatii huolellista strategista suunnittelua.

4.1.1 Liiketoimintamalliperspektiivi

Jokaisen yrityksen perustana on liiketoimintamalli, oli se määritelty tai ei. Al-Debein ja Avisonin (2010) mukaan liiketoimintamallin ytimessä on kaksi keskeistä arvonluonnin toimintoa: luonti ja talteenotto. Tämän vuoksi liiketoimintamalleja kehitetään ja hallinnoidaan luomaan arvoa, kuten Freudenreich ja muut (2020) toteavat. Arvonluonnin liiketoimintaperspektiivissä keskiössä on tuotteiden ja palveluiden arvolupaus asiakkaille. Tämä lupaus voi sisältää sekä käyttöarvoa että symbolista arvoa, kuten Al-Debei & Avison (2010) ja Teece (2010) ovat esittäneet. Arvolupaus tarkoittaa tuotteiden ja palveluiden kokonaisuutta, joka vastaa asiakkaiden tarpeita ja luo heille arvoa, olipa kyse sitten käyttöarvosta tai symbolisesta arvosta.

On myös olennaista tunnistaa taloudellisten sidosryhmien, kuten sijoittajien ja osakkeenomistajien, kriittinen rooli arvonluonnin prosessissa. Heidän tukensa ja panoksensa ovat välttämättömiä yrityksen kasvulle ja pitkäaikaiselle menestykselle. Freudenreich ja kumppanit (2020) korostavat, että vaikka asiakkaat ovat arvonluonnin ytimessä, ei taloudellisten sidosryhmien merkitystä voi ohittaa. Ymmärtämällä ja täyttämällä taloudellisten sidosryhmien odotukset osana sidosryhmäprosessia, yritykset voivat varmistaa kestäväen kehityksen ja kasvun.

4.1.2 Sidoryhmäteoria ja Sidoryhmäperspektiivi

Sidosryhmäteoria, jonka R. Edward Freeman esitteli vuonna 1984, korostaa yrityksen ja sen sidosryhmien välisen suhteen merkitystä. Freemanin mukaan (Freeman, 1984, ss. 52–53) yritysten tulisi pyrkiä luomaan arvoa kaikille sidosryhmilleen, ei ainoastaan osakkeenomistajille. Termi "sidosryhmä" kattaa kaikki ne ryhmät ja yksilöt, jotka voivat vaikuttaa yrityksen toimintaan tai joihin yrityksen

toiminta vaikuttaa, kuten asiakkaat, työntekijät, toimittajat, sijoittajat ja paikallisyhteisöt (Freeman, 1984, s. 56).

Liiketoimintamalleja käsiteltäessä arvo usein kuvataan yksisuuntaisena virtana yritykseltä asiakkaalle, keskittyen siihen, kuinka yritys luo arvoa asiakkailleen. Asiakkaat puolestaan tuottavat taloudellista arvoa yritykselle (Freudenreich ym., 2020) Vaikka tämä näkökulma korostaa asiakkaan roolia arvonluonnissa, se voi jättää huomiotta muiden sidosryhmien, kuten toimittajien ja alihankkijoiden, roolin arvon luonnissa.

Arvonluontia laajemmin tarkastellessa on ilmeistä, että sekä liiketoimintamalliperspektiivi että sidosryhmäperspektiivi ovat keskeisiä arvonluonnin kannalta. Liiketoimintamalliperspektiivi korostaa asiakasarvon luonnin merkitystä, kun taas sidosryhmäperspektiivi laajentaa käsitystä yrityksen vastuusta kattamaan laajemman joukon sidosryhmiä. Freemanin teorian mukaisesti (Freeman, 1984, ss. 53–54) yrityksen menestyminen nykyisessä toimintaympäristössä edellyttää kaikkien sidosryhmien tarpeiden huomioon ottamista.

4.2 Arvonluonnin mittarit

Arvonluonnin mittareiden valinta on kriittinen prosessi, joka vaikuttaa suoraan siihen, kuinka yritys ymmärtää ja kehittää toimintaansa. O'Brien (2014) esittää kolme lähestymistapaa arvon mittaamiseen: parannusten mittaaminen, sitoumusten täyttämisen arviointi sekä todellisen arvon määrittäminen. Parannusten mittaamisessa tyypillisesti hyödynnetään mittareita, jotka keskittyvät suorituskyvyn eri aspekteihin, kuten laatuun, tuotteliaisuuteen, tuotosten määrään, ennustettavuuteen ja taloudellisiin indikaattoreihin.

Toisaalta asiakaslähtöisen arvonluonnin mittaaminen on usein haastavampaa kuin perinteisen tuotteliaisuuden seuraaminen. Leroi-Werelds ja kollegat (2014) huomauttavat, että asiakasarvon mittaamiseen tarkoitetuilla menetelmillä on sekä etuja että haasteita, ja valittavan menetelmän tulisi perustua huolelliseen harkintaan ja kyseessä olevan kontekstin ymmärtämiseen. Tämän seurauksena on tärkeää valita mittari tai menetelmä, joka tarjoaa luotettavimman tiedon arvonluonnista eri tilanteissa. Näin ollen kyky seurata ja kehittää toimintaa asiakaslähtöisesti ja kontekstiin sopivalla tavalla korostuu arvonluonnin mittareiden valinnassa.

4.2.1 Arvoketju

Arvoketju on yrityksen toimintojen analysointiin tarkoitettu malli, jonka tavoitteena on ymmärtää, miten arvoa tuotteille tai palveluille luodaan. Mallissa yrityksen toiminnot jaetaan ketjuun, jossa jokaisella toiminnolla on rooli lopputuotteen arvon kasvattamisessa, mikä edesauttaa yritystä ylläpitämään tai saavuttamaan kilpailuetua (Porter, 1985).

Porterin mukaan arvoketju koostuu perustoiminnoista ja tukitoiminnoista, jotka yhdessä muodostavat perustan arvon kasvulle (Porter, 1985, ss. 85–86). Perustoimintoihin lukeutuvat sisäänosto, tuotanto, uloslähetys, markkinointi ja

myynti sekä palvelut, kun taas tukitoimintoja ovat yrityksen infrastruktuuri, henkilöstöhallinto, teknologian kehitys ja hankinnat. Tämän mallin avulla yritykset voivat reflektoida omaa toimintaansa ja tunnistaa potentiaalisia lisäarvon lähteitä. Erityisesti vihreän rakentamisen kontekstissa IoT-teknologiaa sovellettaessa, arvoketjun eri osa-alueet, kuten teknologian kehitys, tuotantoprosessit ja palvelut, ovat keskeisiä arvon luomisessa ja kestävien ratkaisujen tarjoamisessa markkinoille.

4.2.2 Sidosryhmäperustainen arvo

Harrison ja Wicks (2013) tarjoavat kattavan kehyksen ymmärtääkseen, miten arvo määrittyy ja mitataan eri sidosryhmien perspektiiveistä, jakamalla sidosryhmien kokeman arvon neljään pääluokkaan. Nämä luokat yhdessä kuvaavat arvon kokonaisuuden yrityksen ja sen sidosryhmien välillä.

Ensimmäinen luokka keskittyy konkreettisten tuotteiden ja palveluiden tarjoamaan arvoon, joka voidaan mitata esimerkiksi rahallisen vaihdon kautta. Arvon mittarina voi toimia sidosryhmien halukkuus maksaa tietylle tuotteelle, mikä heijastaa arvon määrää näille ryhmille.

Toinen luokka käsittelee oikeudenmukaisuuden ja tasapuolisuuden tarjoamaa arvoa. Tässä arvoa mitataan aineellisten hyötyjen vertailulla suhteessa muihin osapuoliin. Arvo voi syntyä sidosryhmien välisistä suhteista ja vastavuoroisuudesta, ja mittarina voi toimia esimerkiksi työntekijöiden valmius luopua osasta palkkaansa yrityksen hyväksi.

Kolmas arvon muoto perustuu järjestöyhteyteen eli siihen hyötyyn, jonka sidosryhmät saavat kuulumalla tiettyyn organisaatioon. Tämä arvo voi ilmetä yhteisöllisyyden ja kuulumisen tunteena, joka heijastaa, kuinka hyvin organisaation arvot vastaavat yksilön arvostuksia.

Neljännessä luokassa keskitytään vaihtoehtokustannuksiin ja tekijöiden yhteyteen, missä arvo perustuu yksilön käsitykseen siitä, kuinka paljon paremman arvon hän saisi valitsemalla toisen tarjoajan. Arvoa arvioidaan vertailemalla tarjottua arvoa mahdollisesti saatavaan arvoon toiselta tarjoajalta.

Rakennushankkeissa sidosryhmien rooli on keskeinen projektin onnistumiselle. Olanderin (2007) mukaan hankkeet herättävät kiinnostusta monilta eri sidosryhmiltä, joiden tarpeet ja odotukset voivat olla keskenään ristiriidassa. Sidosryhmien hallinta on näin ollen kriittinen menestystekijä. Prabhu (2016) korostaa sidosryhmien välisen vuorovaikutuksen ja suhteiden merkitystä hankkeen lopputulokselle, mikä nostaa esille sidosryhmätyön tärkeyden projektin onnistumisessa. Arvonluonnin monimutkaisuus korostuu myös Haddadin ja kumppaneiden (2016) näkemyksessä, jonka mukaan arvonluonti riippuu käyttäjien tarpeiden täyttämistä ja omistajien strategian toteutumisesta. Tämä näkemys korostaa projektin tavoitteiden ja sidosryhmien odotusten huomioon ottamisen tärkeyttä.

4.3 Arvonluonti rakennusalalla

Arvonluonti rakennusalalla, samoin kuin muilla toimialoilla, perustuu resurssien tehokkaaseen käyttöön ja näiden resurssien avulla aikaansaatuun arvoon. Tämän prosessin ytimessä on yrityksen ja yhteiskunnan välinen arvo-kustannussuhde, joka tarkastelee, kuinka paljon arvoa yritys luo suhteessa sen toiminnan aiheuttamiin kustannuksiin ja mahdollisiin negatiivisiin vaikutuksiin. Erityisesti rakennusalalla tämä tarkastelu sisältää ympäristövaikutukset, kuten hiilidioksidipäästöt, jotka ovat lähes väistämätön seuraus rakennustoiminnasta (Ramboll, 2020).

RALA ry:n (2023) haastattelussa Salminen toteaa, että vaikka projekti pyysi aikataulussa ja budjetissa, se ei välttämättä vastaa loppukäyttäjien odotuksia. Tämän seurauksena projekti voidaan silti kokea epäonnistuneeksi. Useat rakennusprojektit kohtaavat viivästyksiä ja budjettien ylityksiä, joissa ylitys on keskimäärin 80 prosenttia alkuperäisestä arviosta, mikä korostaa projektinhallinnan haasteita alalla (McKinsley, 2024). Arvonluonti rakennushankkeissa ei siis rajoitu ainoastaan taloudellisiin mittareihin. Tavoitteiden saavuttaminen, kuten budjetin ja aikataulun noudattaminen sekä laadukkaan lopputuotteen toimittaminen, muodostavat perustan, jolle arvonluonti rakentuu.

Arvonluontiprosessi rakennusalalla on monimutkainen ja moniulotteinen, yhdistäen omistajan strategian, projektin suorituskyvyn, käyttö- ja yhteisöarvon sekä liiketoimintatulokset. Tämän monimutkaisuuden keskellä omistajan näkökulmasta arvo syntyy strategian mukaisesta toimintakulttuurista, yhteiskuntavastuusta ja ekologisen jalanjäljen minimoinnista. Projektin suorituskyvyn kannalta tärkeää on tehokas kustannus- ja aikatauluohjaus sekä korkea laaduntuotokyky.

Kestävyyteen suuntautuneet liiketoimintamallit tarjoavat mahdollisuuden arvonluonnille myös ympäristön kannalta, mikä on yhä tärkeämpää nyky-yhteiskunnassa. Innovointi ja kyky uudistua ovat elintärkeitä tekijöitä rakennusalalla, mikä vastaa myös Schumpeterin (1934) ajatuksiin innovaation merkityksestä yrityksen kilpailukyvyille. Kestävyyteen orientoituneet mallit eivät ainoastaan paranna ympäristön tilaa vähentämällä luonnonvarojen kulutusta ja edistämällä energiatehokkuutta, vaan ne myös tarjoavat uusia mahdollisuuksia luoda taloudellista arvoa pitkäikäisyyden ja pienemmän ympäristökuormituksen kautta. Tämän vuoksi rakennusalan yritysten on olennaista tunnistaa ja hyödyntää innovaatioita, jotka vastaavat sekä markkinoiden että ympäristön tarpeisiin.

Arvonluonnin moniulotteisuus rakennusalalla edellyttää laajaa näkökulmaa, joka ottaa huomioon paitsi taloudelliset ja tekniset tekijät, myös ympäristölliset ja sosiaaliset näkökohdat. Kestävyyden ja yhteisöarvon korostaminen arvonluonnissa ei ainoastaan tue ympäristön suojelua ja sosiaalista vastuuta, vaan se myös avaa uusia mahdollisuuksia liiketoiminnalle vastata ajan haasteisiin innovatiivisesti ja kestävästi (De Almeida Barbosa Franco ym., 2022; Meena ym., 2022; Oke & Arowoia, 2021; K. Wang & Guo, 2022). Tämän saavuttaminen edellyttää, että yritykset omaksuvat jatkuvan oppimisen kulttuurin, uudistumisky-

vyn sekä syvällisen ymmärryksen monimuotoisista sidosryhmäsuhteista. Tällaisella lähestymistavalla on mahdollista luoda todellista ja kestäväää arvoa, joka hyödyttää sekä yritystä itseään että laajempaa yhteiskuntaa.

4.4 Esineiden internetin luoma arvo rakennusalalla yleisesti

IoT-teknologia avaa rakennusalalla uusia mahdollisuuksia tehostaa toimintaa ja parantaa turvallisuutta. Verbeeckin ja Hensin, (2010) mukaan viestintäteknologian toisin sanoen IoT:n käyttö edistää päätöksentekoa suunnittelu- ja rakennusprosessin aikana, mahdollistaen yhteistyön eri henkilöstöjen kesken palvelen useita tavoitteita samanaikaisesti.

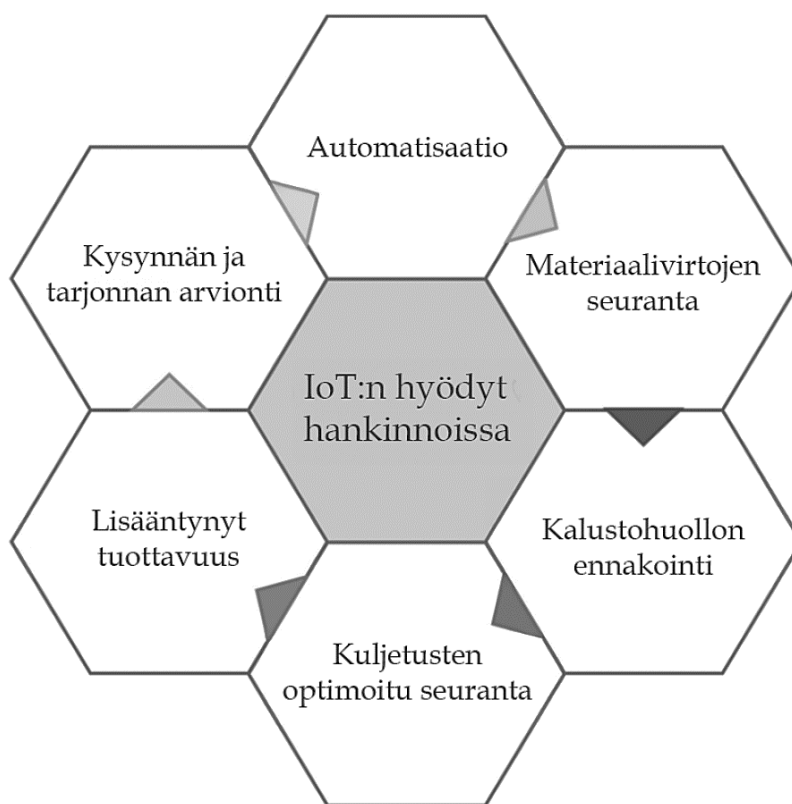
Tutkimukset osoittavat (ks. Oke ym., (2022), että IoT:n hyödyntäminen rakennusalalla kohentaa erityisesti turvallisuutta, yksityisyyden suojaa, tietojen keräämistä, asiakasviestintää sekä lisää tehokkuutta. IoT mahdollistaa työntekijöiden tuottavuuden ja tehokkuuden kasvattamisen, mutta vaikutukset kuljetukseen, energiankulutukseen ja terveyden seurantaan ovat tutkimuksen mukaan vähäisempiä.

Aiemmassa tutkimuksessa on korostettu IoT:n potentiaalia muuttaa rakennusalaa kauttaaltaan (Reddy & Kone, 2019; Wei & Li, 2011). IoT-teknologiat voivat uudistaa rakennusprosesseja, ylläpitoa ja käyttövaiheita älykkäiden ratkaisujen avulla, jotka tähtäävät käyttäjämukavuuden, turvallisuuden ja energiatehokkuuden maksimointiin. Erityisesti hallittavuuden, turvallisuuden ja materiaalien seurannan parantuminen tarjoavat merkittäviä aika- ja kustannussäästöjä. Nämä muutokset voivat vaikuttaa koko rakennusalalla vallitseviin kustannusmittareihin vähentämällä monien organisaatioiden menoja. Arvonluonnin näkökulmasta IoT-teknologian käyttöönotto rakennusalalla avaa siis uusia mahdollisuuksia projektien tehokkuuden ja taloudellisuuden parantamiseen. IoT mahdollistaa kustannusten merkittävän vähentämisen ja työprosessien optimoinnin, mikä nopeuttaa projektien valmistumista ja vähentää ylimääräisiä kustannuksia. Tämä on mahdollista, sillä IoT:n avulla kerätty tieto mahdollistaa reaaliaikaisen toimintojen seurannan ja hallinnan rakennustyömailla, parantaen näin tehokkuutta (Gamil ym., 2020; Oke ym., 2022).

Louisin ja Dunstonin (2018), sekä Oken ja kumppaneiden (2022) tutkimukset valottavat, miten IoT:n käyttö rakennusalalla voi parantaa projektien tehokkuutta ja taloudellisuutta huomattavasti. He korostavat, että datan tehokas käsittely ja hyödyntäminen ovat avainasemassa, kun tavoitellaan projektien maksimaalista tehokkuutta. IoT mahdollistaa projektien nopeamman valmistumisen ja auttaa pitämään budjetit hallinnassa sekä resurssien käytön optimoituna. Lisäksi Oke ja kumppanit (2022) painottavat, että älykkäiden laitteiden ja järjestelmien hyödyntäminen työmaan seurannassa, resurssien hallinnassa ja kommunikaatiossa tehostaa rakennusprojekteja, tekee niistä sujuvampia ja vähentää kustannuksia.

IoT-teknologian implementoinnilla hankintaprosessiin, voidaan tutkimusten mukaan erinäisiä tuotantoon liittyviä prosesseja tehostaa moninkertaisesti (Khurshid ym., 2023). Prosessin tehostaminen perustuu lisääntyneeseen tietoon

logistiikasta sekä tiedon pohjalta tapahtuvasta automaatiosta (KUVIO 5). On selvää, että lisääntyneen tiedon myötä, myös kustannus- ja materiaalilaskentaa voidaan mahdollisesti tehostaa.



KUVIO 5: IoT:n tuomat hyödyt hankinnoissa (Khurshid ym., 2023, s. 13)

Youn ja Fengin (2020) tutkimus korostaa IoT:n merkittävää potentiaalia rakennusalalla, mutta samalla tuo esiin sen nykyiset rajoitteet. Heidän analyysinsä osoittaa, että vaikka IoT:n hyödyt, kuten tehokkuuden ja taloudellisuuden parantaminen, ovat selvät, teknologian käyttöönotto kohtaa haasteita. Keskeinen ongelma on, että IoT sovellukset keskittyvät usein vain yksittäisiin tehtäviin, mikä rajoittaa niiden vaikutusta laajemmin. Tästä seuraa, että vaikka yksittäiset ratkaisut voivat tarjota etuja, koko tuotantoprosessin mahdolliset säästöt ja parannukset jäävät hyödyntämättä, ellei ole olemassa kokonaisvaltaista koordinaointia.

Tämä tuo esiin tärkeän näkökulman: tehokas IoT:n hyödyntäminen rakennusalalla vaatii integroitua lähestymistapaa, jossa eri prosessit ja toiminnot yhdistetään yhtenäiseksi kokonaisuudeksi. Tämä tarkoittaa, että IoT-teknologian täyden potentiaalin saavuttaminen edellyttää syvällistä ymmärrystä ja suunnittelua koko toimintaketjun osalta, jotta voidaan varmistaa, että teknologian tuomat hyödyt maksimoidaan ja levitetään koko organisaation toimintaan. On olennaista, että IoT:n käyttöönotossa keskitytään teknologian huolelliseen suunnitteluun ja integrointiin. Teknologian tulisi tukea koko rakennusprosessia tavalla, joka edistää tiedon tehokasta hyödyntämistä ja parantaa prosessien sujuvuutta. Tämän saavuttaminen edellyttää selkeää ymmärrystä siitä, kuinka IoT:ta voidaan hyödyntää rakennusalalla ja kykyä suunnitella ratkaisuja, jotka välttävät

tietotulvan ja kohentavat olemassa olevia työprosesseja. Youn ja Fengin (2020) näkemykset osoittavat, että huolellisesti suunniteltu ja toteutettu IoT-strategia voi tuoda merkittäviä hyötyjä rakennusalalle, edistäen kustannustehokkuutta ja tuotannon tehostumista.

Yhteenvedona voidaan todeta, että rakennusalalla arvonluonti keskittyy ensisijaisesti kustannusten karsimiseen ja tehokkuuden lisäämiseen. Tämä osoittaa, että arvonluontistrategioiden tulisi alalla erityisesti pyrkiä edistämään jompaa-kumpaa näistä hyödyistä. Tutkimukset osoittavat tarpeen lisätutkimuksille, jotka keskittyisivät nimenomaan tehokkuuden parantamiseen ja kustannusten vähentämiseen, erityisesti vihreän rakentamisen kontekstissa. Tämän seurauksena on tärkeää kehittää ja evaluoida toimia, jotka konkreettisesti johtavat näiden tavoitteiden saavuttamiseen, tukien samalla kestävämpiä rakennusmenetelmiä ja teknologian hyödyntämistä.

4.5 Arvonluonti vihreän rakentamisen prosesseissa esineiden internetin avulla

IoT:n rooli rakennusprojektien arvon lisäämisessä ja kestäväen kehityksen edistämässä aikaisemmin todistettu merkittäväksi. Rakennusprojektien arvo syntyy siitä, miten hyvin ne vastaavat käyttäjien ja omistajien tarpeita sekä strategisia tavoitteita (Haddadi ym., 2016). Tämä tarkoittaa, että projektien onnistumisen mittari ei ole pelkästään niiden taloudellinen tuotto, vaan myös se, kuinka hyvin ne palvelevat käyttäjiensä ja sijoittajiensa etuja pitkällä tähtäimellä. IoT voi tässä yhteydessä tarjota ratkaisevia työkaluja, jotka auttavat saavuttamaan nämä tavoitteet tehokkaammin, esimerkiksi parantamalla toimittajien toiminnan tehokkuutta ja tuloksellisuutta.

Vihreä rakentaminen eroaa perinteisestä rakentamisesta paitsi noudatettavien sääntöjen ja tekniikoiden myös arvolupauksen osalta. Vihreässä rakentamisessa korostuu ympäristöystävällisyys ja kestävyiden tavoitteet, jotka ovat olennaisia osia arvon luomisessa (Mokhlesian & Holmén, 2012). IoT tarjoaa tässä yhteydessä mahdollisuuksia esimerkiksi energiankulutuksen optimointiin, resurssitehokkuuden parantamiseen ja jätteen vähentämiseen rakennusprosesseissa, edistäen vihreän rakentamisen periaatteita ja tukien kestävää kehitystä.

4.5.1 Kustannukset

Rakennushankkeiden onnistuminen ja arvonluonti riippuvat merkittävästi kustannuksista, jotka korostuvat entisestään siirryttäessä vihreisiin rakennushankkeisiin. Meena ja kumppanit (2022) tunnistavat vihreän rakentamisen keskeisiksi esteiksi kustannukset sekä tiedon ja kiinnostuksen puutteen. Lisäksi muutos kohti kestävämpiä rakennusmenetelmiä edellyttää yhteiskunnallisia lähestymistapoja, jotka sisältävät motivaation, käytäntöjen, asenteiden, arvojen ja kulttuurin muutokset. Myers (2005) on kuvannut tutkimuksessaan kestäväen kehityksen haasteita Euroopassa, ja todennut, että alan monimutkaisuus ja pirstaleinen

luonne voivat rajoittaa sen nopeaa kehitystä kestäväen kehityksen suuntaan. Vihreän rakentamisen edistäminen vaatii näin ollen laajempaa näkemyksellistä muutosta, joka ylittää teknologiset ratkaisut ja uudistaa yhteiskunnan tapaa arvostaa ja priorisoida kestävyyttä rakennusosalalla.

BIM:n soveltamista vihreään rakentamiseen ja tämän tehokkuutta on osoitettu useissa lähteissä, kuten Wong ja Zhou (2015) ja Ching, Wang ja Lee (2017). Daven ja kumppanien (2018) mukaan IoT:ta hyödyntämällä rakennustyömaalta kerätyt reaaliaikaiset tiedot ohjaavat BIM-malleja tehokkaampaan rakennusprosessin seurantaan. Yleisesti raportoitu menetelmä on IoT-tietojen ja BIM-tietojen välisten kartoitusrakenteen luominen (You & Feng, 2020). IoT:ta voidaan lisäksi käyttää ympäristö ja paikannustietojen integroimiseen BIM:iin (Teizer ym., 2017).

Louis ja Dunston (2018) ovat tutkineet, kuinka IoT voi edesauttaa reaaliaikaista päätöksentekoa tehostaen rakennustyömaan prosessien suorituskykyä. Tämä tutkimus demonstroi menetelmää, jossa käytetään IoT-infrastruktuuria laitteiden tilan määrittämiseen ja tämän tiedon välittämiseen diskreetin tapahtumamallin avulla. Tapahtumamallin mallinnus- ja analysointikyvyt mahdollistavat päätöksenteon automatisoinnin, joka johtaa taktisten ohjauskomentojen antamiseen relevantteihin laitteisiin IoT:n kommunikaatiokerroksen kautta (Louis & Dunston, 2018).

4.5.2 Toimitusketju ja materiaalit

Toimitusketjun tehokkuus ja sen valvontamekanismien toimivuus ovat avainasemassa, kun pyritään parantamaan rakennusresurssien kestävyyttä, kuten Lam ja muut (2010) ovat osoittaneet. Tämä näkemys korostaa sitä, miten kriittistä on hallita ja optimoida toimitusketjua rakennusosalalla, jotta voidaan varmistaa resurssien vastuullinen käyttö ja hukkamateriaalien minimointi.

Kibert ja kumppanit (2000) puolestaan ovat tuoneet esiin, että rakennusyri-tysten on usein tehtävä merkittäviä muutoksia suunnitteluunsa ja materiaalien käyttöönsä noudattaakseen kestäväen rakentamisen periaatteita. Nämä muutokset voivat olla taloudellisesti haastavia, sillä ne saattavat tuoda mukanaan huomattavia kustannuksia. Tässä yhteydessä Internet of Things (IoT) tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia. IoT:n avulla on mahdollista tehostaa resurssien käyttöä ja vähentää hukkaa, mikä puolestaan voi alentaa vihreään rakentamiseen liittyviä kustannuksia.

Balasubramanian ja kumppaneiden (2024) tutkimuksen mukaan muutamat vastaajista (pääurakoitsijan puolelta) mainitsivat, että he seuraavat jatkuvasti materiaalejaan ja laitteitaan varastosta työmaalle. Näin he voivat tehokkaasti suunnitella toimitukset työmaalle sekä jakaa laitteita ja koneita useilla eri työmailla ja vähentää virheellistä käsittelyä ja varkauksia.

Tehostettu materiaalien seuranta on merkittävässä asemassa resurssien käytön optimoinnissa ja ympäristöä kuormittavien materiaalien kohdalla. Tästä todisteita antavat Reddy ja Kone (2019), kertoessaan rakennusalan hyödyntävän noin 60% käytettävissä olevista materiaaleista, joista syntyy 33% jätettä, joka tarkoittaa 45% hiilidioksidipäästöistä. Heidän artikkelinsa ei maininnut vertailukohdetta prosenttiosuuksiin, mutta Suomen Ympäristöministeriön (2024) mu-

kaan vastaava luku on rakennuksien ja rakentamisen käyttämien luonnonvarojen osalta 50% maailmassa ja käsittelemättömän energian kohdalla 40%. ympäristöministeriö kertoo myös tämän synnyttävän maailmanlaajuisesti noin 35% kasvihuonekaasupäästöistä ja 30% jätteistä (Ympäristöministeriö, 2024).

Rakennusten energiatehokkuusohjelma (engl. Programme for Energy Efficiency in Buildings, PEEB) pyrkii muokkaamaan rakennusalaan edistämällä kestäväää rakennussuunnittelua ja -rakentamista. Ohjelman tavoitteena on parantaa energiatehokkuutta rakennusalaalla, mikä edustaa merkittävää askelta ympäristöystävällisempiin ja energiatehokkaampiin rakennuskäytäntöihin päin. Ohjelman tärkeiksi kulmakiviksi on nimetty Zineckerin ja Bourgaultin (2022) mukaan, kolme käännekohtaa liittyen resurssien käyttöön:

- vältetään hiilidioksidipäästöjä suunnittelemalla vähemmän materiaalia.
- siirrytään vaihtoehtoisin rakennusmateriaaleihin.
- parannetaan tavanomaisia materiaaleja tekemällä niistä vähemmän hiili-intensiivisiä.

Erityisesti sementti, teräs, alumiini, lasi ja eristysmateriaalit omaavat erityisen suuren hiilijalanjäljen. Tämä on seurausta niiden energiaintensiivisestä tuotannosta. Sementin tuotantoon liittyy lisäksi kemiallisia prosesseja, jotka vapauttavat lisää kasvihuonekaasuja sekä johtavat luonnollisten materiaalien, kuten hiekan ehtymiseen sekä samalla ekosysteemien eroosioon (Zinecker & Bourgault, 2022).

Tässä kontekstissa IoT luo merkittävää ympäristöarvoa optimoimalla resurssien käyttöä, samalla alentaen rakennushankkeen luomaa ympäristökuormaa. On tärkeää huomioida, että myös RFID-tunnisteet eivät ole täysin päästövapaita. Gehring, Manuel Prenzel & Albrecht (2019) toteavat, että NECOMADA RFID -tunnisteiden valmistuksen aiheuttama ympäristökuormitus on suhteessa pienempi ja ympäristöystävällisempi suhteessa niiden aiheuttamiin materiaalisäästöihin ja prosessien tehostuksiin.

Tiivistettynä IoT:n hyödyntäminen rakennusalaalla mahdollistaa reaaliaikaisen tiedon keräämisen ja analysoinnin toimitusketjun jokaisessa vaiheessa. Tämä auttaa tunnistamaan pullonkauloja, ennakoimaan mahdollisia ongelmia ja optimoimaan materiaalien kuljetusta ja varastointia. Lisäksi IoT voi auttaa seuraamaan materiaalien käyttöä työmaalla, vähentäen näin tarpeetonta kulutusta ja jätettä.

4.6 Vihreän rakentamisen haasteet

Haaste vihreiden rakennusten markkinoilla on se, kuinka saada ihmiset ostamaan vihreästi rakennettuja asuntoja. Vihreät rakennukset vaativat usein enemmän resursseja, niihin liittyessä lisäkuluja sertifiointeista ja uusien teknologioiden käytöstä. Tämä johtaa luonnollisesti korkeampaan myyntihintaan, joka saat-

taa heikentää kuluttajien ostovoimaa ja -halukkuutta. Tämä on merkittävä ongelma, sillä rakennusalan ajurina toimii ensisijaisesti raha ja kuluttajien kiinnostus ostaa kohteita.

Iso-Britanniassa on edelleen vihreitä rakennusprojekteja, jotka eivät täytä odotuksia tehokkuuden osalta huonon suunnittelun vuoksi, mikä voi johtaa jopa korkeampaan energiankulutukseen verrattuna rakennuksiin, joita ei ole sertifioitu vihreiksi (Zhang ym., 2019). Tällöin lisäarvo on entistä heikompi, sillä kokonaisuudessa on paitsi korkea hankintahinta, myös kalliit ylläpitokustannukset.

Myös Qian, Chan ja Khalid, (2015) ovat todenneet vihreiden rakennusprojektien sisältävän kustannuksia lisääviä toimintoja. Vihreän rakentamisen vaatiessa uusia toimintoja, liittyy niihin myös epävarmuutta, piilokustannuksien pelosta. Piilokustannukset vihreissä rakennusprojekteissa liittyvät usein hallinnollisiin ja myyntiin liittyviin seikkoihin. Tutkimukset ovat tuoneet esiin, että yksi merkittävä huolenaihe vihreän rakentamisen kustannuksissa on rakennuksen tehokkaan ylläpidon varmistaminen pitkällä tähtäimellä (Qian ym., 2015).

Vihreä rakentaminen ei ole yksiselitteinen prosessimuutos rakennustekniikoihin ja materiaaleihin vaan voi joissain tilanteissa aiheuttaa haasteita liittyen vihreän rakentamisen hyväksymiseen tai tähän siirtymiseen. Myers (2005) on huomauttanut, että Euroopassa kestäväan kehitykseen kohdistuva piittaamattomuus on yksi alueen merkittävimmistä ongelmista. Vaikka Myersin artikkeli on vanhempi, se nostaa esiin tärkeän huomion: rakennusalan monimutkaisuus ja pirstaleisuus tekevät siitä haasteellisen muuttaa nopeasti kohti kestävämpää kehitystä. Tämä ongelma ei ole vain tekninen tai taloudellinen, vaan se kytkeytyy syvemmin alaan liittyviin asenteisiin, arvoihin ja kulttuuriin normeihin.

Näiden havaintojen pohjalta on selvää, että vihreän rakentamisen edistäminen vaatii monitahoista lähestymistapaa. Se edellyttää sekä yksilöiden että organisaatioiden tasolla tapahtuvia muutoksia, jotka ulottuvat teknologisista ratkaisuista yhteiskunnallisiin ja kulttuuriin uudistuksiin. Tämä tarkoittaa, että kestäväan rakentamiseen siirtyminen ei ole pelkästään innovaatioiden ja rahoituksen kysymys, vaan se vaatii laajempaa sitoutumista ja ymmärrystä kestäväan kehityksen periaatteista kaikilla tasoilla.

On paljon kiisteltyä, miksi siirtyä vihreään rakentamiseen, kun nykyiset kohteet menevät huonosti kaupaksi ja ala on lamaantunut. Ngovi, (2001) on argumentoinut sen puolesta, että korkeamman hinnan asettaminen tai kilpailijoita alhaisemmat kustannukset ovat ainoita tapoja saavuttaa parempi kannattavuus. Maailmantilanteessa on tärkeä huomata, että ainoastaan ympäristöystävällisyys tai lupaus siitä, ei todennäköisesti ole tarpeeksi riittoisa väite saamaan ihmiset maksamaan inflaation myötä vielä suurempia hintoja asumisesta. Tällöin on tärkeää luoda esimerkiksi muita arvolupauksia, kuin vain ympäristöystävällisyys.

Yksi tapa lisätä arvoa kestäviin rakennushankkeisiin on jakaa sensoriteknologian hyödyt myös loppukäyttäjille. Älykotiominaisuuksien integroiminen rakennuksiin jo rakennusvaiheessa tarjoaa merkittävää lisäarvoa asukkaille sekä edistää ympäristön kestävyyttä. Älyrakennukset sisältävät laajan valikoiman antureita, toimilaitteita ja ohjausjärjestelmiä, jotka on yhdistetty toisiinsa luomaan verkosto, joka parantaa asumismukavuutta ja -turvallisuutta (Jia ym., 2019). Nämä teknologiat mahdollistavat rakennuksen eri järjestelmien, kuten lämmityksen, jäähdytyksen ja valaistuksen älykkään hallinnan. Älyominaisuuksien

voidaan nähdä lisäävän asukkaiden elämänlaatua samalla, kun pienennetään rakennuksen ympäristövaikutuksia.

Srivastavan ja kumppaneiden (2022) mukaan IoT-laitteet mahdollistavat myös energian säästämisen automatisoivien prosessien kautta rakennusvaiheessa esimerkiksi robotiikan hyödyntämisellä sementin valmistuksessa tai rakennuskohteen automaattivalvonnalla esimerkiksi droonien avulla. Samaa automaatiota voidaan myös hyödyntää energiatehokkuuden näkökulmasta, kuten esimerkiksi varmistamalla, että kaikki ikkunat ovat suljettuina ennen ilmastointilaitteen käynnistämistä (Kumar ym., 2021). Tämä estää energiaa hukkaamasta ja varmistaa, että ilmastoinnin käyttö on mahdollisimman tehokasta. Samoin IoT-laitteiden avulla voidaan tunnistaa potentiaaliset ongelmat, kuten kosteusvauriot, palohälytykset ja kaasuvuodot, jo ennen kuin ne muodostavat uhan asukkaiden terveydelle tai turvallisuudelle.

Lisäksi älyrakennusten seuranta ja tarkkailuominaisuudet tarjoavat ennennäkemättömän mahdollisuuden seurata rakennuksen tilaa reaaliajassa (Abuzzese ym., 2020; Chintalapudi ym., 2006; Dilakshan ym., 2021; G. Wang & Ke, 2024; Xu ym., 2011). Tämä mahdollistaa nopeat reagoinnit muuttuviin olosuhteisiin ja varmistaa rakennuksen järjestelmien optimaalisen toiminnan. Monitorointi ei ainoastaan paranna asumismukavuutta vaan myös mahdollistaa rakennuksen ylläpidon ja hallinnan tehostamisen, mikä johtaa pitkän aikavälin säästöihin ja ympäristöhyötyihin.

Älykotiominaisuuksien sisällyttäminen rakennusprojekteihin jo niiden suunnitteluvaiheessa tarjoaa laajat mahdollisuudet sekä asukkaiden elämänlaadun parantamiseen että rakennusten ympäristövaikutusten minimointiin. IoT:n hyödyntäminen rakennusalalla edustaa merkittävää askelta kohti kestävämpää ja älykkäämpää tulevaisuutta.

4.7 Yhteenveto

Vaikka IoT tarjoaa suuria mahdollisuuksia rakennusalalle, sen käyttöönotto ei ole suoraviivaista. Edistymisen esteenä ovat sekä tekniset että organisatoriset haasteet, jotka vaativat huolellista huomiota ja ratkaisuja. Tämän vuoksi on tärkeää kehittää kattavia strategioita, jotka käsittävät sekä teknologian integraation että käyttäjien koulutuksen ja standardien luomisen, jotta IoT:n potentiaali rakennusalalla voidaan täysin hyödyntää.

On huomioitavaa, että tutkimus IoT:n käytöstä rakennusalalla keskittyy pääosin sen soveltamiseen turvallisuuden parantamisessa, rakenteiden kunnan seurannassa ja liiketoimintaprosessien tehostamisessa. Konkreettisten hyötyjen ja sovellusten dokumentointi on jäänyt vähäiseksi, mikä luo epäselvyyttä IoT:n mahdollisuuksien täysimääräisestä hyödyntämisestä alalla (Khurshid ym., 2023). Tämän ongelman ratkaiseminen edellyttää syvällisempää tutkimusta ja parempaa dokumentointia IoT:n hyödyistä, jotta rakennusala voisi paremmin ymmärtää ja ottaa käyttöön näitä teknologioita. Konkreettisten esimerkkien ja tutkimustulosten jakaminen voisi merkittävästi edistää IoT:n soveltamista rakennusalalla, parantaen näin alan tehokkuutta, turvallisuutta ja kestävyyttä.

On myös huomioitavaa, että IoT-tekniikan hyödyntämisestä osana vihreää rakentamista, valtaosa kirjallisuudesta keskittyy käsittelemään sovellutuksia rakennuksen elinkaaren keskivaiheessa, eli valmistuneiden rakennushankkeiden kohdalla. Useimmiten kirjallisuudessa esitetyt vihreän rakentamisen arvonluontimahdollisuudet rinnastetaan reaaliaikaisen sensoridatan avulla luotuihin automaatioihin energiankulutuksen hallitsemiseksi (Bibri, 2018; Jia ym., 2019; Reddy & Kone, 2019; Zheng ym., 2020).

Yhteenvetona voidaan olemassa olevan kirjallisuuden pohjalta sanoa, että IoT:n soveltaminen rakennusprojekteissa ei ainoastaan paranna projektien tehokkuutta ja taloudellisuutta, vaan myös vahvistaa niiden kykyä vastata kestävä kehityksen vaatimuksiin. Tekniikan hyödyntäminen mahdollistaa uudenlaisen arvon luonnin, joka ei perustu pelkästään taloudelliseen hyötyyn, vaan myös ympäristölliseen ja sosiaaliseen vastuullisuuteen, tukien näin laajempia yhteiskunnallisia tavoitteita.

Arvonluonti voidaan nähdä rakennusalan kontekstissa monitahoisena konseptina, joka ulottuu organisaation sisäisistä prosesseista laajempiin yhteiskunnallisiin vaikutuksiin. Tämä monimuotoisuus on havaittavissa erityisesti tarkastellessa erilaisia arvonluonnin perspektiivejä, teoreettisia viitekehyksiä ja mittareita. Arvonluonnin organisaationäkökulmassa keskitytään sisäisen tehokkuuden parantamiseen ja asiakasarvon maksimointiin, kun taas yhteiskunnanäkökulmassa korostetaan yritystoiminnan laajempia sosiaalisia ja ekologisia vaikutuksia.

Teoreettisilla viitekehysillä, kuten B2B asiakasarvon viitekehys ja Kestävä arvon viitekehys, voidaan havainnoida välitöntä taloudellista arvoa kuin myös pitkän aikavälin kestävän arvon luontia. Viitekehykset auttavat yrityksiä tunnistamaan arvonluonnin eri ulottuvuuksia ja auttaa soveltamaan niitä käytäntöön tukien samalla yrityksen kasvua, kuin myös kestävä kehitystä. Arvonluonnin muodot ja mittarit -osiossa syvennyttiin liiketoimintamallien ja sidosryhmäperspektiivien merkitykseen. Liiketoimintamalliperspektiivi keskittyy tarkastelemaan arvon luontia arvolupauksen näkökulmasta. Arvolupaus toimii perustana, yhdessä liiketoimintamallin kanssa kilpailuedun saavuttamiselle. Tämän pohjana toimivat kysymykset siitä, miten ja millaista arvoa yritys luo tuotteillaan tai palveluillaan.

Rakennusalan on tunnistettu olevan voimakkaasti sidosryhmävetoinen, jolloin tarve ajatella enemmän sidosryhmävetoisesti korostuu. Sidoryhmäperspektiivi laajentaa näkemystä tunnistamalla myös yrityksen toiminnan vaikuttavan moniin eri ryhmiin ja aiheuttaen samalla molemminpuolisen hyödyn. Sidoryhmäteoria painottaa, että yrityksen arvopiiri koskee myös muita kuin vain asiakkaita ja osakkeenomistajia. Tämä korostaa, että arvonluonnin lähtökohtana toimii taloudellisten etujen lisäksi myös muut arvonluonnin keinot ja arvonluontia tulisi ajatella laaja-alaisempana kokonaisuutena, kuin vain suorana taloudellisenä tai resursseja säästävänä toimenä.

Sensorien langattomuus, helppo integroitavuus ja suhteellinen huoltovapaus tekevät IoT:sta erinomaisen tekniikan rakennusalle. Erityisesti rakennusalalla IoT:n sovellutuksissa korostuu innovaation ja tekniikan rooli arvonluonnissa. IoT yhdistettynä BIM:iin on oiva esimerkki tekniikaparista, jolla voidaan

mahdollistaa tehokkaampi resurssien käyttö ja tehostettu projektinhallinta, tuoden merkittävää lisäarvoa samalla yrityksille, kuin loppukäyttäjille sekä muille sidosryhmille.

Teknologian luonne mahdollistaa resurssien optimoinnin, jolla voidaan vähentää hukkaa ja pienentää ympäristövaikutuksia. Lisäksi jo olemassa olevien rakenteiden seurannalla mahdollistetaan nykyisten rakennusten pitkäikäisyys ja täten vihreämpi elinkaari. Teoriaosiossa käsiteltyjen aiheiden pohjalta voidaan muodostaa empiiristä osiota ohjaava teoreettinen viitekehys IoT:n roolin ymmärtämisestä vihreän rakentamisen kontekstissa. Viitekehys voidaan jakaa kolmeen elementtiin, IoT:n vihreän rakentamisen sovellutukset, IoT:n arvonluontimahdollisuudet eri sidosryhmille sekä vihreän rakentamisen haasteet, joihin kyseinen teknologia tarjoaa ratkaisua.

TAULUKKO 1: Teoreettinen viitekehys

Elementti:	Selite:
1. IoT:n sovellukset vihreässä rakentamisessa:	<p>Reaaliaikaisen datan hyödyntäminen esimerkiksi BIM:issä</p> <p>Etähallinta</p> <p>Energiatehokkuuden tehostaminen</p> <p>infrastruktuurin ja rakenteiden etäseuranta</p> <p>Toimitusketjun ja prosessien tehokkuuden parantaminen</p> <p>Automaatiot, älyominaisuudet</p> <p>Työturvallisuuden tehostaminen</p> <p>Resurssien ja materiaalivirtojen tehokkaampi hallinta</p> <p>Ympäristösertifiointin perusta</p>
2. Arvonluonti eri sidosryhmille	<p>Lisääntynyt tieto ja tehostunut viestintä</p> <p>Loppukäyttäjien käyttäjäkokemuksen kehittäminen</p> <p>lisääntynyt tehokkuus ja alentuneet kustannukset</p> <p>Toimitusketjun tehokkuus ja valvontamekanismien toimivuus avainasemassa kestävyuden parantamisessa</p> <p>Tehokkaampi tarvekartoitus ja tarpeisiin vastaaminen</p> <p>Sidosryhmäsuhteiden edistäminen, lisäarvon tuottaminen sidosryhmille</p> <p>Rakennusalan luonne on monimutkainen, joka hankaloittaa koordinoitua</p> <p>Tiedon on oltava johdonmukaista</p> <p>Integraatio ja käyttäjäkokemus ovat merkittäviä tekijöitä arvonluonnissa</p> <p>Tarpeellinen koulutus teknologian käyttöä varten on vaadittua</p> <p>Älykotiominaisuuksilla voidaan luoda lisäarvoa loppukäyttäjille alhaisemmilla kustannuksilla ja energiatehokkuudella</p> <p>Turvallisuuden lisääminen ja korjauskustannusten minimointi rakenneseurannalla</p> <p>IoT teknologia tarjoaa edullisia sovellutuksia saatuaan hyötyyn verrattuna</p>
3. Kestävän rakentamisen haasteet ja IoT:n rooli niiden ratkaisemisessa:	<p>Kasvavat kustannukset ovat haaste vihreässä rakentamisessa</p> <p>Kestävän kehityksen piittaamattomuus</p> <p>Muutoksia suunnitteluprosessiin kestävän rakentamisen periaatteita noudattaessa</p> <p>Ympäristön seuranta luonnonvoimilta on haastavaa ja kallista</p> <p>Merkittävä ongelma on suuri määrä jätettä</p> <p>Usein aikataulut ja budjetti ylittyy</p> <p>Liiketoimintamallit voivat kokea suuria muutoksia</p> <p>Lisääntynyt lainmukainen vastuu ympäristöasioissa</p>

5 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä luvussa keskitytään tutkimuksen empiirisen osuuden toteutusmenetelmiin, jotka perustellaan tutkimuksen taustan ja tavoitteiden avulla. Puolistrukturoidut teemahaastattelut valittiin aineistonkeruumenetelmäksi, mikä mahdollisti monipuolisen ja syvällisen tiedon keräämisen eri sidosryhmiltä. Esitellään, miten haastattelut suunniteltiin ja toteutettiin vastaamaan tutkimuksen kysymyksiin ja miten aineistoanalyysi hyödynnettiin tutkimusongelmaan pureutumisessa. Lisäksi avataan, miten tutkimuksen laatu ja luotettavuus varmistettiin analyysiprosessin aikana. Erityistä huomiota kiinnitettiin siihen, kuinka laadullinen aineistoanalyysi suoritettiin luomaan merkityksellisiä tuloksia. Käsitellään myös, millaisin menetelmin tutkimuksen objektiivisuus ja toistettavuus varmistettiin sekä kuinka metodologiset valinnat tukivat tutkimuksen tavoitteita ja edistivät kattavaa ymmärrystä sidosryhmien kokemasta arvonluonnista.

5.1 Tutkimuksen tavoitteet

Vihreän rakentamisen noustessa yhä enemmän ja enemmän relevantimmaksi konseptiksi osana rakennusalaan, on aiheeseen liittyvää tutkimuskirjallisuutta arvonluonnin näkökulmasta hyvin vähän. Tutkimuksen tarkoituksena on kartoittaa, millaisena eri rakennusalan sidosryhmät näkevät IoT-tekniikan avulla tapahtuvan arvonluonnin. Tutkimus tutkii yleisesti myös tekniikan käyttöönottoon liittyviä mahdollisia haasteita ja esteitä tämän laaja-alaisemmalle implementoinnille osaksi rakennusalaan. Aikaisempi tutkimuskirjallisuus lupaa IoT-tekniikalle merkittäviä hyötyjä, kuten kustannussäästöt, resurssioptimoinnin ja lisäksi turvallisuuden kasvun. Näistä huolimatta IoT-tekniikka ei ole rakennusalaan käytössä oleva ilmiö, siinä missä tämän voisi kuvitella olevan.

Lisäksi mielenkiintoa tämän tutkimuksen toteuttamiseen herätti myös rakennusalan lamaantuminen ja tämän pakottamat liiketoimintauudistukset yhdistettynä tulevan rakennuslain määräykseen lisätä ympäristöystävällisiä toimintatapoja rakennushankkeissa. Tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa, mil-

laista IoT:n luomaa arvoa eri sidosryhmät arvostivat ensisijaisesti vihreän rakentamisen näkökulmasta. Tutkimuksen tulosten tarkoituksena oli havainnollistaa IoT-tekniikan potentiaalia nykyistä laaja-alaisemmin arvonaluonnin näkökulmasta, edistäen tekniikan omaksumista alalla. Lisäksi tutkimus pyrki kartoittamaan tietoa siitä, miksi rakennusteollisuus ei vielä hyödynnä IoT-tekniikkaa siinä missä muut alat. Tutkimuksen toteuttamista ohjasivat seuraavat kysymykset:

1. *Miten IoT-tekniikan hyödyntäminen vihreissä rakennushankkeissa luo arvoa rakennusosalalla?*
2. *Miten IoT-tekniikka voi uudistaa vihreän rakentamisen liiketoimintamallia ja sen arvonaluonnetta?*

Näiden kysymysten tarkoituksena oli ohjata tutkimusta kartoittamaan tietoa IoT:n arvonaluontimahdollisuuksista, joita ei aikaisemmin kirjallisuudessa olla vielä löydetty, mutta samalla myös tukemaan jo olemassa olevia löydöksiä. Lisäksi tieto mahdollistaisi yksityiskohtaisemman jaottelun eri sidosryhmien kesken. Mahdollisuus on myös sille, että IoT-tekniikka ei tarjoa riittävästi luotua arvoa suhteessa kustannuksiin, jolloin tämän laaja-alaisempi käyttö rakennusprojekteissa ei ole järkevää.

5.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkimusmenetelmän valinnan pohdinta aloitettiin miettimällä minkä tyyppinen aineisto vastaa tutkimusongelmaan parhaiten. Tutkimusmenetelmäksi valikoitui kvalitatiivinen menetelmä. Laadullinen tutkimus keskittyy enemmän ilmiön syvälliseen tarkasteluun, kun taas kvantitatiivinen tutkimus keskittyy ilmiön yleisempään määrälliseen selvittämiseen (Eskola & Suoranta, 1998). Tutkimus pyrki kuvaamaan syvemmin rakennusalan spesifiin rakennustapaan rinnastettavia arvonaluontiin liittyviä havaintoja, jolloin laadullinen analyysi soveltuu tähän käyttötarkoitukseen paremmin. Eskola ja Suoranta (1998) selventävät, että laadullisen tutkimuksen päämäärä ei ole tilastolliset yleistyksiset, vaan syventyä kuvaamaan ja ymmärtämään tiettyä tapaa tai toimintaa tai antaa teoreettinen näkökulma ja tulkinta tutkittavasta ilmiöstä.

Tässä tutkimuksessa lähestytään rakennusalan vihreän rakentamisen osaluuetta IoT:n liiketoiminnallisen hyödyn näkökulmasta. Tavoitteena on ymmärtää ja syventyä siihen, miten tekniikka voi edistää kestävästä arvonaluontia rakennusosalalla sidosryhmien välillä. Tutkimus jakautuu kahteen pääosaan: teoreettinen osio, joka on toteutettu narratiivisena kirjallisuuskatsauksena ja empiirinen osio, joka on toteutettu laadullisena tutkimuksena. Teoriaosio pyrkii muodostamaan kokonaiskuvan rakennusalan toiminnasta, tämän nykyisistä arvonaluontikeinoista sekä jo käytössä olevien IoT-ratkaisujen tilanteesta.

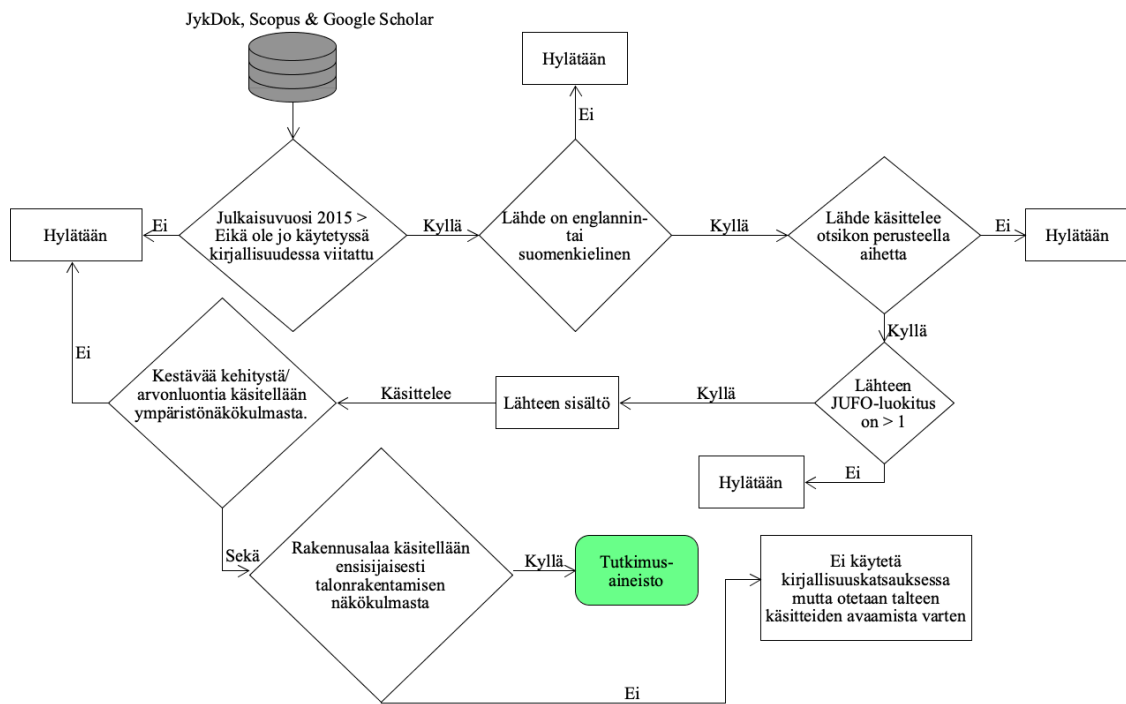
5.2.1 Teoriaosio

Teoreettisessa osassa rakennetaan viitekehys, joka auttaa hahmottamaan IoT:n roolia vihreässä rakentamisessa ja tarkastelemme olemassa olevaa kirjallisuutta. Tätä tukeaksemme, keräämme aineistoa laajasta kirjosta tietokantoja, kuten JykDok, Scopus ja Google Scholar. Aineistohaussa on hyödynnetty tietokannasta riippuen muunneltua tapaa esittää seuraava hakulauseke:

“TITLE-ABS-KEY (“IoT*” AND (construction* OR buildi*) AND (“energy efficiency” OR value OR crea*) AND (sustain* OR” green build*” OR” green const*))”

Tavoitteena on kartoittaa kirjallisuuden avulla aiheen nykytilaa ja tunnistaa keskeiset teemat sekä trendit. Hakulausekkeella mahdollistetaan laaja niin arvionluontiin, IoT-teknologiaan kuin vihreään rakentamiseen liittyvä aineisto. Aineistonhankinta ja -valintaprosessi on kuvattu tarkemmin Kuviossa KUVIO 6. Aineiston rajaamiseksi, on aineistonkeruuprosessissa ensisijaisesti rajattu julkaisujen tuoreus viimeisimmän 7 vuoden ajalle poissulkien tilanteet, joissa esimerkiksi teoria tai viitekehys on mahdollistanut aikaisemmat merkittävät tulokset. Toisena poikkeuksena aineiston ikään on tämän viitteet aikaisemmassa kirjallisuudessa. Aineisto on sisällytetty, mikäli valintakriteerit täyttävässä kirjallisuudessa tähän on viitattu ja aineisto on oleellinen tutkimuksen kannalta.

Aineistosta jätettiin pois tutkimukset, jotka olivat muulla kielellä kuin Suomi tai Englanti. Aineistosta rajattiin pois myös tapaukset, joissa tutkimuksen painotus oli enemmän teknillisessä näkökulmassa, kuin sovellutuksien tai arvionluonnin näkökulmassa. Tutkimukset, joissa käsiteltiin pelkästään älykaupunkeja, ottamatta kantaa vihreään rakentamiseen tai teknologian implementointiin, jätettiin sisällyttämättä. Tutkimusaineiston lopullinen valinta ja sisällytys tapahtui ensin silmäilemällä tutkielmien otsikko, tämän jälkeen tiivistelmä ja mikäli tässä vaiheessa tutkimus edelleen osoittautui relevantiksi, toteutettiin lopuksi vielä pintapuolinen tarkastelu. Lisäksi kirjallisuuskatsausta tehdessä syvemmän tarkastelun pohjalta pudotettiin pois artikkelit, jotka eivät tuottaneet uutta tietoa aiheesta tai joiden tutkimuksen validiteetti koettiin puutteelliseksi. Yksi yleinen hylkäämisen kriteeri oli englannin kielen ”Sustainable” -sanon monitahoinen merkitys. Siinä missä termi viittaa ympäristönäkökulmasta kestävään, voidaan tällä tarkoittaa myös arvionluonnin kontekstissa pitkäkestoista, pysyvää arvoa. Jälkimmäistä käsitettä tarkastelevat artikkelit jätettiin katsauksen ulkopuolelle, mikäli ne eivät käsitelleet aihetta kestävä kehityksen näkökulmasta.



KUVIO 6: Tutkimuskirjallisuuden valintaprosessi ja -perusteet

Aineisto käytiin läpi ja täältä poimittiin tutkimuksen kannalta oleelliset sitaatit ja teemat. Teemat ja sitaatit käytiin tämän jälkeen läpi, jaotellen ne eri aihealueittain tutkimuksen raakarungon mukaan. Tämän jälkeen muodostettiin argumentit havaittujen ristiriitojen ja puutosten mukaan, jonka lopullisena seurauksena saatiin luotua tutkielmalle teoreettinen viitekehys, joka kokonaisuudessaan on nähtävillä liitteessä LIITE 1: Teoreettinen viitekehys lähteineen

5.2.2 Empiirinen osio

Empiirinen osio puolestaan keskittyy laadulliseen tutkimukseen asiantuntija-haastattelujen kautta. Asiantuntija-haastattelut ovat toteutettu teemahaastatteluin eri rakennusalan sidosryhmille. Vastaajat ovat valikoitu niin, että heidän tietonsa ja kokemuksensa arvioidaan olevan riittävät vastaamaan asiantuntevasti useamman kuin yhden sidosryhmän puolesta, mahdollistaen laajemman aineistonkeruun pienemmällä otannalla. Tutkimuksen havaintojen yleistämisen kannalta tämä ei ole tehokkain lähestymistapa, mutta kartoitettaessa suhteellisen tuoretta aihetta, olen nähnyt parhaaksi toimia induktiivisen eli tietoa yleistävän päättelyn mukaan. Tämä luo myös tarpeen jatkotutkimukselle, jossa esitettyjä väitteitä voidaan määrällisin menetelmin testata.

Tavoitteena tutkimuksen avulla on saada syvällistä ymmärrystä siitä, kuinka IoT edistää arvonluontia vihreässä rakentamisessa eri näkökulmista. Näkökulmat ovat esimerkiksi sidosryhmien, kuten laitevalmistajien, rakennussuunnittelijoiden ja loppukäyttäjien eli esimerkiksi talon asukkaiden näkökulmia. Haastattelut on toteutettu hyvin vähäisesti rajatuin puolistrukturoiduin haastattelumenetelmin, mikä on mahdollistaa Myersin ja Newmanin (2007) mukaan

vastausten kokemusperäisyyden, monipuolisuuden sekä moninäkökulmaisuu-
den yhden henkilön toimesta.

Haastateltavien valinta perustui verrattain tiukkoihin kriteereihin. Haasta-
teltavat valikoitiin IoT-teknologian- ja rakennusalan asiantuntijuuden tason pe-
rusteella. Valinnoissa painotettiin mahdollisimman monipuolista kokemusta ja
ymmärrystä rakennusalan toiminnasta. Edellytyksenä oli myös ymmärrys IoT-
teknologian peruseräistä.

Valinnoissa hyödynnettiin omaa, olemassa olevaa ammattiverkostoa hel-
pottamaan riittävän ennakkotietotason ja avoimen keskustelun luonteen mah-
dollistamista. Haastateltavia on myös valikoitu tutkittavien suositusten perus-
teella, laajentamaan näkökulmia ja tuomaan useampien sidosryhmien edustajien
ääntä tutkimukseen. Kaikille haastateltaville on esitetty ja lähetetty selkeä tutki-
musta koskeva tietosuojaseloste, jossa kerrotaan tutkimuksen tavoitteista ja luon-
teesta. Olen pyrkinyt varmistamaan, että jokainen haastateltava ymmärtää osal-
listumisensa olevan paitsi vapaaehtoista, myös mahdollista keskeyttää milloin
tahansa ilman erityisiä perusteluja. Aineiston analyysiprosessissa on hyödyn-
netty sisältöanalyysiä, joka on muodostettu litteroidun aineiston koodaamisen
perusteella. Analyysiprosessi noudattaa Alasuutarin (2011, ss. 126–131) kirjas-
saan esittelemää sisältöanalyysin periaatteita seuraavasti: Haastattelut on nau-
hoitettu ja litteroitu, jotta voidaan keskittyä tarkemmin vastausten sisältöön. Lit-
terointi mahdollistaa teemojen tarkemman tunnistamisen ja yhteneväisyyksien
ilmenemisen eri sidosryhmien keskuudessa.

Aineisto pyritään jaottelemaan samoja teemoja kuvaaviksi osiksi, joilla on
yhteisiä piirteitä koskien samaa aihetta tai havaintoa. Abduktiivista analyysiä
hyödyntämällä tulokset on muodostettu yhdessä haastatteluaineiston sekä teo-
reettisen viitekehyksen pohjalta. Erotetut havainnot on tutkittu syvällisemmin,
jossa niiden välille on etsitty merkityksiä ja kausaalisuhteita. Havainnot on myös
yhdistetty mahdollisuuden mukaan teoreettisen viitekehykseen sekä aikaisem-
min tutkimuksessa esiintyneisiin selitysmalleihin. Lopuksi deduktiivista logiik-
kaa käytetään tarkastelemaan arvonluontia rakennusalan liiketoimintamallin
prosessien näkökulmien mukaan eri sidosryhmien eroavaisuuksia korostaen. Ai-
neistoa kerätessä on huomioitu eettiset näkökulmat, kuten tietosuoja, osallistu-
jien suostumus sekä vastausten ohjailemisen välttäminen kohti tiettyä päämää-
rää. Seuraavaksi syvennytään tarkastelemaan kirjallisuuden pohjalta esiintyviä
havaintoja rakennusalan luonteesta, nykytilanteesta haasteista, jonka jälkeen sy-
vennytään tarkastelemaan IoT-teknologiaa. Tämän jälkeen tarkastellaan arvon-
luontia rakennusalan, vihreän rakentamisen ja IoT:n sovellutuksien näkökul-
masta.

5.3 Aineistonkeruuprosessi

Eskolan ja Suorannan (1998, s. 14) mukaan laadullisen tutkimuksen yhtenä
pääkriteerinä ei ole aineiston määrä vaan tämän laatu. Tätä ohjaa harkinnanva-
rainen otanta, jossa korostuu tutkijan kyky rakentaa vahva teoreettinen perusta,
joka ohjaa aineiston hankintaa. Tässä tutkimuksessa on pyritty rakentamaan

mahdollisimman kattava otanta keskittyen siihen, ettei tutkimusaineistoa kerry liikaa, jonka seurauksena aineistoanalyysin laatu kärsii.

Aineistonkeruumenetelmäksi valikoitui haastattelu, sillä haluttiin tuottaa tietoa mahdollisimman laajasti eri rakennusalan sidosryhmiltä. Haastattelu on ennalta suunniteltu vuorovaikutustilanne, joka on haastattelijan paitsi aluilleen laittama, myös tämän ohjaama (Hirsjärvi & Hurme, 2022). Hirsjärven ja Hurmeen (2022) mukaan haastattelulla on mahdollisuus tuoda esille tiedon lisäksi usein myös taustalla olevia motiiveja, jotka ovat tämän tutkimuksen kannalta oleellisia. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina teemahaastatteluina. Myersin ja Newmanin (2007) mukaan puolistrukturoidussa haastattelussa tutkijalla on joi-tain valmiita kysymyksiä, mutta haastattelun edetessä tämä keksii keskusteluun sopivia uusia kysymyksiä. Hirsjärvi & Hurme (2022) ovat jalostaneet puolistruk-turoidusta haastattelusta käsitteen teemahaastattelu, joka heidän mukaansa kes-kittyy valtaosin aihetta koskevaan teemaan. Teemahaastattelu eroaa muista puo-listrukturoiduista haastattelumenetelmistä jättäen pois järjestyksen ja tarkan muodon ennalta laadituista tutkimuskysymyksistä.

Haastattelua varten on laadittu joukko tutkimuskysymyksiä, joita haasta-teltavan mukaan räätälöitiin koskemaan tarkemmin heidän toimialaansa, mah-dollistaen syvemmän ja laajemmin omiin kokemuksiin ja mielipiteisiin pohjau-tuvat vastaukset. Haastattelut toteutettiin sekä lähi-, että etähaastatteluina hyö-dyntäen Microsoft Teams -virtuaalokokousalustaa kokoukseen sekä aineiston tal-lentamiseen. Haastattelun luonne oli keskustelunomainen, välttämättä tutkijan mahdollista vaikutusta vastausten luonteeseen. Tutkija esitti uusia kysymyksiä pohjautuen kysymysrunгон tukikysymysten pohjalta heränneeseen keskuste-luun. Tutkija pyrki parhaalla mahdollisella tavalla pysymään neutraalina, esit-täen kysymykset niin, ettei haastateltavaa ohjata sanomaan ennalta määritettyjä asioita.

5.4 Teemahaastattelujen toteuttaminen

Haastattelut aloitettiin kirjallisuuskatsauksen ollessa riittävän kattavassa vai-heessa. Riittävän kattavalla tarkoitetaan sitä, ettei uusia merkittäviä tutkimus-havaintoja aikaisemmasta kirjallisuudesta enää löydy, jotka voisivat ohjata haas-tatteluiden kulkua tai sisältöä. Tutkimukset toteutettiin aikavälillä 27.2.2024-14.3.2024. Taulukossa TAULUKKO 2, on esitetty haastateltavien tehtävänimike / toimiala sekä kokemus rakennusosalalla toimimisesta. Rakennusalan kokemuk-sen katsotaan olevan yhteydessä ennako-oletuksiin sekä alan tuntemukseen. Kokemus on kuvattu suurpiirteisesti, kategorisoimalla kokemuksen olevan joko alle viisi vuotta, yli viisi vuotta tai yli kymmenen vuotta, henkilöiden yksityisyy-den suojaamiseksi.

TAULUKKO 2: Haastateltavat

Koodi	Tehtävänimike/Toimiala	Kokemus rakennus- alalla
R1	Insinööritoimisto/Toimitusjohtaja	> 10 v
R2	Rakennuttajatoimisto / Rakennustöiden valvoja/Ohjelmistokehittäjä	> 5 v
K1	Laitteisto Myynti/Koulutus	> 10 v
S1	Suunnittelutoimisto / Kestävän kehityksen johtaja	> 5 v
L1	Laitevalmistaja / Liiketoiminnan kehityspäällikkö	< 5 v
L2	Laitevalmistaja / Operatiivinen johtaja	< 5 v
L3	Laitevalmistaja / tuotepäällikkö	< 5 v
L4	Laitevalmistaja / CMO/Markkinointijohtaja	< 5 v
O1	Ohjelmistoyritys / Operatiivinen johtaja	> 5 v

Teemahaastattelujen sisältö rakentui kahden eri teeman sisälle, jotka olivat IoT laitteet sekä vihreä rakentaminen. IoT -laitteita koskevat kysymykset eristettiin vihreän rakentamisen kontekstista. Tutkimuskysymykset pitivät sisällään kysymyksiä havaituista käyttötarkoituksista, mahdollisista koetuista haasteista sekä muista omista havainnoista teknologiaa kohtaan. Vihreä rakentaminen puolestaan piti sisällään kysymyksiä IoT teknologian hyödyntämisestä osana vihreää rakentamista. Tutkimuskysymykset käsittelivät vihreän rakentamisen osa-alueita, joilla haastateltavien mielestä IoT tarjoaa merkittävää arvoa. Haastattelukysymykset ovat listattuna liitteessä LIITE 1: Haastattelukysymykset

Ennen haastatteluun osallistumista, haastateltaville toimitettiin tietosuojalomake, joka piti sisällään suostumuksen tutkimukseen sekä tietoa siitä, mitä tutkitaan ja mitä tietoja tutkittavista kerätään. Tutkittaville annettiin myös mahdollisuus lisätietojen tiedusteluun. Lisäksi haastateltaville toimitettiin ennakkotietopaketti, joka piti sisällään havainnollistuksen sekä esimerkkejä siitä, mitä IoT:lla ja vihreällä rakentamisella tarkoitetaan. Tämän tarkoituksena oli poissulkea tutkittavien epävarmuudet siitä, mitä IoT tarkoittaa ja mitkä ovat IoT:n käyttökohteita. Tutkimuspaketti piti myös sisällään esimerkkejä IoT:n sovellutuksista rakennusalaalla laajentamaan omien havaintojen mahdollisuutta.

Aineisto kerättiin Microsoft Teams -etäkokoussovelluksen tallennusominaisuudella. Älypuhelimien sanelinta käytettiin varakeinona varmistamaan aineiston tallennus. Lähihaastatteluissa hyödynnettiin tallennuslaitteeseen liitettyjä nappimikrofoneja poistamaan mahdollinen taustamelu sekä lisäksi keskustelu tallennettiin myös tietokoneen mikrofonin välityksellä mahdollisten teknisten virheiden varalta. Aineisto litteroitiin, käyttäen apuna Office365 -palvelupaketin litterointiominaisuutta ja litteroinnit tarkastettiin jälkikäteen manuaalisesti. Kokonaisaineisto oli litteroituna 138 sivua.

5.5 Aineiston analyysi

Analyysi toteutettiin teema-analyysina. Analyysissa hyödynnettiin Atlas.Ti Web -ohjelmistoa, jolla aineisto koodattiin. Ohjelmiston avulla poimittiin aineistosta oleelliset tiedot teknologian haasteista, sovellutuksista sekä siitä, millaista arvoa eri sidosryhmät arvostavat tai odottavat teknologian tuovan. Haastatteluiden L1, L2, L3 ja L4 kohdalla hyödynnettiin tekoälytyökalua "DeepL" aineiston kääntämiseen suomen kielelle. Aineisto käytiin tämän jälkeen läpi vielä manuaalisesti korjaten mahdolliset käännösvirheet. Koodausvaiheessa pyrittiin tunnistamaan rakennusalan haasteita ja lisäksi keräämään mahdollisesti esiintyneet sovellutus-ideat vihreän rakentamisen näkökulmasta.

Koodaus mukailee Alasuutarin (2011, s. 110) esittämää koodaustapaa, jossa koodaus noudattaa teemahaastattelun runkoa. Alasuutarin mukaan tällöin aineistosta pyritään nostamaan esille tekstikohtia, jotka kertovat havaintoja liittyen kyseiseen teemaan. Koodattua aineistoa tarkasteltiin ja luotujen koodien pohjalta muodostettiin 8 koodiryhmää, jotka koostuivat samaa teemaa käsittelevistä koodista. Koodit sekä koodiryhmät ovat näkyvillä taulukossa (TAULUKKO 3). Koodin perässä on sulkeisiin merkattu koodin esiintyvyys aineistossa. Koodilla merkitty aineisto on kokonainen lause, joka sisältää kontekstin ja sisällön liittyen merkittyy koodiin. Tämän takia sama koodi voi esiintyä useassa eri aineistossa tai samassa aineistossa useaan kertaan. Koodiryhmien lisäksi on muodostettu ryhmä: muut. Koodiryhmä sisältää tutkimuksen kannalta relevantit havainnot, jotka eivät lukeudu muun koodiryhmän alle. Aineistoa on nostettu esille silloin, kun tämä on ollut relevanttia käsitellyn aiheen kohdalla.

TAULUKKO 3: Haastatteluaineiston koodiryhmät, koodit ja koodien esiintyvyys

IoT Haasteet	IoT Hyödyt	IoT Käyttötarkoitukset
Hankintakustannus (4)	Aikasäästö (16)	Aikataulutus (1)
Korkea hankintahinta (3)	Kustannussäästö (19)	Automaatio (10)
Kustannus (4)	Lisääntynyt tuottavuus (14)	Datajakaminen (4)
Tiedon luotettavuus (2)	Lisääntynyt turvallisuus (7)	Ympäristön seuranta (1)
Olosuhteet (2)	IoT hyöty yleisesti (11)	Energiankulutuksen vähentäminen (2)
Pilvipalvelut (1)	Datan analyysi ja tulokset (2)	Etähallinta (1)
Yhteys (5)	Automaatio (4)	Inhimillisten virheiden välttäminen (2)
Suuri datamäärä (1)	Automaattinen dokumentointi (6)	Kierrätys (2)
Taloudellinen Kannattavuus (3)	Laadun varmistaminen (5)	Virtuaalinen Työmaakierros (1)
Tietoturva (3)	Reaaliaikainen data (14)	Monitorointi / Rakenteiden seuranta (11)
Töiden menetys (2)	Artefaktien seuranta (9)	Rakennushankkeen kestävyysmittaus (4)
Hankala käyttää (7)	Rakennuksen arvonnousu (1)	Älykaupunki (3)
Rakennusalan haasteet	AI	Sidosryhmät
Hitaiden muutosten vaikutus (1)	Tekoäly (5)	Sijoittajat (4)
Kommunikointi (1)		Datan analysoijat (2)
Konservatiivinen luonne (6)	IoT Käyttöönotto	Johtoporras (11)
Kouluttamattomuus (11)	Käyttöönotto: Ei yleistä (3)	Laitevalmistajat (2)
Matala kilpailu (2)	Käyttöönotto: Verrattain yleistä (3)	Loppuasiakas (13)
Muutosten hallinta (4)	Vihreä rakentaminen	Materiaalien toimittajat (2)
Rakennusosalalla esiintyvät yllättävät muuttajat (5)	Vihreä Rakentaminen: Motiivi (6)	Rakennusmestarit (5)
Teknologian käytön epävarmuus (1)	Vihreä rakentaminen: Nykytila (6)	Projektipäälliköt (5)
Tietämättömyys teknologian kyvyistä (9)		Rakennusalan ammattilaiset (4)
Uskottomuus innovaatioita kohtaan (1)		Rakennuttaja (6)
Muutosvastarinta (1)	Muut	Suunnittelijat (8)
Laadukkaan tiedon tärkeys (7)	Esimerkkitapaus (4)	Työntekijät (16)
Luonnonvoimat (1)	Havainto (13)	Rakennustöiden valvojat (1)
Rakennusalan haastava luonne (2)	IoT mahdollisuus (4)	Pääurakoitsija (4)
Ympäristökuormitus (4)	Tarve (3)	

6 TULOKSET

Haastateltava K1 kertoi olevan hyvin harvinaista, ettei nykyisin myytävissä koneissa tai kalustossa olisi mahdollisuutta edes jollain tasolla kytkeä laitetta osaksi internettiä joko suoraan tai päätelaitteen kautta. Hänen mukaansa hankkeen tilaajat osaltaan myös vaativat laitteilta tietyn tasoista valmiutta etäohjaukseen ja analytiikkatietojen keräämiseen.

”Se on niinkun harvinaista, että sitä ominaisuutta ei ole siinä koneessa tai laitteessa ole. Se on enempikin näin päin, että kyllä se on niinku semmoinen aika lailla itsestäänselvyys mitä tilaajat tietysti vaatii. Tietyt menetelmät ja valmiudet pitää olla koneessa valmiina, muuten työmaalle ei tulla koneiden kanssa. Urakoitsijan on huolehdittava, että ne ovat kunnossa, ja GNSS-satelliittipaikannus on yksi näistä.” -K1

R1 puolestaan kertoo hyödyntävänsä IoT-teknologiaa tällä hetkellä esimerkiksi rakenteiden seurantaan. Hänen mukaansa tilaajat eivät ole olleet tietoisia teknologian tarjoamista hyödyistä alalla, mutta ovat olleet positiivisesti yllättyneitä tuloksista.

”Luotiin hankkeeseen kohtuulliseen iso tuota niin täkymetripohjainen monitorointijärjestelmä, joka tuottaa raporttia internetin välillä tota suoraan päämiehelle ja meille.” -R1

”Meidän toiminta on niinku perustunut siihen, että me ollaan haettu sitä uusinta tekniikkaa ja sitä kautta niinku tehoja tähän tuottavuutta lisää ja me ollaan niinku tässäkin asiassa tavallaan oltu niin kun meidän alueella ensimmäinen ja me ollaan pystytty hinnoittelemaan se sitten sillä tavalla, että se on asiakkaalle pikkaisen halvempi kuin tuo manuaalinen tapa.” -R1

S1 puolestaan kertoo näkevänsä todella suuren potentiaalin IoT-ratkaisuilla vihreän rakentamisen näkökulmasta, mutta suunnittelun näkökulmasta IoT-ratkaisut eivät toistaiseksi näyttele kovin suurta roolia vihreässä tai perinteisessä rakentamisessa. S1 kertoo ilmiöksi erinäisten IoT-ratkaisujen nousevan sieltä täältä pinnalle, mutta ratkaisujen linkaari on hänen mukaansa verrattain lyhyt.

R1 toteaa, että hänen toiminta-alueellaan ja työtehtävissä ei IoT-ratkaisuja olla hirveästi nähnyt muiden toimijoiden toimesta. Siirryttäessä pääkaupunki-seudulle, IoT-järjestelmät ovat jo osaltaan löytäneet paikan rakennushankkeissa. R2 kertoo nähneensä useita erilaisia IoT-ratkaisuja kohtaamissaan rakennushankkeissa. R2 nimeämässä käyttötapauksissa IoT-teknologian sovellutukset ovat näyttelleet vahvaa roolia myös vihreän rakentamisen näkökulmasta, erityisesti materiaalien optimoinnin kontekstissa.

”Tämmöisiä betonin kovettumisen käytettäviä IoT-järjestelmiä on. Ne esimerkiksi kertoo ne laitteet, että onko vaikka sähkötkö poikki, tai että jos se meinaa se paikallavalurakenne jäätyä talvella, niin ne lähettää push-ilmoituksen määrätuille henkilöille, että nyt on liian kylmää. Tai että nyt on sähkötkö poikki ja siellä ei toimi lämmitykset, että nää paikallavalurakenteet niinku jäätyy ja sehän on katastrofi, koska kun ne pääsee jäätymään, sitten pitää käytännössä purkaa ja piikata ja tehdä uudestaan.” -R2

R2 kertoo, että IoT on myös laajalti käytössä laadunvarmistuksen toimissa. Laadunvarmistuksella hän tarkoittaa esimerkiksi rakenteiden kosteuden seurantaan IoT-kosteus- ja lämpömittareilla, jolloin voidaan varmistaa, että riittävässä olosuhteissa rakenne saa edellytykset kuivua.

”Täytyy ottaa huomioon myös se, että IoT:ta käytetään todella paljon laadun varmistamiseen rakennusosalalla. Onko se laadun varmistaminen sitten varmaankin ehkä enemmänkin pääurakoitsijan niinku selän turvaamista sillä, että ne asiat on tehty oikein, mutta päällimmäisenä tuo laadunvarmistus on yleisin sovellutus mihin olen törmännyt ja mitä itse olen käyttänyt.” -R2

R2:n mukaan IoT on laajalti käytössä myös työmaan seurannassa, joka kattaa työmaan edistymisen seurannan sekä mahdollisuuden tarkkailla työntekijöiden sijaintia.

”Annetaan jokaiselle työntekijälle semmoinen pieni tagi ja se näyttää, että kuinka pitkän aika se työntekijä on ollut missäkin lohkolla, minkäkin verran ja onko se käynyt milloin syömässä. Niitä käytetään niinku aika paljon isoilla työmailla, kun halutaan nähdä, että missä on työntekijöitä tekemässä mitäkin työvaihetta. Niitä ei saa käyttää henkilön työajan seurantaan, vaan niitä käytetään niinku siihen, että jos väliseinämiehet on menossa vitoskerroksessa ja maalarit on tulossa neloskerroksessa, että meneekö työvaiheet niinku oikeassa järjestyksessä.” -R2

Yksi suosittu nykyinen IoT-sovellutus on UAV-lennokkien eli tuttavallisemmin droonien hyödyntäminen aineiston keräämisessä. K1 ja R2 raportoivat droonien käyttökohteiksi esimerkiksi infrakohteiden eli teknisten perusrakenteiden, kuten liikenneverkkojen, puistoalueiden ja myös muun rakentamisen tiedonhankinnan.

”Tänä päivänä saadaan niinku puuston kuutiot hyvinkin tarkkaan määriteltyä ihan ilmasta käsin, dronella tai satelliittikuvista tai muuta. Että ne kun on äärettömän semmoisia tarkkoja jo nykyisin, että ettei tarvitse enää siellä metsässä, haahuilla ja kävellä ja mitata rungon korkeusympärysmittaa puusta ja sitten katsoa jollain kallistusanturilla että 'mitä se mitta nyt olikaan?'.” -K1

"Paljon tehdään kuvantamisia ylhäältäpäin. Eli jos halutaan tällaista esimerkiksi infrakohteissa, niin ne on niinku joo dronehommaa. Mutta meilläkin uudis- ja korjaamisrakentamisessa tehdään niitä silleen, että ne on niinku automatisoituja prosesseja." -R2

IoT-teknologioiden sovellutuksia on laajemmin havaittavissa ulkomailla rakenteiden seurannassa. L4 kertoo IoT teknologian olevan laaja-alaisesti sovellettu esimerkiksi katastrofitilanteissa, kuten maanjäristysten aiheuttamien muutosten tarkkailemiseen rakenteissa. K1 myös kertoo törmänneensä laajemmin IoT:n avulla suoritettuun rakenneseurantaan esimerkiksi Lontoon metrotunneleissa.

"Kun olimme Lontoossa ja käytettiin metroa, huomattiin siellä runsaasti mittauslaitteita." -K1

Yksi merkittävimmistä tällä hetkellä käytössä olevista IoT-järjestelmistä on jo aikaisemmin kuvattu rakenteiden seurantaan keskittynyt järjestelmä.

"Yksi mikä on kanssa tehty IoT-pohjaisesti täysin, mikä on äärettömän tärkeä ja se on itseasiassa myös rakennusviranomaisen määräämä mikä on sinällään harvinaista, koska moni näistä asioista ei ole. Ne on vaan niinku tullut rakentamisen aikana, mutta muuttunut yleisesti alalla käytettäväksi, siis tärinähälyttimet. Eli kun tehdään louhimis- ja räjäytystöitä, niin lähellä olevien rakennuksien perustuksiin ja runkorakenteisiin pitää asentaa tällaisia hälytysjärjestelmiä." -R2

L1:n mukaan IoT on viime vuosina auttanut rakennusalaa merkittävästi sekä vanhojen että uusien rakenteiden seurannassa.

"Käytännössä autetaan myös hyvin vanhoja rakenteita, joilla on ongelmia, huolto-ongelmia ja kaikkea niihin liittyvää. Joten joo, periaatteessa uskon, että kaikki markkinoilla olevat anturit ovat erittäin hyviä. Kaikille rakennustyömaan komponenttien seurannan osa-alueille" -L1

R2 toteaa, että yksi harvoista rakennusviranomaisten edellyttämistä IoT-pohjaisista järjestelmistä on juuri tärinämittarit. Tällä halutaan ennaltaehkäistä muihin rakenteisiin kohdistuva haitta, rakennettaessa alueelle, joka sisältää ennestään rakenteita. L4 lisää, että IoT-teknologioiden ja dynaamisen seurannan soveltaminen infrastruktuurin hallintaan tarjoaa merkittäviä etuja, mahdollistaen nopeiden muutosten ja värähtelyjen tunnistamisen ja analysoinnin reaaliajassa.

"IoT-anturit tulevat muuttamaan kaiken, koska ne mahdollistavat jatkuvan ja etävalvonnan infrastruktuureista algoritmien avulla, jotka analysoivat eri parametreja infrastruktuurin sisä- ja ulkopuolella." -L4

"Nopeat muutokset ja värinät, vaikuttavat infrastruktuuriin. Tietyt värinät voivat liittyä siihen, miten tämä rakenne reagoi. Esimerkiksi juna, joka kulkee ohi, myrskyt, veden virtaus rakenteen läpi esimerkiksi silloissa ja pilareissa. Data ja analytiikkatyökälu, joita meillä on käytössä dynaamiseen seurantaan, antavat meille mahdollisuuden ymmärtää ja huomata infrastruktuurin vastaukset nopeisiin muutoksiin." -L4

Tämä antaa mahdollisuuden ymmärtää syvällisesti infrastruktuurin reagointia nopeisiin muutoksiin ja parantaa täten rakenteiden suunnittelua, rakentamista ja ylläpitoa, mikä johtaa turvallisempiin ja kestävämpiin ratkaisuihin.

Vastaajista R2 oli ainoa, joka kertoi törmänneensä laajemmin vihreisiin rakennushankkeisiin. Syyksi tämänhetkiseen laajaan niin IoT:n laaja-alaiseen käyttöönnottoon kuin vihreiden rakennushankkeiden määrään R2 toteaa muun muassa ulkopuolisen rahoituksen merkityksen.

”Täällä pyörii isot rahoittajat ja ulkomaalaiset rahoitusyhtiöt. Niin jotta ne saa esimerkiksi kaupungilta tai Suomen valtiolta niinku avustuksen ja tukea, niin tää vihreä rakentaminen on semmoisia reunaehtoja mitä kaupunki tai valtio vaatii, niin sen takia se on täällä niinku enemmän tapetilla oleva asia kuin pienemmällä paikkakunnilla.” - R2

Hänen mukaansa suuri osa pääkaupunkiseudulla totutetuista vihreistä rakennushankkeista vastaanottaa rahoitusta joko EU:lta tai muilta sijoittajilta, jotka vaativat tietyn asteen vihreitä toimia. Vihreät toimet kohdistuvat laajalti materiaalivalintoihin, kuten vihreään betoniin, uusiutuviin energialähteisiin ja kierrätysasteen maksimointiin. R2 mukaan sijoittavat vaativat myös tarkkaa raportointia liittyen vihreisiin toimiin.

”Se betoni mitä sinne valetaan, niin se on ympäristöbetonia. Niin tai betonitoimitusyhtiö niin tekee tämmöisen betonin missä on mahdollisimman pienet CO₂-päästöt. Se pumpataan se betoni sinne semmoisella betoniautolla, jonka pumppu toimii myös sähköllä” -R2

”Sitten siellä on esimerkiksi tämmöisiä, että sinne toimittavat logistiikka-autot niin pitää olla päästöttömiä eli vety tai sähkö tai muuten hiilineutraaleja” -R2

Suomessa vihreä rakentaminen on tällä hetkellä vahvasti riippuvainen ulkopuolisesta rahoituksesta. Aineistossa ei käsitelty tulevaisuuden näkymiä tarkemmin, vastaajien edustaessa valtaosin urakoitsijoita. Yleinen mielipide vihreään rakentamiseen oli neutraali. Kuitenkin vihreä rakentaminen oli kaikilla vastaajilla tiedossa ja selkeä konsensus oli, että vihreä rakentaminen on osa rakennusalan tulevaisuutta.

6.1 Vihreän rakentamisen haasteet

O1 nostaa esille merkittävän ristiriidan, joka liittyy tämänhetkisiin vihreän rakentamisen toimintatapoihin. Tämä on todellisten CO₂-päästöjen mittaaminen. Hän kertoo, että heidän asiakkaansa eivät vielä pysty automaattisesti mittaamaan ja raportoimaan toteutunutta CO₂-päästöä rakentamisessa vaan arvio pohjautuu aina suunnitteluvaiheen arvioon.

”Eliikkä tää niinku digitalisoinnin sekä materiaalien hallinta, se niin kun as-built myös materiaalin- ja energiakäytön osalta pitää saada ehdottomasti kuntoon. Ilman sitä on aika vaikea puhua oikeasta johdetusta vihreästä rakentamisesta. Jos kukaan ei oikeasti

tiedä mitä sinne mökkiin on mennyt energiaa, muuta kuin joku suunnittelija kertoo että tässä on suunnitellut päästöt. Sitten jos kukaan ei tiedä mitä se oikeasti on sitten syönyt se rakennus, niin kuinka me voidaan puhua hiilineutraaliudesta?” -O1

R2 Kertoo törmänneensä yhdessä hankkeessa potentiaaliseen tapaan toteuttaa CO₂-päästöjen seurantaa. Hänen kertomansa mukaan hankkeessa oli sijoitettu kaikkiin maansiirtokoneisiin etäluettava moottorinohjausjärjestelmä, joka raportoi kyseisen kaluston kulutustiedot. Tiedot sisälsivät yksityiskohtaista tietoa esimerkiksi pakoputkesta tulevat päästötiedot.

”Yhdessä hankkeessa kaikkiin maansiirtokoneisiin eli kasettiautoihin ja kaivinkoneisiin ja niin päin pois oli moottorinohjausyksikössä niinku valmiiksi sisäänrakennettuna tällainen rajapinta. Niin siihen kytkettiin vaan siis tällainen niinku etäluettava moottorin ohjausjärjestelmä mistä saatiin polttoaineen kulutustiedot. Se kertoi myös ihan suoraan pakoputken kautta tulevat päästötiedot, koska siellä oli siellä pakoputkessa tällainen anturi mikä mittasi päästöjä. Sitten se järjestelmä kertoi kaikki, kuinka paljon kone oli tehnyt töitä ja paljon se on vähentänyt paikallaan tyhjäkäyntiä.” -R2

Huomioitavaa on kuitenkin, että R2 sanojen mukaan CO₂-päästöjen raportointi tapahtui O1 väittämän mukaan, arvioimalla. R2 kuitenkin kertoi tiettyjen tilaajien edellyttäneen infrahankkeessa polttoaineen seurantaa koneiden käyntitiedon avulla.

”Siinä oli tilaajalla tällainen vaatimus, että pitää niinku seurata sitä (päästöjä) ja sitten käyttää vihreämpää polttoainetta ja pienentää turhaa tyhjäkäynnin aikaa.” -R2

Muihin vastaaviin tapauksiin R2 tai muut vastaajat eivät kertoneet törmänneensä. O1 pohtii syyksi mittaamattomuuteen olevan rakennusalan konservatiivinen luonne. Hänen mukaansa, mikäli tilaaja ei vaadi tietynlaisia toimia, toimii projektinjohtaja omalla tutulla tavalla.

”Jos tää henkilö edustaa vanhakantaista lähestymistapaa, eli on tottunut mittaamaan lämpötiloja seinällä olevasta lämpömittarista, eikä seuraamaan IoT-dataa koneelta, niin tällaisella ihmisellä harvoin on kykyä, halua tai tarvetta omaksua uutta. Tämä itsessään on suuri haaste. Tiivistettynä, teknologia ja ratkaisut eivät ole ongelma, vaan ongelma on ihmisten, prosessien ja niiden johtamisen tavassa. Jos rakentamisen alalla ei vaadita muutosta, sitä ei saada. Jos muutosta ei johdeta, sitä ei tapahdu.” -O1

R2 nimeää myös syyksi samankaltaisen ilmiön, korostaen, että rakennusalan perinteinen luonne ja vastahakoisuus muutoksiin juontavat juurensa syvälle alalle ominaiseen kulttuuriin. Hän toteaa, että vaikka tekniset ratkaisut, kuten IoT, tarjoavat merkittäviä mahdollisuuksia prosessien ja työn tehokkuuden parantamiseksi, alalla vallitseva asenne ja toimintatapojen jäykkyys estävät usein näiden mahdollisuuksien hyödyntämisen.

”Eli täytyy muistaa se, että yleensä niinku päättävässä asemassa alalla rakennusalalla istuu sellaiset ihmiset, jotka usein on vanhempaa ikäpolvea, ja jotka eivät ole urallaan sitä niinku kohdannut tarpeelliseksi. Ja sitten jos se on vielä hankalasti muodostettava

se tieto, niin en mäkään heidän asemassaan näkisi mitään syytä, miksi semmoinen pitäisi hankkia.” -R2

O1 myös painottaa, että uudistusten ja teknologian omaksumisen esteenä ei ole teknologian saatavuus tai sen käyttöönoton kustannukset, vaan asenteelliset tekijät ja alalla vallitseva kulttuuri. Näin ollen, vaikka teknologia tarjoaa välineet tehokkuuden ja tuottavuuden parantamiseen, rakennusalan kulttuurinen ja asenteellinen muutos on välttämätön edellytys näiden teknologioiden täysimääräiselle hyödyntämiselle. O1:n ja R2:n kommentit korostavat yhteisesti sitä, että vaikka tekniset ratkaisut ovat saatavilla, niiden käyttöönotto ja hyödyntäminen edellyttävät perustavanlaatuisia muutoksia alalla vallitsevassa asenneilmapiirissä ja johtamiskäytännöissä. Ratkaisuna tähän haasteeseen O1 näkee kilpailun toimivan keskeisenä ajurina, joka edistää osaamisen kasvua ja vaatimustason nostoa sekä tilaajien että rakennusliikkeiden keskuudessa.

”Tää on niinku kaksisuuntainen, että niinku sanoin niin tilaajilla pitää olla enemmän osaamista ja heidän pitää vaatia asioita. Mutta sitten myöskin se, että fiksit rakennusliikkeet ehdottaa uusia toimintatapoja ja kysymys on niinku kilpailusta.” -O1

Tilaajien tulee olla entistä tietoisempia ja vaativampia uusien teknologioiden ja toimintatapojen suhteen. Samanaikaisesti rakennusliikkeiden on oltava aloitteellisia ehdottaessaan innovatiivisia ratkaisuja, jotka voivat parantaa rakentamisen tehokkuutta ja laatua. Tämä kilpailullinen ympäristö kannustaa molempia osapuolia hakeutumaan parempiin ja kustannustehokkaampiin toimintamalleihin, mikä lopulta hyödyttää koko alaa. Erityisesti rakennusalan kustannustietoisuudessa tilaajat tekevät päätöksiään usein tarjouksen hinnan perusteella, mikä korostaa kilpailun merkitystä. Halvimman tarjouksen antaminen ei tarkoita riskien ottamista, vaan kykyä suunnitella ja toteuttaa projektit tiukasti kustannuksia halliten, poistaen samalla mahdolliset tehottomuudet. Tämä lähestymistapa haastaa alaa jatkuvasti parantamaan toimintatapojaan ja hyödyntämään historiatietoa tehokkaammin tulevaisuuden projektien suunnittelussa ja tarjouskilpailuissa.

6.2 Esineiden internetin luoma arvo

Haastatteluiden perusteella on selvää, että IoT tuo merkittävää arvoa rakennus-alalle, vaikuttamalla erityisesti kustannusten ja ajan säästöön. IoT:n vaikutus rakennus-alalla ulottuu laajasti ja ilmenee monin eri tavoin. IoT ei ole pelkästään teknologinen uudistus, vaan se toimii ennen kaikkea mahdollistajana ja muutoksen ajurina, joka tehostaa kaikkia rakennusprojektin vaiheita suunnittelusta ylläpitoon. IoT:n integroiminen rakennus-alalle ei ainoastaan optimoi olemassa olevia prosesseja, vaan avaa myös uusia tapoja tehdä töitä, mikä voi merkittävästi parantaa sekä työn laatua että tehokkuutta kaikissa projektin vaiheissa.

R1 kertoi kustannus- ja resurssisäästön näkyvän esimerkiksi läsnäolon tarpeen vähentämisellä. Hänen mukaansa yksittäiset mittaukseen liittyvät työtehtävät saattavat vaatia jopa satojen kilometrien ajoa päivittäin tunnin tehtävää var-

ten. IoT mahdollistaisi hänen mukaansa suuret säästöt niin ympäristökuormituksen kuin ajankäytön suhteen. R2 nosti esille etäohjausmahdollisuuden tuoman aika- ja resurssisäästön etäkäytön vapauttaessa matkustukseen vaaditut resurssit muihin toimiin. O1 ottaa esiin tehokkuuden ja vihreän rakentamisen yhteyden, mainiten, että työmaalla saattaa mennä jopa 70 % ajasta hukkaan.

”Eri tutkimusten mukaan rakennusalan tuottavuus, eli se, kuinka paljon aikaa todellisuudessa käytetään tuottavaan työhön rakennusprojektissa, on melko heikko. Jopa 70 % työstä katsotaan menevän hukkaan työmaalla. Tätä hukkaa on muun muassa turhat lämmityskulut ja tarpeeton logistiikka, joka lisää myös päästöjä.” -O1

L4 korostaa etäohjauksen tuomia etuja viitaten siihen, kuinka IoT:n ansiosta työntekijöiden ei tarvitse enää siirtyä edestakaisin työmaan ja konttorin välillä. Tämä vaikuttaa suoraan kustannustehokkuuteen, mutta myös turvallisuuteen ja prosessien optimointiin. L4:n mukaan turvallisuus ja optimointi ovat kaksi keskeistä arvoa, jotka IoT tuo rakennusosalalle, erityisesti mittaukseen liittyvissä tehtävissä.

”Tähän asti käytetty teknologia ei ole ollut kovinkaan tehokasta eikä usein edes toimivaa, koska suurin osa infrastruktuurin valvontaan edelleen käytetystä teknologiasta ei salli etävalvontaa. Tämän vuoksi vaaditaan usein paikan päälle tehtäviä käyntejä, jotka eivät ole kovin tehokkaita eivätkä tarkkoja, koska niiden avulla ei voida ymmärtää rakenteen kokonaistilaa.” -L4

L1 tuo esille huomion rakennusosalalla syntyvistä piilokustannuksista, jotka ovat olennainen osa IoT:n mahdollistaman arvon ymmärtämistä alalla. IoT:n tuomia hyötyjä tarkasteltaessa moni kiinnittää huomiota ensisijaisesti heti havaittaviin kustannuksiin ja niistä saataviin säästöihin. L1 kuitenkin laajentaa keskustelua tuomalla esiin, että asiakkaalle toimitettava lasku, joka sisältää ”koko paketin”, ei välttämättä kerro koko totuutta. Hänen mukaansa on tärkeää, että asiakkaat ymmärtävät IoT-ratkaisujen vähentävän pitkällä aikavälillä tarvetta toistuville, paikan päällä tapahtuville tarkastuskäynneille. Tämä ilmenee merkittävänä säästöinä, kun otetaan huomioon matkustaminen, käytetty aika ja muut mahdolliset piilokustannukset, jotka eivät välttämättä välittömästi näy laskelmissa.

L2:n kommentit valottavat syvällisesti IoT:n arvon ymmärtämistä ja siitä saatavia hyötyjä, korostaen erityisesti ohjelmistojen ja datan käsittelyn merkitystä. L2:n mukaan IoT:n todellinen hyöty ei piile itse laitteissa vaan siinä, miten kerättyä dataa analysoidaan ja hyödynnetään.

”Keskitytään oikeastaan datan analysointiin ja algoritmeihin, koska hyvän datan koaminen vaatii kunnollista teknologiaa, tiedäthän? Mutta se, että ymmärtää sen datan ja pystyy sitten hyödyntämään sitä, on ihan eri juttu. Se on paljon monimutkaisempaa ja laajempaa, koska kukaan ei ole vielä oikeasti sukeltanut syvälle siihen. Siksi uskonkin, että 80 % arvosta on itse datan analysoinnissa.” -L2

L2 nostaa esille myös mielenkiintoisen havainnon siitä, että IoT:n varsinainen arvonluonti tapahtuu koko teknologian elinkaaren aikana.

”Näen, että alallamme suurimmat parannukset tulevat tapahtumaan datan keräämisen jälkeisessä prosessoinnissa. Tarkoitan, että yleinen suunta, johon ala on menossa, keskittyy kykyyn älykkäästi käsitellä minkä tahansa tyyppistä dataa, joka on kerätty kohteessa.” -L2

Tämä analytiikka ja sen soveltaminen ovat avainasemassa, kun puhutaan IoT:n tarjoamista eduista, sillä ne mahdollistavat tarkemman ymmärryksen ja paremman päätöksenteon. L2 ilmaisee myös, ettei hän usko IoT:n käyttöönoton valvonnan alueella houkuttelevan ihmisiä pelkästään turvallisuusarvioinnin kautta. Hänen näkemyksensä mukaan IoT:n käyttöönottopäätökset tehdään usein taloudellisista syistä: teknologiat, jotka aluksi saattavat olla kalliita, otetaan käyttöön, koska ne voivat pitkällä aikavälillä tuottaa säästöjä.

”Luulen, että suurin osa kiinnostuksesta kohdistuu toimintojen kustannusten leikkämiseen, joita joutuisi muutenkin mahdollisesti suorittamaan eri teknologioilla. Tarkoitan, että en usko, että IoT:n tuominen monitorointiin tai valvontaan houkuttelee niin montaa ihmistä pelkästään turvallisuuden lisäämisen takia. Ajattelen enemmänkin niin, että asenne on: ”teen jo tätä siksi, että minun on pakko, ja mahdollisesti käytän eri teknologioita, jotka maksavat minulle tällä hetkellä tietyn summan. Kuitenkin voitaisiin yksinkertaisesti ottaa käyttöön vain nämä anturit ja algoritmit, jolloin vuoden lopussa voi säästää merkittävän summan.” -L2

Tämä lähestymistapa on pragmaattinen ja keskittyy taloudelliseen hyötyyn, joka on erityisen tärkeää rakennusalalla, missä kustannussäästöt ovat usein projektin onnistumisen kannalta kriittisiä. Tämä osoittaa, että IoT:n käyttö rakennusalalla vaatii kattavaa ymmärrystä paitsi teknologiasta, myös siitä, miten teknologia integroituu olemassa oleviin prosesseihin ja miten se voi parantaa niitä. L2:n näkemykset antavat arvokasta tietoa siitä, miten IoT:n potentiaalia voidaan hyödyntää rakennusalalla optimaalisesti, keskittyen samalla paitsi turvallisuuden parantamiseen mutta ennen kaikkea taloudelliseen tehokkuuteen.

L3 painottaa jatkuvan seurannan merkitystä vihreissä rakennushankkeissa, missä rakennusten kunnosta ja käyttäytymisestä saatava data tukee ennaltaehkäisevää ylläpitoa ja edistää rakennuksen kestävyyttä ja tehokkuutta koko sen elinkaaren ajan. L3 huomioi, että IoT:n avulla kerätty tieto voi johtaa optimointeihin, jotka pienentävät energiankulutusta ja parantavat rakennuksen suorituskykyä.

”Sinulla on tietoa, jonka avulla tiedät rakennuksesi tilan aina, eikä vain poikkeuksellisissa tilanteissa, kuten rakennusvaiheessa. Tiedät, miten rakennus käyttäytyy normaalin käyttöikänsä aikana. Ymmärrät datasi hyvin, ja voit havaita, jos rakenteessasi on tapahtunut jotain, joten voit tietenkin käsitellä poikkeuksellisia tapahtumia asianmukaisesti ja tehokkaasti.” -L3

Tämä korostaa IoT:n kykyä tuoda lisäarvoa ylläpidon ja operatiivisen toiminnan eri vaiheissa. IoT:n hyödyt ulottuvat nykyhetken tehostamisesta myös tulevaisuuden näkymien parantamiseen.

R2 mainitsi, että IoT on välttämätön erityisesti tärinän seurannassa, joka on yksi harvoista rakennusviranomaisten määräämistä IoT-pohjaisista järjestelmistä. Tällä tavoin teknologia lisää turvallisuutta rakennusprosesseissa, mahdollistaen

rakenteiden tärinätasojen reaaliaikaisen seurannan ja säätelyn, mikä vähentää potentiaalisten vahinkojen riskiä. Sisäilman seuraaminen on toinen esimerkki, jonka R2 tuo esille. IoT:n avulla työmaalla voidaan valvoa sisälämpötilaa ja kosteutta rakentamisen aikana, mikä on usein tilaajaorganisaatioiden vaatimus. Tämä tieto auttaa varmistamaan, että rakennusmateriaalit eivät altistu liialle kosteudelle, mikä voisi vaikuttaa rakennuksen laatuun ja kestävyys. Vaikka toimet ovat ensisijaisesti kohdistettu laadunvalvontaan, voidaan tätä pitää myös vihreänä toimena. Rakenteen laadun varmistamisella voidaan varmistaa rakenteen pitkäikäisyys ja välttää materiaalihukkaa, esimerkiksi ehkäisemällä epäonnistuneiden valurakenteiden syntyä.

Tietojen etäseuranta voi vähentää tarvetta fyysisille tarkastuksille, ja tarjoaa nopean hälytyksen, jos olosuhteet muuttuvat haitallisiksi. Käytännön esimerkkinä K1 mainitsee, miten Lontoossa metroasemien seurantajärjestelmät ovat arkipäivää ja niiden avulla pystytään keräämään merkittäviä tietomääriä reaaliajassa.

”Metroasemille ja -tunneleihin oli asennettu suuri määrä laitteita, jotka mittasivat jatkuvasti tai tietyin väliajoin. Oli yllättävää, kuinka monta mittauslaitetta siellä oli. Esimerkiksi yhdellä asemalla saattoi olla neljä tai viisi laitetta melkein samassa kohdassa samanaikaisesti.” -K1

K1 mainitsemaan reaaliaikaiseen datankeruun liittyen R2 tuo esiin IoT:n pohjaisen toteutuksen edut, kuten reaaliaikaiset hälytykset ja seurannan, jotka mahdollistavat välittömän reagoinnin ongelmatilanteissa, olipa kyse sitten sää- tai työmaaolosuhteista tai työmaan turvallisuudesta. Lisäksi R2 huomauttaa, miten IoT:n avulla voidaan tuottaa fyysinen tilannekuva rakennusvaiheessa, mikä auttaa työmaan hallinnassa ja logistiikan optimoinnissa.

IoT:n rooli ei rajoitu vain perinteiseen seurantaan, vaan se on integroitunut syvemmin rakennusprosesseihin ja laadunhallintaan. IoT-sensoreiden avulla on mahdollista seurata rakennuksen sisäilman kosteutta ja lämpötilaa reaaliajassa, mikä on elintärkeää erityisesti rakennusvaiheessa ja valmiiden rakennusten ylläpidossa:

”Jotta saadaan niinku mahdollisimman nopeasti se rakennuksen ulkovaippa kiinni ja varmistetaan se, että siinä rakennuksessa on ollut rakenteille kuivumiseen edellytetyt olosuhteet”. -R2

Työmaiden turvallisuuden ja tehokkuuden parantamiseksi R2 kertoi jo aiemmin, miten IoT-laitteita käytetään työntekijöiden sijainnin ja työvaiheiden seurantaan, mikä tukee työn sujuvuutta ja projektin läpivientiä. R2:n esille tuoma esimerkki maansiirtokoneiden polttoaineen kulutuksen seurannasta osoittaa IoT:n potentiaalinen ympäristövaikutusten ja kustannusten vähentämisessä, se korostaa myös työmaiden arkipäiväistä IoT-käyttöä ja vihreämmän teknologian vaatimuksia. Tällainen tiedonkeruu ja -analyysi edistävät polttoainetaloudellisuutta ja vähentävät turhaa joutokäyntiä, mikä on erityisen tärkeää ympäristövaikutusten hallinnassa.

O1:n mukaan ne, jotka rakentavat tehokkaasti ja vihreästi, voivat tarjota asuntoja edullisemmin, hyödyttäen lopulta kuluttajia.

”Joten jälleen kerran, puhutaan rahasta. Ne, jotka osaa rakentaa tehokkaasti ja vaikka ekologisestikin, pystyvät tarjoamaan asuntoja halvemmalla. Sehän on kuluttajalle vain plussaa. Kukaan kuluttaja ei halua maksaa työmaan hukasta, eikä tilaajakaan. Kukaan ei halua, että rahat valuu hukkaan.” -O1

Tämä heijastaa IoT:n laajempaa vaikutusta rakennusalan taloudellisessa kontekstissa, missä säästöt voivat näkyä suoraan kuluttajahinnoissa. R2 mainitsee esimerkkinä älykotijärjestelmän KNX, jonka on esimerkki IoT:n soveltamisesta asuintilojen hallinnassa. Se mahdollistaa sähkön ja valaistuksen ohjauksen ja seurannan, mikä tehostaa energiankäyttöä ja parantaa asumismukavuutta. IoT-tekniologiat, kuten KNX, mahdollistavat myös paremman tietoturvan ja antavat asukkaille paremmat työkalut oman energiankäytön hallintaan.

Työmaan virtauksen optimointi on toinen alue, jonka O1 tuo esille. IoT:n avulla voidaan tehostaa työmaan prosesseja ja hallita paikkatietoa, mikä parantaa työturvallisuutta ja mahdollistaa nopeat reaktiot työmaan eri tilanteisiin. O1:n mukaan, kun työmaajohto on tietoinen työntekijöiden sijainnista, voidaan välttää vaaratilanteita ja parantaa työn tehokkuutta. Tämä osoittaa, kuinka IoT ei ole ainoastaan tekninen työkalu, vaan se tarjoaa myös tärkeää informaatiota, joka mahdollistaa tehokkaampien ja turvallisempien työympäristöjen luomisen. IoT:n hyödyntäminen työmailla mahdollistaa myös paremman resurssien hallinnan, koska se tarjoaa tarkempaa tietoa siitä, mitä työmaalla tapahtuu reaaliajassa. Kun tietoja voidaan seurata ja analysoida etänä, työmaan johto voi tehdä nopeampia ja tarkempia päätöksiä resurssien sijoittelusta, vähentää ajanhukkaa ja optimoida työvaiheita.

”Kun mä liikun täällä, niin joku saattaa ajatella, että kyseessä on joku 'Isoveli valvoo' -systeemi. Mutta voi miettiä niinkin, että se on oikeasti työturvallisuusjuttu. Kun työnjohto tietää missä kaikki menee, niin esimerkiksi jos korkeusrakentamisessa syttyy tulipalo tai sattuu muu vaaratilanne, ne tietää kenen pitää poistua nopeasti. Ja niin kuin fiksuimmat firmat on huomanneet, tuolla tiedolla voidaan helpottaa työvaiheita ja auttaa yksilöitä pysymään kärryillä paremmin. Eli jos vaikka aliurakoitsija tai laatoittaja ei olekaan siellä missä pitäisi, voidaan heti kysyä, että 'hei, huomattiin joku poikkeama, että mikä tilanne?' Näin työmaajohto pystyy reagoimaan nopeasti.” -O1

”Käytännön esimerkkinä, kun seuraamme paikkoja täällä, niin vaikka putkiurakoitsija saattaa huomata, että työntekijät juoksevat ympäriinsä ihmeellisissä paikoissa, kuten kellareissa. Kun selvitetään miksi, paljastuu että 'joo, mun pitää käydä siellä sahaamassa putkia'. No, ratkaisu onkin sitten tilata oikean mittaiset putket etukäteen.” -O1

S1 mielestä IoT:n käyttö voisi auttaa merkittävästi hukan minimoinnissa ja tuotavuuden parantamisessa. Hän korostaa kommunikaation merkitystä työmaan ja suunnittelijoiden välillä ja miten parannetun kommunikaation myötä voidaan edistää kestäväen kehityksen tavoitteita ja tehostaa toimintaa. O1 mukaan, työntekijöiden saapuessa työmaalle valmiiksi järjestettyyn työpisteeseen, jossa kaikki tarvittavat materiaalit ja ohjeet ovat jo odottamassa, voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä. Tämä ei ainoastaan nopeuta työprosessia, vaan edistää myös laskutuksen ja projektin kokonaistehokkuuden parantumista.

R1 on havainnut, että IoT ja tämän mukana tuleva pilvialustatyöskentely mahdollistaa tiedon jakamisen reaaliajassa kenttätyöntekijöiden ja toimiston välillä, mikä parantaa kommunikaatiota ja vähentää tarvetta fyysiselle läsnäololle:

”Osa datasta on tuolla pilvessä ja sieltä pystytään jakamaan niin kun kentällä olevien ihmisten kanssa”. -R1

”On jäänyt joku asia toimistolle aamulla lähtiessä tai tarvitsee jotain mitä ei ole tiennyt työmaalle lähtiessä niin se voidaan toimiston toimistolta siirtää sinne.” -R1

Tämä korostaa IoT:n tuomaa joustavuutta ja kykyä reagoida muuttuviin tilanteisiin. S1 korostaa vihreän rakentamisen potentiaalia ja sitä, miten IoT-ratkaisut voivat olla merkittävässä roolissa rakennusten käyttövaiheessa. S1:n näkemyksen mukaan IoT ei ole vain teknologinen työkalu. K1 ja O1 tuovat esiin, kuinka IoT-teknologiat tukevat resurssien säästöä ja optimointia:

”Periaatteessa voidaan niinku epäsuoraa ajatella, että tuota se on just tämmöinen niinku resurssisäästö mikä ehkä on merkittävin asia niin taloudellisesti kuin ne sekä ehkä ympäristöpuolellakin”. -K1

”Sä voit suurin piirtein ehkä puolittaa, mutta ainakin 30 % sä voit vähentää sen kustannuksista”. -O1

IoT-teknologian rooli rakennusalalla ulottuu paljon pidemmälle kuin pelkkiin välittömiin kustannussäästöihin, vaikka nämä ovat keskeisiä tekijöitä teknologian käyttöönotossa. O1:n mainitsema haaste, että uuden teknologian tulisi tuottaa välittömiä säästöjä, kuvastaa rakennusalan kustannustietoisuutta ja investointien nopean tuoton odotusta. Tämä vaatimus voi rajoittaa innovaatioiden käyttöönottoa, erityisesti jos lyhyen aikavälin säästöt peittävät alleen pidemmän aikavälin hyödyt, kuten ympäristövaikutusten vähentämisen ja resurssitehokkuuden parantamisen.

L2 painottaa IoT:n arvon olevan tiiviisti yhteydessä sen kykyyn skaalautua. Skaalautuvuus mahdollistaa IoT-ratkaisujen laajamittaisen käytön erilaisissa projekteissa ja toimintaympäristöissä, mikä on avainasemassa, kun tavoitellaan laajoja parannuksia tehosta ja kustannussäästöistä.

”Kaikki on kiinni skaalautuvuudesta. Tässä tapauksessa uskon, että kyse on juuri siitä.” -L2

”IoT-teknologian avulla on mahdollista skaalata toimintaa ottamalla vastaan enemmän projekteja, sillä prosessi on yksinkertainen. Mene työmaalle, asenna anturi, palaa toimistoon ja näe kaikki samalta alustalta. Hallinnointi on helppoa, datan kerääminen sujuvaa ja algoritmit voivat näyttää sinulle rakenteiden kriittiset osat. Samanaikaisesti voit hoitaa 10/20/30 projektia samaan aikaan.” -L1

L1:n kuvailu skaalautuvuuden eduista tarjoaa konkreettisen esimerkin tästä: sensoreiden asentaminen työmaalle, hallinnan ja datan käsittelyn hoitaminen toimistolta käsin samalta alustalta. Tämä yksinkertaistaa projektinhallintaa ja mahdollistaa useiden projektien samanaikaisen seurannan ja hallinnan, parantaen

merkittävästi operatiivista tehokkuutta. L1:n maininta siitä, kuinka pienet yritykset Isossa-Britanniassa ja Italiassa hallinnoivat samanaikaisesti useita projekteja IoT-alustan avulla, valottaa kuinka teknologia mahdollistaa resurssien ja ajan säästämisen kaikille toimijoille. Tämä ei ainoastaan paranna yritysten kykyä skaalata toimintaansa, vaan myös tekee pienempien rakennusprojektien hallinnasta joustavampaa ja tehokkaampaa.

Yhteenvedona IoT:n hyödyt rakennusalalla liittyvät olennaisesti reaaliaikaiseen tiedonkeruuseen ja -välitykseen, tehokkuuteen, kustannussäästöihin, laadunvarmistukseen sekä turvallisuuteen ja kestävään kehitykseen. Vastaajien kokemukset vahvistavat, että IoT kykenee mullistamaan työtavat, parantamaan työn laatua ja lisäämään rakennusprojektien kannattavuutta, mikä on merkittävää alalle, joka historiallisesti on ollut hidaskasvuun uusia teknologioita mutta joka nyt kohtaa kasvavia vaatimuksia tehokkuuden ja ympäristövastuun osalta.

6.3 Vihreän rakentamisen hyödyt Esineiden Internetin käytön myötä

R1 kertoo, että IoT:n käyttömahdollisuudet kasvavat koko ajan, erityisesti rakentamissa ympäristössä, missä ympäristöä täytyy seurata. Hän mainitsee, että IoT:n käyttö on nousemassa merkittävästi erityisesti peruskorjauskohteissa ja vanhojen rakenteiden vieressä tehtävässä uudisrakentamisessa, mikä viittaa siihen, että IoT auttaa seuraamaan ympäristön muutoksia ja vaikuttaa vihreään rakentamiseen:

”On kaikkien näköisiä peruskorjauskohteita tai uuden rakentamista vanhojen rakenteiden vieressä, niin sitä sille tiedolle on tarvetta.” -R1

O1 ja R2 mainitsema paikkatietojärjestelmä korostaa IoT:n merkitystä vihreän rakentamisen edistämiseksi vähentämällä tarpeetonta liikkumista ja parantamalla työn laatua, kuten kaivinkoneiden tarkempaa käyttöä ja materiaalien keskittämistä oikeisiin paikkoihin. R2 painottaa, että vihreän rakentamisen elementit, kuten energiakulutuksen raportointi ja kierrätyksen taso, ovat yhä useammin rakentajien vaatimuksia. Hän mainitsee esimerkin rakennuskohteesta Helsingissä, jossa käytetään uusiokäyttöön tarkoitettuja rakennusmateriaaleja ja ympäristöystävällistä betonia, joka on esimerkki innovatiivisesta ja kestävästä rakennustekniikasta. IoT:n rooli näissä on seurata ja todentaa vaaditut prosessit ja laatuolosuhteet.

”Nykyään käytetään paljon uusiokäyttömateriaaleja. Esimerkkinä voisi mainita yhden kohteen täällä Helsingissä, jossa rakennuksen runko tehdään kokonaan uudelleen käytettävistä elementeistä. Rakennus, joka on purettu toisaalla, ei ole teknisesti käyttökäyttönsä päässä, mutta on menettänyt alkuperäisen käyttötarkoituksensa. Nämä elementit siirretään ja asennetaan uuteen rakennukseen. Tässä on hyvä esimerkki siitä, että keskitytään muuhun kuin vain materiaalien tuotannon vihreyteen.” -R2

L4 kuvaa, kuinka IoT:n avulla voi seurata rakenteiden kuntoa eri puolilla maailmaa, mikä mahdollistaa globaalin valvonnan ja reaaliaikaisen tiedon keräämisen infrastruktuurin kunnosta. Tämä on erityisen arvokasta, kun on tarpeen ymmärtää rakenteiden käyttäytyminen nopeiden muutosten, kuten maanjäristyksen tai myrskyn aikana. L1 huomioi IoT:n merkityksen rakennuksen energiankulutuksen vähentämisessä. Valaistuksen ja ilmanvaihdon automaattinen säätö IoT:n avulla mahdollistaa huomattavat säästöt ja vähentää energiahukkaa.

S1 puolestaan puhuu käytännön esimerkkinä rakennusten suurimmasta päästölähteestä, käytöstä ja toteaa, että on tärkeää, ettei energiaa kuluteta turhaan. IoT:n avulla voidaan määritellä oikea tarpeen mukainen lämmitys, jäähdytys ja ilmanvaihto, mikä vähentää energiankulutusta ja päästöjä.

”Me puhutaan rakennuksista ja rakentamisen suurin päästölähde on käyttö ja ne olemassa olevat rakennukset. Niin ensinnäkin, mun mielestä niinku tärkeä juttu on se, että me ei kuluteta turhaan sitä energiaa ja ihan valtavia määriä. Meillä on valoja päällä ja ilmanvaihtokoneita pyörii ja näin, vaikkei meillä olisi siellä tarvetta. Niin sitten päädytään siihen, että miten me niinku voidaan määritellä se tarve mikä on niinku oikea tarpeen mukainen tuota ilmanvaihto määrä mikä on oikea tarpeen mukainen lämmitys- ja jäähdytystaso” -S1

O1 tuo esiin, kuinka materiaalivirtojen hallinta on tärkeää vihreän rakentamisen kannalta ja kuinka optimaalinen työmaavirta parantaa kaikkien osapuolten tilannetta, tehden työstä tehokkaampaa ja vähemmän turhauttavaa. Tämä viittaa siihen, että hyvin hallitut materiaalivirrat ja työmaan organisointi ovat avainasemassa vihreässä rakentamisessa, ja IoT:n rooli tässä on keskeinen.

R2 käsittelee vihreään rakentamiseen liittyvää laajaa kirjoa, aina rahoittajien vaatimuksista betonin ympäristövaikutuksiin. Hän toteaa, että betonin ympäristövaikutusten vähentäminen on olennaista ja mainitsee esimerkkejä, kuten energiatehokkaat betoniatot ja lämmityksen toteuttaminen muilla kuin fossiilisia polttoaineita käyttävillä menetelmillä. R2:n mainitsemat IOT-laitteet, kuten betonin kovettumisen seurantaan ja työmaan lämpötilan valvontaan käytettävät sensorit, auttavat pienentämään ympäristövaikutuksia ja varmistamaan rakennusmateriaalien asianmukaisen käsittelyn. Hän myös mainitsee IoT:n käytön maansiirtokoneissa polttoaineen kulutuksen ja päästötietojen seurantaan, mikä parantaa toiminnan ekotehokkuutta ja täyttää rahoittajien vihreitä vaatimuksia.

R2 ilmaisee huomion myös vihreän rakentamisen imagon merkityksestä ja siitä, kuinka se vaikuttaa rahoittajien päätöksiin. Vihreä rakentaminen ei ole pelkästään kustannuskysymys, vaan se heijastaa myös yrityksen arvoja ja sitoutumista kestäväan kehitykseen, mikä puolestaan vaikuttaa siihen, kuinka yritykset ja rahoittajat arvioivat investointejaan ja niiden toteuttamista.

”Ja sitten, kun EU-tasolla keskustellaan nollaenergiataloista ja muista vastaavista aiheista, myös suurilla rahoittajilla ja rahoituslaitoksilla, jotka rahoittavat liiketoimintaa koko Pohjoismaissa, on tässä keskeinen rooli. Nämä toimijat näkevät osallistumisen välttämättömyytenä, mutta myös mahdollisuutena parantaa omaa imagoaan ympäristötietoisina sijoittajina.” -R2

Kaiken kaikkiaan IoT:n hyödyt vihreässä rakentamisessa näyttäytyvät laaja-alaisina. Ne mahdollistavat ei ainoastaan energiatehokkuuden ja materiaalitehokkuuden parantamisen, vaan myös auttavat rakennusalaa vastaamaan kestävä kehityksen vaatimuksiin. IoT:n avulla kerättävä tieto voi auttaa rakennusalan toimijoita ymmärtämään paremmin rakennusten energiankulutusta ja päästöjä sekä optimoimaan rakentamisen ja ylläpidon prosesseja. Tämä tuo lisäarvoa niin ympäristölle, asiakkaille kuin myös rakennusliikkeille.

IoT-teknologioiden avulla voidaan myös varmistaa, että rakennusmateriaalit ja -menetelmät ovat ympäristöystävällisiä ja että ne vastaavat rahoittajien ja muiden sidosryhmien vihreisiin investointeihin liittyviä vaatimuksia. R2:n kommentit osoittavat, että vaikka tällä hetkellä monet vihreän rakentamisen käytännöt saattavat tulla suuremmilla kustannuksilla, niiden odotetaan tuovan pitkällä tähtäimellä säästöjä ja muita hyötyjä. IoT voi siis olla ratkaisevassa roolissa osoittamassa näitä hyötyjä konkreettisesti ja edistämässä kestävä kehityksen tavoitteita rakennusalalla.

6.4 Esineiden internetin tunnistetut haasteet

IoT:n haasteisiin liittyen R1 toteaa, että hänen hyödyntämänsä IoT-järjestelmän tuotteistus on vielä kesken, eikä hänen mukaansa markkinoilla ole tarjolla valmista ja helposti omaksuttavaa pakettia. IoT:n laajemman käyttöönoton esteenä voi olla useita tekijöitä, joista yksi merkittävä on koulutuksen puute. R1 korostaa koulutuksen tärkeyttä IoT-ratkaisujen ymmärtämisessä ja tehokkaassa käytössä. Kun työntekijät ymmärtävät, miten IoT-teknologiat toimivat ja miten niitä voidaan hyödyntää rakennusprojekteissa, he pystyvät paremmin integroimaan nämä teknologiat osaksi toimintaansa. K1 tuo ilmi havaintoja teknologioiden vastustuksesta ja haasteista, jotka liittyvät teknologian käyttöönottoon sekä työmaiden erityisolosuhteisiin. Erityisesti hän tuo ilmi, kuinka vaihtelevat verkko-yhteydet voivat vaikuttaa IoT-ratkaisujen toimivuuteen eri puolilla maata sekä haasteet, jotka liittyvät IoT-teknologian toimintaan syrjäisillä alueilla tai rakennustyömaiden erityisympäristöissä, kuten tunneleissa tai väestönsuojissa

”No joo, haasteitahan siinä tietysti on. Ensimmäisenä tulee mieleen yhteydet. Suomi on laaja ja pitkä maa, ja kaikkialla ei nettiyhteydet toimi yhtä hyvin. Joissain paikoissa DNA saattaa toimia paremmin, kun taas toisissa paikoissa Telia on vahvempi.”-K1

”Kaikissa kaivoksissa tällainen teknologia ei vielä ole käytössä, mutta esimerkiksi Kemissä toimiva kaivos on hyvä esimerkki. Se on ollut toiminnassa jo pitkään, on syvä, ja siellä työskentelee paljon ihmisiä usein kahdessa tai kolmessa vuorossa. Siellä on kehitetty oma sisäinen verkko, jossa jokainen henkilö ja kone paikannetaan tarkasti.”-K1

R2 korostaa, että IoT:n käyttöönotossa laadun varmistaminen rakennusalalla nähdään usein pääurakoitsijan vastuuna ja sitä käytetään suojana virheiden varalta. Lisäksi mainitaan, että laadun varmistaminen teknologian avulla voi olla kustannussäästön lähde. Toisaalta havaitaan, että sensoreiden paikantaminen

muuttuvassa rakennusympäristössä voi olla haasteellista, mikä voi johtaa luottavuusongelmiin ja väärin arvojen antamiseen. R2 myös pohtii, että IoT-ratkaisujen jatkuva päivittäminen ja siirtäminen rakennusvaiheessa voi olla työlästä ja lisätä kustannuksia, mikä voi vähentää halukkuutta ottaa uusia teknologioita käyttöön.

”Mutta se on rakennusalalla erityisen haastavaa, varsinkin rakennusvaiheessa, kun ympäristö muuttuu jatkuvasti. Esimerkiksi yhden viikon aikana voi nousta seinät, ja seuraavalla viikolla jo katto. Sitten saattaa kulua kaksi kuukautta ilman merkittäviä muutoksia, kunnes yhtäkkiä levyseinämies tulee ja pystyttää seinät, ja perässä tulee maalarit. Antureiden ja laitteiden sijoittaminen rakennukseen niin, että ne palvelisivat koko rakennusprosessin ajan, on äärimmäisen vaikeaa. Juuri sen takia kaikki eivät ehkä olekaan kovin innostuneita, kun työmaalle tuodaan kaikenlaisia laitteita ja antureita. Se tuo lisää haasteita muutenkin jatkuvasti muuttuvaan ympäristöön.” -R2

L4:n mukaan IoT:n ongelma on se, että monet eivät vielä tunne teknologiaa ja teknologian sekä ratkaisujen markkinointi yhdessä käyttökoulutuksen kanssa ovat avainasemassa tämän ratkaisemisessa. Tiedon puute ja laitteisiin kohdistuva luottamuksen puute ovat merkittäviä esteitä, jotka voivat hidastaa IoT:n tehokasta käyttöönottoa rakennusalalla. S1 pohtii, että IoT-ratkaisujen taloudellinen perustelu on hankalaa, sillä raskaiden alkuinvestointien nähdään kohdistuvan yksittäisiin projekteihin, mikä voi heijastua epäröintinä investoida uuteen teknologiaan, etenkin kun suoraan näkyvät hyödyt eivät ole selvät.

O1 tuo esiin, että alalla ei välttämättä ole valmiutta eikä strategiaa uuden teknologian käyttöönottoon, mikä voi johtua siitä, etteivät tilaajat osaa vaatia tai eivät näe IoT-ratkaisujen tuomia hyötyjä. Tämän lisäksi esitetään, että ongelma voi olla sukupolvikysymys: vanhemmat alan toimijat eivät välttämättä ole niin avoimia uusille teknologioille kuin nuoremmat kollegat, jotka ovat kasvaneet teknologian ympäröiminä.

S1 kuvaa markkinoiden taloudellista ajattelutapaa ja kuinka investointien tuotto-odotukset vaikuttavat IoT-ratkaisujen käyttöönottoon. Korostetaan, että vaikka IoT-ratkaisut voivat aluksi näyttäytyä kalliina, niiden pitkän aikavälin hyödyt saattavat olla merkittäviä.

”Tässä markkinassa eurot ratkaisevat, ja jos sijoittaja huomaa, että hän saa puoli prosenttiyksikköä korkeamman tuoton sijoitukselleen IoT-ratkaisujen avulla, niin sitten siihen myös investoidaan. Kyse ei ole enää siitä, investoidaanko vai ei, vaan investointi tehdään. Mutta sen täytyy olla perusteltavissa tarpeeksi luotettavasti, että tuotto todella seuraa. Ja tämä edellyttää tarkkoja herkkyyksianalyysijä.” -S1

S1 myös kertoo, että joskus IoT:n alkuinvestointi nähdään kannattamattomana, erityisesti kun kyse on yksittäisistä projekteista, joissa taloudellista hyötyä ei ehkä välittömästi havaita. Mainitaan myös, että suunnitteluvaiheessa usein kilpailutetaan hinnan perusteella, mikä voi johtaa siihen, että investointeja uuteen teknologiaan ei nähdä tarpeellisina tai kannattavina lyhyellä tähtäimellä. S1 kertoo myös, että markkinadynamiikat ohjaavat vahvasti IoT-ratkaisujen käyttöönottoa. Jos investoijat näkevät, että IoT-ratkaisut voivat tuoda heille merkittävästi lisää tuottoa, investointi toteutetaan. Sijoittajien on nähtävä selkeästi, että inves-

toinnit tuottavat odotetun hyödyn. Haasteena on osoittaa IoT-ratkaisujen taloudelliset hyödyt riittävän luotettavasti ja kattavasti. O1 nostaa esille merkittävän huomion liittyen investointeihin. Alkuinvestoinnit teknologiaan kohdistuvat usein yksittäisten projektien kannattavuuden varaan, mikä voi johtaa siihen, että laajemmat kehitys- ja parannusmahdollisuudet jäävät huomioimatta. Tämä voi estää yrityksiä näkemästä IoT:n tarjoamia potentiaaleja tuottavuuden tehostamisessa.

”Se on todella väärin tällä alalla, että ne alkuinvestoinnit sysätään yksittäisen projektin kannettavaksi. Eli jos sä mietit, vaikka sitä että OK, tässä projektissa otamme nyt vaikka tämmöisen uuden johtamisjärjestelmäominaisuuden, vaikka tää paikkatieto esimerkki. Niin harva raksafirma tai tilaaja niin kun näkee sitä arvoa silleen. Se halutaan niinku ulosmitata. Tai ei nähdä sitä, että hei että tän avulla voidaan hyötyä x verran vaan se nähdään vaan kustannuksena, koska se budjetti ei ole lyöty kiinni ja sopimus on kiinni eli tota. Pointti on just se, että se johtaa siihen ali-investointiin tällä lailla, että kaikki projektit on niin kun yksittäisiä ja niitä johdetaan yksittäisenä kustannuspaikkana ja harvat firmat tajuaa sitä kehitystä ja jatkuvaa parantamista.” -O1

Lisäksi O1 huomauttaa teknologian vastustuksesta ja budjettien kiinnittymisestä, mikä voi tehdä uuden teknologian hyväksymisestä vaikeaa, erityisesti jos se ei tuota välittömiä säästöjä käyttöönoton yhteydessä. R1 keskittyy myös IoT:n taloudellisiin haasteisiin ja tiedostamattomuuteen. R1 kertoo, että vaikka IoT-järjestelmät ovat olleet käytössä jo useita vuosia, niiden kaupallistaminen tai täysimääräinen hyödyntäminen on vielä vajavaista.

”Sanotaan, että sen järjestelmän tuotteistus on vähän keskeneräinen, että tota kun sieltä ei pysty valmista pakettia tarjoamaan. Mun näkemys on se, että asiakkaalle ei kannata lähteä tuommoista hankalasti luettavaa, sekavaa raporttia laittamaan, että se pitäisi saada tuota niin tällaiseen helpompaan, helpommin luettavaan muotoon.” -R1

Lisäksi tuodaan esiin, että järjestelmien hinnoittelu vaikuttaa niiden käyttöönottoon – jos sensorien hinta olisi tarpeeksi alhainen, niiden käyttö yleistyisi nopeasti, mutta korkeat hinnat johtavat selektiiviseen käyttöönottoon.

”Tietysti paljon riippuu siitä, että mikä tuommoisen mihin tasolle tommoinen sensorin hinta niinku liittyisi, että miten asettui sitten miten halpa se olisi, että jos siitä nyt tulisi muutaman kympin tai satasen tuote niin sittenhän sitä pystyisi niinku viljelemään hyvinkin paljon.” -R1

R2 kertoo, että IoT:n käyttöönotto rakennusalailla ei ole pelkästään teknologian tai kustannusten asia, vaan siihen vaikuttavat myös alalla vallitsevat työskentelevät ja kulttuuri. Hän huomauttaa, että uusien teknologioiden käyttöönotto edellyttää muutosta perinteisissä rakennusprosesseissa ja käyttäjäkokemuksessa. Esimerkiksi rakentamisvaiheen muuttuva ympäristö tekee IoT-sensorien sijoittelusta haasteellista, mikä saattaa heijastua epärointina ottaa uutta teknologiaa käyttöön. Lisäksi mainitaan, että käyttäjäkokemuksen parantaminen on avainasemassa IoT:n hyväksynnässä ja vaikeudet tiedon helppossa saatavuudessa voivat olla esteenä sen käytölle.

O1:n mukaan teknologian tai ohjelmistojen saatavuus ei ole ongelma, vaan suurempi kysymys on halu ja strategia uuden teknologian käyttöönottoon.

”Monesti oon törmännyt siihen, että uuden teknologian kohdalla asiakkaat kertovat vaativansa strategiaa uusiin innovaatioihin, esim. tekoälyyn.” -O1

L4 puhuu siitä, miten monet rakennusalan ammattilaiset eivät vielä ole tietoisia IoT:n tarjoamista mahdollisuuksista ja on tärkeää jatkaa kouluttamista ja tietoisuuden levittämistä. Korostetaan, että vaikka IoT mahdollistaa jatkuvan ja etämonitoroinnin, on silti edelleen vastarintaa ja epäuskoa sen hyödyntämiseen. Tämä haaste liittyy osittain siihen, että teknologia on uusi alalla, ja sen tuomien etujen levittäminen vaatii aikaa ja vaivannäköä. L2 Tiedostaa, että markkinat eivät vielä täysin luota IoT-laitteisiin ja on olemassa tietynlainen epäluottamus etenkin tietojen pilvitalennusta kohtaan. Hän painottaa, että ensisijainen este on tietoisuuden ja luottamuksen puute ja asiakaskunnan kouluttaminen on keskeistä IoT:n tehokkaaseen hyödyntämiseen.

O1 korostaa, että vaikka teknologiset ratkaisut ja ohjelmistot ovat saatavilla, rakennusosalalla vallitsee usein strategian ja halun puute uuden teknologian käyttöönotolle. Tämä haaste korostuu erityisesti silloin, kun ylemmät toimijat, kuten tuotantojohtajat tai tilaajat, eivät vaadi teknologian käyttöönottoa. Tällöin projektit saattavat jatkua vanhoilla, tutuilla menetelmillä ilman uudistuksia. Vaikka projektinjohtamisessa ja prosessiteollisuudessa teknologialla johtaminen on yleisempää, rakennusprojekteissa tämä lähestymistapa on harvinaisempi.

O1 nostaa esiin myös sukupolvien välisen kuilun, joka vaikuttaa teknologian omaksumiseen. Vanhemmat sukupolvet eivät välttämättä ole yhtä tottuneita teknologian käyttöön kuin nuoremmat, jotka odottavat sen hyödyntämistä työssään. Tämä sukupolvien välinen ero voi olla yksi syy rakennusalan hitaaseen teknologisen innovaation omaksumiseen.

”Tämä on osittain sukupolvikysymys, koska perinteisesti tällä alalla on keskitytty konkreettisiin asioihin. Usein alalle tulevat ihmiset eivät ole välttämättä saaneet koulutusta tietotekniikassa. Viimeisen kymmenen vuoden aikana alalle valmistuneet odottaakin työssään käyttävänsä erilaisia tietojärjestelmiä, jotka tekevät työstä fiksumpaa. Kyllä, tässä on selvästi tapahtumassa sukupolvien välinen siirtymä.” -O1

S1 korostaa, että vaikka IoT-teknologiat tarjoavat lukuisia etuja, rakennusalan markkinat ohjaavat toimintaa pääasiassa taloudellisten seikkojen perusteella. Tämä näkökulma haastaa IoT-ratkaisujen laajamittaisen hyväksymisen, sillä niiden taloudellisen kannattavuuden todistaminen on usein vaikeaa. IoT-ratkaisuja arvioidaan yleisesti projektikohtaisesti, eikä niiden pitkän aikavälin investointipotentiaalia aina tunnisteta tai arvosteta riittävästi. Tämän seurauksena IoT:n käyttöönotto rakennusosalalla etenee hitaasti. Lisäksi S1 mainitsee, että vaikka jotkut rakennusalan toimijat ovat tunnistaneeet ja ovat valmiita investoimaan IoT:n tarjoamiin hyötyihin, kuten tehokkuuden parantamiseen ja operatiivisten kustannusten alentamiseen, tämä edistykseellinen asenne ei ole vielä vakiintunut laajalti koko toimialalla. Tämä viivästys johtuu osittain siitä, että rakennusosalalla suositaan perinteisiä menetelmiä ja teknologioita, jotka tarjoavat välittömiä ja selkeästi havaittavia etuja.

O1 mainitsee, että alan muutosvastarintaan vaikuttaa myös sukupolviky-symys. Vanhemmat alalla toimivat voivat olla tottuneita perinteisiin metodeihin eivätkä ole koulutettuja käyttämään IT-järjestelmiä, kun taas viimeisen kymmenen vuoden aikana alalle tulleilla on odotuksia teknologian käytöstä. Tämä sukupolvi odottaa työkaluja, jotka tekevät työstä tehokkaampaa ja sujuvampaa. Digitalisaation hyödyntämisessä rakennusala saattaa olla jopa 15–20 vuotta muita aloja jäljessä, mutta tekoäly voisi auttaa kirimään tätä etumatkaa kiinni, sillä tekoälyn avulla voidaan käsitellä ja jäsentää suuria määriä jäsentämätöntä dataa.

Aineistosta ilmenee, että IoT-teknologian käyttöönotto rakennusalalla koh-taa monia haasteita, kuten koulutuksen puutteen, muutosvastarinnan ja alan konservatiivisen luonteen. Merkittävä este on investointien kannattavuus ja ra-kennusalan suhtautuminen investointeihin hankekohtaisesti. On tärkeää tunnis-taa nämä esteet ja kehittää ratkaisuja niiden voittamiseksi. Koulutuksen lisäämi-nen ja selkeiden hyötyjen osoittaminen ovat keskeisiä keinoja edistää IoT:n omaksumista ja täysimääräistä hyödyntämistä rakennusalalla.

6.5 Tekoäly osana Esineiden Internetiä

Tutkimuskysymysrungossa ei ollut mainintaa tekoälystä, eikä tekoälyä ollut tar-koitus tutkia tässä yhteydessä, mutta useammat vastaajat nostivat esille tekoälyn yhdessä IoT:n hyötyjen ja arvonluonnin kanssa. Vastaajat korostivat, että tekoäly voi merkittävästi parantaa IoT:n käyttöä tehostamalla datan analysointia ja täten säästämällä kustannuksia.

L2 toteaa, että hyödyntämällä tekoälyä, voidaan tehdä tehokkaampaa datan analysointia. Tämä mahdollistaa paremman tiedon saannin suuresta datamää-rästä ja tuo lisäarvoa IoT-ratkaisujen käyttöön. L2 pohtii myös, että vaikka datan kerääminen itsessään vaatii monimutkaista teknologiaa, itse datan ymmärtämi-nen ja sen hyödyllisen tiedon esiin saaminen on paljon monimutkaisempaa. Hän uskoo, että 80 % arvosta on juuri tekoälyssä ja datan prosessoinnissa.

S1 puhuu siitä, kuinka IoT-ratkaisut siirtävät dataa laitteiden välillä ja mi-ten tekoäly ei korvaa suunnittelijoita, mutta tuo merkittävää lisäarvoa suunnitte-lutyöhön. Tekoälyn avulla saavutettava seurantatieto aikaisemmista hankkeista, voisi auttaa parantamaan suunnittelua ja sen tuloksia. Hän nostaa esille huomion kustannuksiin ja siihen, kuka nämä olisi valmis maksamaan suhteessa saatuun tietoon liittyen.

O1 mainitsee, kuinka jo vuosia sitten on saanut asiakaspalautetta digitaali-sesta ähkystä, joka johtuu useiden erilaisten ratkaisujen tuomisesta markkinoille. Usein nämä ratkaisut voivat olla käyttäjille haastavia. Hän kertoo esimerkkinä, kuinka rakennusalan ihmisillä, jotka eivät ole ”diginatiiveja”, voi olla vaikeuksia digitaalisten työkalujen kanssa. Hän uskoo, että tekoäly voi auttaa madaltamaan kynnystä käyttää koneellisesti luettavaa dataa eli yksinkertaistamaan projektin johtamista ja päätöksentekoa saadun informaation perusteella.

”Ja nythän tässä on jo vuosia sitten asiakkaat puhunut tämmöisestä digiähkystä, että on tuotu kaikennäköisiä ratkaisuita sinne tänne tuonne ja sitten niitä ne muuttuu koko

ajan ja tosi vaikeaa on käyttää niitä. Meillä on esimerkkinä yksi asiakas, niillä kun on johtamisjärjestelmä briteissä, niin oliko niillä 24 eri tietojärjestelmää projektissa ja sitten heidän viikkoraportissa on yli 90 sivua. Niin pelkästään niinku ton asian hanskaminen vaatii aikamoisia digitaitoja ja iso osa raksa-alan ihmisistä ei välttämättä ole diginatiiveja, niin kuin viimesen 20 vuoden aikana syntyneet ihmiset. Eli se on just näin niinku sanoit, että ja me ollaan ajateltu niin että tekoäly nimenomaan helpottaa sitä kynnystä hyödyntää koneluettavaa dataa.” -O1

Lisäksi O1 kuvasi aiemmin rakennusalan jäänen jälkeen. Hän ehdottaa, että tekoäly voi olla merkittävä keino kuroa tätä välimatkaa umpeen, sillä se mahdollistaa epäjärjestelmällisen datan tehokkaamman hyödyntämisen.

Näistä vastauksista voi päätellä, että vaikka tekoäly ei ollut alkuperäisessä tutkimuskysymysrungossa, sen merkitys IoT-ratkaisujen kehityksessä ja hyödyntämisessä on noussut selkeästi esille keskusteluissa. Tekoäly näyttäytyy avainasemassa IoT:n tuottaman datan analysoinnissa ja käytössä, mikä voi johtaa sekä kustannussäästöihin että parempaan käyttäjäkokemukseen ja projektien tehokkaampaan johtamiseen.

6.6 Muut havainnot

Vastaajat nostavat esille monenlaisia havaintoja, jotka heijastavat rakennusalalla tapahtuvaa muutosta ja sen haasteita. Yksi keskeinen teema on Suomen ja Pohjoismaiden asema edelläkävijöinä teknologian ja innovaatioiden hyödyntämisessä, joka näkyy erityisesti rakennusalalla. K1 tunnistaa Pohjoismaiden ja Suomen roolin teknologian ja tämän hyödyntämisen edelläkävijöinä. Hän mainitsee, että tämä on erityisesti havaittavissa kansainvälisissä ympäristöissä, jossa suomalaiset erottuvat edistyneenä esimerkkinä.

L2 kommentoi IoT-laitteiden ja ohjelmistojen kustannussäästöjä tuovaa potentiaalia ja näkee, että niiden käyttöönotto johtuu halusta leikata kustannuksia ja tuottaa lisäarvoa asiakkaalle. Hän painottaa, että ratkaisujen taloudellinen hyöty on merkittävä tekijä teknologian käyttöönotossa. O1 tuo ilmi mahdollisen viherpesun alalla. Kuten aikaisemmin hän mainitsi, on haastava saavuttaa esimerkiksi hiilineutraaliutta ilman konkreettista tietoa päästöistä. Hän korostaa, että vaikka teknologia mahdollistaa tiettyjen tavoitteiden saavuttamisen, on ihmisen rooli ja vastuu silti keskeisiä.

S1 ymmärtää rakentamismääräysten merkityksen ja tunnistaa, että energiankulutus sekä päästöt ovat olennaisia tekijöitä. Hän myös tiedostaa, että näiden vaikutukset voivat jäädä toissijaisiksi, jos tuottavuutta on mahdollista parantaa. Lisäksi hän korostaa, että loppujen lopuksi keskeisin huomioitava seikka on se, että rakennukset pystytetään usein ihmisille. Mikäli ympäristötehokkuutta halutaan lisätä, voidaan kaikki koneet päättää sulkea suoraan. Tällä esimerkillä S1 haluaa osoittaa, että suunnittelun näkökulmasta on ensisijaisen tärkeää ottaa huomioon tuotteen loppukäyttäjät ja asettaa heidät etusijalle.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka IoT-teknologia näyttäytyy arvonluonnin välineenä vihreässä rakentamisessa. Tavoitteena oli lisätä tietoa siitä, millä tasolla IoT-teknologia on tällä hetkellä käytössä alalla, mitkä ovat tämän tarjoamat hyödyt arvonluonnissa ja kuinka arvonluonnin keinoja voidaan soveltaa vihreässä rakentamisessa. Tutkimusongelmaa lähestyttiin kahden tutkimuskysymyksen kautta, jotka olivat:

1. *Miten IoT-teknologian hyödyntäminen vihreissä rakennushankkeissa luo arvoa rakennusosalalla?*
2. *Miten IoT-teknologia voi uudistaa vihreän rakentamisen liiketoimintamallia ja sen arvolupausta?*

Tutkimusta varten rakennettiin teoreettinen viitekehys pohjautuen olemassa olevaan kirjallisuuteen, joka mahdollisti kokonaiskuvan muodostamisen teknologian nykytilasta ja luonteesta. Lisäksi tutkimuksen tulosten käsittelyä varten esiteltiin liiketoimintamallin perusidea ja erityisesti vihreän rakentamisen liiketoimintamalli, jonka avulla voidaan tarkastella havaintoja siitä, miten IoT-teknologia tarjoaa mahdollisuuksia eri liiketoimintamallin osa-alueilla.

7.1 Esineiden internet -teknologian arvonluonti vihreän rakentamisen liiketoimintamallin osa-alueilla

IoT:lla on mahdollisuus muuttaa radikaalisti rakennusalan liiketoimintamalleja tarjoten uusia tapoja luoda ja jakaa arvoa. Kuten Reddy ja Kone, (2019) sekä Wei ja Li, (2011) ovat todenneet, teknologian hyödyntäminen tarjoaa uuden näkökulman rakennusosalalla, mahdollistamalla reaaliaikaisen seurannan, turvallisen tiedon jakamisen ja tämän kautta päätöksenteon tehostamisen. Havainnot korostavat IoT:n potentiaalia uudistaa operatiivisten prosessien lisäksi myös rakennusalan vihreitä liiketoimintamalleja. Teknologia tarjoaa myös haastattelujen perusteella keinoja parantaa kestävyttä, yhteistyötä ja tehokkuutta, joka on keskeistä

liiketoimintamallien kehittämisessä vihreää rakennusta tukeviksi. Niin kirjallisuuden, kuin haastattelujen perusteella liiketoimintamallin eri osa-alueet voivat kokea merkittäviä hyötyjä IoT-tekniikan sisällyttämisestä, tarjoten uusia mahdollisuuksia arvonluonnille ja kilpailukyvyille rakennusalailla. IoT-tekniikka ei ainoastaan mahdollista uusien arvolupausten esittämistä asiakkaille, vaan myös tehostaa ja optimoi rakennusprojektien suorituskykyä, resurssien käyttöä ja kustannustehokkuutta (Khurshid ym., 2023; Louis & Dunston, 2018; Oke ym., 2022). Tarkastellaan tarkemmin, kuinka IoT vaikuttaa eri liiketoimintamallin osa-alueisiin Business Model Canvas -työkalun avulla (KUVIO 7).

Avainkumpanit	Avainprosessit	Arvolupaus	Asiakassuhteet	Asiakassegmentit
+Uusien kumppanuusverkostojen rakentaminen +Tehostunut tiedonjako sidosryhmien välillä	+Prosessien tehostaminen (Rakentaja) +Työn tuottavuuden kasvattaminen +Työssä onnistumisen kasvaminen (Urakoitsijat ja Aliurakoitsijat) +Laadun varmistus	+Toteutuneet hiilidioksidipäästöt ja niiden tarkka mittaus (Käyttöarvo) +Laadunvarmistuksen tehostaminen auomaattisilla mittauksilla (käyttöarvo)	+Sijoittajien kiinnostus +Paremmen tiedonkulun myötä sidosryhmien välisen suhteen paraneminen	+Vihreät arvot +Käyttömukavuutta arvostavat +Räätälöitävyyttä arvostavat +Läpinäkyvyyttä arvostavat +Tehokkaampaa työskentelyä arvostavat
	Avainresurssit	+Lisääntynyt läpinäkyvyys (Käyttöarvo)	Jakelukanavat	
	+Tehokkaampi toimitusketjun ja materiavirtojen hallinta	+Käyttömukavuuden lisääminen kiinteistöjen energiatehokkuuden parantaminen automaatioiden avulla*	+Tiedonjakokanavat jotka mahdollistavat helpon pääsyn IoT:n tietoon kaikille sidosryhmille +Tehokkaammat viestintäkanavat (Pilvipalvelut)	
Kustannusrakenne			Tulovirrat	
-Kasvaneet kustannukset alkuinvestoinneista johtuen -Investointi nähtäessä hankkeittain, on kynnys uuteen järjestelmään suuri -Investointi pois hankkeen budjetista -Tarve koulutukselle +Pitkän aikavälin säästöt lisääntyneestä tuottavuudesta, resurssien tehokkaammasta hallinnasta ja manuaalisen työn vähentämisestä.			+Uudet tulovirrat lisääntyneen tiedon myötä +Taloudelliset kannustimet tarkemman tiedon myötä, esimerkiksi toteutuneet CO2 -päästöt +Asumisen lisäarvosta maksaminen, älykoti, energiatehokkuus, ympäristösertifiointi	

KUVIO 7: Esineiden internet -teknologian vaikutukset vihreän rakentamisen liiketoimintamalliin

Mallia tarkastellaan jakamalla tämä neljään osa-alueeseen. Keskiössä toimii arvolupaus, jota ympäröi oikea puoli, jota on kuvattu arvopuoleksi. Tämä pitää sisällään asiakassuhteet, asiakassegmentit ja jakelukanavat. Valtaosa arvosta tapahtuu tällä puolella. Vasen puoli on tehokkuuden osa-alue. Tähän kuuluvat kumppanuudet, avaintoiminnot ja -resurssit. Lisäksi mallin alapuolella on taloudelliset osa-alueet: kulurakenne ja tulovirrat. Tämän jaottelun perusteella voidaan tehokkaasti tarkastella IoT-tekniikan mahdollistamaa arvonluontia sisällyttäen tarkasteluun useampi, kuin yksi osa-alue. Tällöin havainnollistetaan tehokkaammin kokonaisuutena, jota IoT-tekniikka voi aiheuttaa liiketoimintamalliin.

7.1.1 Arvolupaus

Haddadin ja kumppaneiden (2016) mukaan rakennusprojektien arvo syntyy siitä, kuinka hyvin nämä vastaavat käyttäjien tarpeisiin lyhyellä ja pitkällä aikavälillä. Tämä tukee väitettä arvolupauksen tärkeydestä, sillä arvolupauksella on merkittävä vaikutus asiakkaan odotusten muovaamiseen. Mokhlesian ja Holmén, (2012) kertovat IoT-laitteiden merkittävän ominaisuuden olevan reaaliaikaisen tiedon kerääminen ja analysointi. Rakentamisessa IoT-tekniikka on haastateltavien mukaan jo käytössä rakennusten kunnan ja ympäristöparametrien, kuten energiankulutuksen, sisäilman laadun jatkuvassa reaaliaikaisessa seurannassa. Tämän tiedon avulla sekä rakentajat että kiinteistön omistajat saavat välitöntä palautetta rakennuksen tilasta ja tehokkuudesta ja täten rakennukseen kohdistuvat toimet voidaan optimoida. R2 kertoi reaaliaikaisen tiedon painottuvan laadunvarmistukseen rakennusvaiheessa, esimerkiksi betonin kuivumisen mahdollistavien ympäristötekijöiden tarkkailu. L4 puolestaan kuvasi, kuinka heidän sensorensa mahdollistavat etävalvonnan ja mahdollisuuden välittömille hälytyksille, rakenteiden parametrien osoittaessa muutoksia.

Tässä kontekstissa luotu arvo on niin vaihto-, kuin käyttöarvoa, painottuen enemmän käyttöarvoon. Käyttöarvolla kuvataan tekniikan konkreettista hyötyä käytännöllisyyttä tämän käyttäjille. Kirjallisuudessa käyttöarvolla usein kuvataan pääsääntöisesti tehokkuuden kasvattamisen ja resurssisäästöjen muodostamaa arvoa (Keränen & Jalkala, 2013; Lepak ym., 2007). Tehostuneet prosessit ja optimoidut materiavirrat yhdistettynä minimaaliseen hukkaan ovat merkittäviä keinoja myös resurssisäästöjen kohdalla.

Reaaliaikainen tieto rakennusten tilasta niin rakennus- kuin seurantavaiheessa lisää rakennuksen käytännöllistä arvoa omistajilleen tarjoten välitöntä palautetta ja mahdollisuuden proaktiivisiin toimenpiteisiin mahdollisten ongelmien ratkaisemiseksi. Vaihtoarvo voidaan tässä kontekstissa nähdä kiinteistön arvon näkökulmasta. Integroimalla reaaliaikaista tietoa esimerkiksi energiankulutuksesta, tekniikan tuottama data voi lisätä kiinteistön markkina-arvoa tai kilpailuetua. Huomioitavaa on, että haastatteluista kävi ilmi, kuinka esimerkiksi S1 ja R2 totesivat, että tällä hetkellä IoT-ratkaisut eivät korota kiinteistöjen arvoa siinä suhteessa, mitä niiden investointi maksaa. Vaihtoarvo määräytyy sen perusteella, kuinka merkittäväksi yksilö kokee lisäpanostukset (Lepak ym., 2007). Asiakkaan on tällöin määritettävä konkreettinen rahallinen arvo saamilleen lisäeduille, mikä voi olla haastavaa, jos suureita ei voida mitata yhtä helposti kuin

esimerkiksi energiankulutuksen vähenemistä. Kuvatun skenaarion kontekstissa ensisijaista ovat käyttöarvo tarjoamat välittömät ja käytännölliset hyödyt, tehostaen päivittäistä toimintaa ja samalla parantaen rakennusten ympäristövaikutuksia.

IoT-teknologia myös tarjoaa mahdollisuuden käyttäjäkokemusten parantamiselle. Kuten aikaisemmin kävi ilmi, vihreä rakentaminen on prosessina kalliimpaa verrattuna perinteiseen rakentamiseen. Meiselsin ja muiden (2024) mukaan rakennusalan haasteena on inflaatio ja materiaalikustannukset ovat yksi suurista rakennusalan haasteista. S1 mukaan haasteena on erityisesti investointien kannattavuus suhteessa rakennuksen arvon kasvuun. Usein arvonluonnin keskiössä nähdään olevan loppukäyttäjä (Lepak ym., 2007). L1 ja L4 ovat ilmaisia IoT-teknologialla olevan mahdollisuus luoda älykkäitä, mukautuvia ja käyttäjäystävällisiä ratkaisuja, joka voi parantaa asiakastytyväisyyttä ja sitoutumista.

Tärkeänä vihreässä rakentamisessa on vihreyden osoittaminen. R2 mukaan erityisesti sijoittajat edellyttävät vihreitä toimia ja näistä raportointia rahoituksen vastineena. Kuten yleisesti haastatteluissa korostui, raha on merkittävä ohjaava tekijä rakennusosalalla ja lähes kaikki päätökset ja toimet perustuvat jollain tapaa rahaan. Tämä ei ole yllättävää, sillä taloudelliset panostukset ovat suuria ja taloudellisen tuoton tavoittelu on keskeistä. Vihreiden arvojen merkityksen korostuessa yhä useammat tilaajat ja sijoittajat voivat vaatia vihreitä toimia ja läpinäkyvyyttä hankkeissa, johon IoT-teknologia tarjoaa erinomaisen ratkaisun. Nykyään vihreän rakentamisen perustana toimii sertifiointijärjestelmät, kuten esimerkiksi BREAM ja LEED. Green Building Council Finland ry:n (2024) mukaan sertifiointin kiintopisteinä toimii esimerkiksi ympäristöystävälliset materiaalit ja yleinen tehokkuus. Perustaen myös R2 havaintoon siitä, että sijoittajat usein vaativat raportteja käytetyistä polttoainemääristä ja -laaduista, on huomionarvoista myös sisällyttää rakentamisen aikaiset hiilidioksidipäästöt tarkasteluun.

O1 nosti esille merkittävän ongelman nykyrakentamisessa ja tämä kytkeytyy juuri toteutuneeseen ilmastokuormaan. Hänen mukaansa tällä hetkellä ei ole olemassa tapaa tai velvoitetta mitata oikeasti toteutuneita hiilidioksidipäästöjä, vaan nämä pohjautuvat suunnittelussa luotuun arvioon. Tämä havainto pitää sisällään myös ympäristösertifikaattien, kuten BREAM ja LEED edellytykset sertifiointille. IoT tarjoaa tähän erinomaisen mahdollisuuden muokata arvolupausta ja parantaa asiakassuhteita. Aikaisemmin mainittu reaaliaikainen tiedonsiirto, yhdistettynä jo K1 ja R2 huomioihin siitä, että valtaosa laitevalmistajista jo sisällyttää IoT-sensortechniikkaa laitteiden tietojen tarkasteluun ja raportointiin tarjoaa valtavan potentiaalinen tehostaa läpinäkyvyyttä vihreissä rakennushankkeissa. IoT:n avulla rakentajat voisivat siis tarjota asiakkaille yksityiskohtaista tietoa rakennusprosessin eri vaiheista ja rakennuksen todellisista ympäristövaikutuksista, esimerkiksi huomioimalla toteutuneet lämmitys- ja ympäristöolosuhteiden kontrolloinnin kustannukset. Lisänä tähän voidaan linkittää tietoa esimerkiksi koneiden pakokaasuista ja käyntiajoista. Tällainen läpinäkyvyys lisää luottamusta ja voi toimia merkittävänä kilpailuetuna etenkin hankkeissa, joissa tukeudutaan sijoittajien tarjoamiin resursseihin. Tilannetta, jossa yritys pystyy tunnistamaan ympäristön aiheuttamat muutokset, jotka heikentävät tai syrjäyttävät olemassa

olevat edut ja luomaan tämän pohjalta uusia etuja, kutsuttiin dynaamisiksi kyvykkyyksiksi (Teece ym., 1997). Tällainen tilanne on rakennusalalla esimerkiksi tulevaisuuden muutokset vihreän rakentamisen kohdalla. Dynaaminen kyvykkyys on tässä tilanteessa mahdollisuus kehittää IoT-tekniikan avulla vihreisiin toimiin keskittynyt järjestelmä, joka lisää avoimuutta ja läpinäkyvyyttä rakennusprosessien ympäristötoimissa. Edellytyksenä tähän on, että organisaation on pystyttävä integroimaan, kehittämään ja muokata niin sisäistä kuin ulkoista osaamista vastatakseen tavoitteisiin (Eisenhardt & Martin, 2000; Teece ym., 1997). Esitetty CO₂-päästöjen mittausjärjestelmä voi samalla toimia hajottavana tekijänä koko alalle, jolloin tällä on mahdollisuus myös muuttaa alan tuloksellisuutta. Vihreiden toimien avoimuuden lisäämiseen tähtäävällä konseptilla on mahdollisuus kehittää markkinoita ja tuloksellisuutta, sillä markkinoiden kehitys on riippuvainen yritysten innovatiivisuudesta ja teknisestä kehityksestä (Schumpeter, 1934).

7.1.2 Avainresurssit, -prosessit ja -kumppanuudet

Avainresurssit ja -prosessit ja -kumppanuudet ovat tiukasti sidonnaisia avolupaukseen. Avainresursseilla tarkoitetaan niitä resursseja, joita yritys tarvitsee arvolupauksen toteuttamiseen (Osterwalder ym., 2010, s. 35). Yhtä lailla avainprosessit ovat niitä prosesseja, joita yrityksen täytyy toteuttaa, jotta arvolupaus toteutuu (Osterwalder ym., 2010, s. 37). Avainkumppanuudet ovat keskeisiä, sillä ne tarjoavat pääsyn avainresursseihin ja tukevat avainprosessien toteuttamista. Käytännössä tämä tarkoittaa, että yritykset muodostavat alliansseja, kumppanuuksia ja yhteistyösuhteita toimittajien ja kumppaneiden kanssa, jotka voivat toimittaa tarvittavat resurssit tai osaamisen tai jotka voivat auttaa prosessien tehokkaassa toteuttamisessa (Osterwalder ym., 2010, s. 39).

Kuten aikaisemmin kävi ilmi, ympäristösertifioinnin perustana toimii ympäristöystävällisen ja energiatehokkaiden materiaalien hyödyntämisen lisäksi yleinen tehokkuus. Haastattelussa O1 mainitsi, että yksi usein huomioimaton ympäristökuormaan vaikuttava tekijä on lämmityskustannukset rakennustyön aikana. Huonotehoinen työ ja alhainen tuottavuus johtavat siis kasvaneeseen tarpeeseen esimerkiksi pitää maaperää sulana talvisin työmailla. Tästä voidaan vetää johtopäätös, jonka mukaan tehokkuuden ja tuottavuuden parannukset ovat merkittävä avainprosessi vihreän rakentamisen liiketoimintamallissa. IoT-tekniikan käyttöönotolla voidaan mahdollistaa rakennusprosessien yleinen tehostaminen. Tämä voidaan saavuttaa esimerkiksi R2 ja O1 kertoman paikkatietoon perustuvan IoT-järjestelmän avulla. Järjestelmä kirjaa ylös työntekijöiden sijainnin työmaan eri lohkoissa ja tästä tiedosta voidaan havaita, onko työskentely tehokasta ja huomioida esimerkiksi työvälineiden kunnosta tai sijainnista johtuva tuottavuuden alenema. On tärkeää ajatella seuranta myös työntekijöiden näkökulmasta, sillä jatkuva seuranta voidaan kokea luottamuspulana ja liiallisena kontrollina. Tässä on O1 mukaan tärkeä tiedostaa, että järjestelmän idea on edistää myös yksilön työntekoa ja tarjota tälle paremmat edellytykset onnistua ja tehdä työnsä paitsi turvallisesti, myös samalla tehokkaammin.

Rakennusalan ollessa voimakkaasti riippuvainen moninaisista sidosryhmistä (Olander, 2007; Prabhu, 2016) työn sujuvuudella ja lisääntyneellä tiedolla mahdollisista tuottavuuteen vaikuttavista tekijöistä on suuri merkitys erityisesti

rakennusalalla. O1 nimeää myös IoT:n hyödyiksi resurssien optimoinnin, toimitusketjun ja materiaalivirtojen hallinnan. O1 mukaan materiaalivirtojen hallinnalla on merkittävä asema aikaisemmin esille tulleen toteutuneiden hiilidioksidipäästöjen mittaamisessa, joka todettiin merkittäväksi arvolupauksen kannalta.

Tehokkaampi materiaalivirtojen hallinta ja lisääntynyt tieto siitä, mitä on toimitettu ja milloin on mahdollista esimerkiksi IoT ja RFID-tunnisteiden avulla, kuten Gehring ja kumppanit (2019) ovat osoittaneet. Tämä edesauttaa myös turhan hukan syntymistä, joka on sidoksissa vihreän rakentamisen sertifiointijärjestelmiin ja yleisesti vihreän rakentamisen kulmakiviin.

Yksi merkittävä IoT:n rooli avainresurssien ja -prosessien optimoinnissa on laadun varmistus. Kuten R2 on maininnut, tällä hetkellä IoT-ratkaisut ovat käytössä rakennushankkeissa laadun varmistuksessa esimerkiksi ympäristöolosuhteiden tarkkailussa. Kuten KUVIO 1 osoittaa, rakennukset kohtaavat lukuisia, rakentamisen laatuun vaikuttavia luonnonvoimia, joita voidaan R1 ja R2 mukaan tehokkaasti tarkkailla IoT-sensorien ja -ratkaisujen avulla. IoT-teknologialla kerätty tieto on mahdollista arkistoida automaattisesti, jolloin todisteet esimerkiksi riittävän kuivasta sisäilmasta tai riittävästä sisälämpötilasta rakennuksen koko rakentamisvaiheen aikana on todistettavissa mahdollisten komplikaatioiden sattuessa. Lisäksi reaaliaikaisen seurannan avulla, kuten R1, K1, L1, L2, L3, L4 ovat kertoneet, on mahdollista varmistaa rakennusten kestävyys ja vähentää täten tarvetta kalliille korjauksille myöhemmin. Mahdollinen ennakointi esimerkiksi rakenteiden seurannan avulla voi mahdollistaa lisäksi rakennukselle pidemmän elinkaaren ja täten myös edesauttaa ympäristökuorman vähentämistä.

On tärkeä tiedostaa, että IoT-teknologian käyttöönotto edellyttää usein yhteistyötä eri sidosryhmien kanssa, kuten esimerkiksi teknologiatoimittajat, rakennusalan yritykset tai jopa kiinteistöhuoltoyritykset. Haastatteluaineisosta käy ilmi, että yhteistyön ja avoimen tiedonjaon merkitys korostuu erityisesti rakennusten energiatehokkuuden parantamisen ja ympäristövaikutusten minimoinnissa. Esimerkiksi R2 kuvailee, kuinka IoT-ratkaisujen avulla voidaan tehostaa rakennusten huoltoa ennakoivasti, mikä vaatii tiivistä yhteistyötä laitteiden toimittajien ja kiinteistöhallinnan välillä.

IoT mahdollistaa uusien digitaalisten jakelukanavien hyödyntämisen (ks. 7.1.3), mutta samalla edellyttää laajaa kumppanuusverkosta teknologiatoimittajien ja palveluntarjoajien kesken. Mokhlesianin ja Holménin (2012) mukaan on tärkeää, että yritykset ja toimijat pyrkivät jatkuvasti kehittämään kumppaniverkostoja ja uudistamaan arvolupauksiaan vastatakseen kestävä kehityksen haasteisiin.

IoT-teknologian mahdollistaman reaaliaikaisen seurannan ja materiaalivirtojen hallinnan avulla voidaan seurata ja hallita rakentamisen aikaisia ympäristövaikutuksia, kuten päästöjä ja jätteitä. Tämä tukee vihreän rakentamisen tavoitteita ja auttaa täyttämään ympäristömääräyksiä. Lisäksi tämä vastaa Presleyn ja Meaden (2010) rakennusteollisuuden arvolupauksen mahdolliseen haasteeseen siitä, kuinka ympäristökuorma voi olla haastavaa hahmottaa asiakkaalle. IoT-teknologialla on siis merkittävä rooli avainresurssien ja -prosessien optimoinnissa vihreässä rakentamisessa, tuoden esiin kyvyn parantaa tehokkuutta, laatua ja turvallisuutta samalla minimoiden ympäristövaikutuksia.

7.1.3 Asiakassuhteet, Asiakassegmentit & Jakelukanavat

O1 esille nostama kritiikki toteutuneiden CO₂-päästöjen mittaamattomuutta voidaan nostaa esille asiakassegmenttejä tarkastellessa. Kun perinteinen rakentaminen ja vihreä rakentaminen elävät rinnakkain, on ennustettu, että asiakasryhmät kallistuvat enemmän kohti vihreitä arvoja edustavia asiakasryhmiä (Bossink, 2002). On tärkeää tiedostaa, että asiakas voi rakennusalan kontekstissa olla myös sijoittaja ja kuten R2 toteaa, yksi vihreiden rakennushankkeiden ajureista on sijoittajien vaatimukset vihreille toimille. Sisällyttäessä O1:n kertomat mahdollisuudet toteutuneiden CO₂-päästöjen mittaamisesta ja yhdistäessä ne R2:n ja K1:n vahvistamiin olemassa oleviin teknologisiin kyvykkyyksiin, voidaan tehdä johtopäätös. Tässä johtopäätöksessä IoT nähdään mahdollistajana uusien asiakassegmenttien tavoittamiselle ja palvelemiselle vihreän rakentamisen kontekstissa.

Yksi merkittävä asiakassuhteisiin vaikuttava tekijä on käyttäjäkokemus. Ventovuoren ja kumppanien (2002) mukaan rakennusprojektissa perimmäinen tavoite on vastata tarpeisiin. Haastattelussa S1 korostaa, että rakennusprojektien suunnitteluvaiheessa ensiarvoisen tärkeää on ottaa huomioon ihminen ja hänen tarpeensa. Rakentamisen ytimessä tulisi aina olla myös loppukäyttäjä, jonka tarpeet määrittävät suunnittelun ja toteutuksen suuntaviivat. On siis olennaista muistaa, kenen hyväksi rakennetaan ja päätökset vaikuttavat eniten juuri rakennuksen tuleviin käyttäjiin. Toki on tärkeää muistaa, että rakennusalan ensisijainen ohjaava tekijä on talous. Investoinnit on tehtävä kannattaviksi ennen kuin niitä voidaan harkita. Lisäksi kiristynyt kilpailutilanne, ammattitaitoisen työvoiman puute ja korkeat korkotasot (Meisels ym., 2024), tuovat omat haasteensa eritoten investointeihin liittyen.

IoT tarjoaa erinomaisen mahdollisuuden luoda räätälöityjä ratkaisuja, jotka voivat ottaa huomioon moninaiset asiakastarpeet ja täten kehittää asiakastytyväisyyttä ja -suhteita. Näitä ovat esimerkiksi R2 esittelemät KNX-kotiautomaatiojärjestelmät. Räätälöidyt ratkaisut tarjoavat usein rakennuksen asukkaille suunnattuja palveluja, mutta on tärkeää huomioida, kuten aikaisemmin mainittiin, että investoinnit järjestelmiin ja komponentteihin vaativat huolellista harkintaa. Kuten myös R2 ja S1 mainitsevat, investointien kustannukset eivät välttämättä korreloi rakennuksen arvon nousun kanssa. Lisäksi R2 huomauttaa, että kodin IoT-ominaisuudet voivat joissain tapauksissa olla haitallisia, karkottaen potentiaalisia asukkaita ja vaikuttaen tällöin negatiivisesti asiakassegmentteihin.

IoT:n avulla voidaan myös vaikuttaa merkittävästi hyvinvointiin, joka on vahvasti rinnastettavissa asumisen käyttäjäkokemukseen. Erityisesti kaupunkiympäristöissä IoT näyttelee merkittävää roolia mahdollistaen ilmanlaadun parantamisen ja melusaasteen vähentämisen. IoT-sensorien avulla kerätyn tiedon perusteella voidaan tehdä päätelmiä ilmanlaadusta ja täten tunnistaa alueita, joilla ilmanlaatu on heikko ja vaatii huomiota (Bibri, 2018). Samoin, IoT:n tuottama reaaliaikainen tieto tuo lisäarvoa jakelukanavien toimintaan. Sen avulla voidaan esimerkiksi tehostaa materiaalien kuljetusolosuhteiden valvontaa ja optimoida toimitusketjun aikaista viestintää. R2 kertoi, että IoT-laitteita hyödynnetään laajasti esimerkiksi lämpötilan ja kosteuden seurannassa, joka on kriittistä esimerkiksi rakennuksen vaipan eli rakennuksen sisä- ja ulkotilan eristävien ra-

kennusosien kuivumisessa. Reddyn ja Koneen (2019, s. 188) mukaan IoT-teknologia voi tarkastella mitä tahansa kontekstia, milloin tahansa. Samaan tapaan IoT-teknologiaa voitaisiin siis myös hyödyntää osana jakeluketjua viestimään kuljetuksen aikaisista olosuhteista, yhdessä aikaisemmin todetun materiavirtojen hallinnan kanssa.

IoT:n avulla ei ainoastaan optimoida olemassa olevia jakeluprosesseja, vaan myös innovoidaan uusia digitaalisia kanavia ja palveluita. Kuten L1 ja L2 totesivat haastattelussa, heidän tavoitteensa on rakentaa järjestelmäkokonaisuus, jonka ensisijainen tarkoitus on olla helppokäyttöinen kaikille sensoritietoa tarvitseville rakennusalan sidosryhmille. Nykytutkimus on osittain jättänyt huomiotta tiedon jakamisen saumattomuuden (Tang ym., 2019). Rakennusalan yritykset, erityisesti pk-yritykset, voivat hyödyntää esimerkiksi pilvipalveluja digitalisoidakseen toimintansa ja integroidakseen BIM-yhteensopivat ohjelmistot, jotka ovat elintärkeitä projektien tehokkaalle hallinnalle ja suunnittelulle (Alaloul ym., 2023, s. 138). Tehokas tiedonvaihto sidosryhmien välillä edistää yhteistyötä ja mahdollistaa ympäristöystävällisten rakennusprojektien kehittämisen, sillä se parantaa päätöksentekoa ja projektinhallintaa, tukee kestäviä käytäntöjä ja vastaa kasvaviin ympäristövaatimuksiin.

Pilvipohjaiset alustat voivat tarjota käyttäjälle pääsyn laajaan tietokantaa, joka sisältää samalla tietoa esimerkiksi rakennusmateriaalien ympäristövaikutuksista ja energiatehokkuudesta. Esimerkiksi asiakkaat voivat hyötyä tällaisesta tiedosta, mahdollistaen tietoisemmat valinnat. Samalla tietoisuus voisi edistää kestävien rakennusmateriaalien ja -menetelmien käyttöä. Haastatteluaineistossa nousi ilmi tekoälyn potentiaali erityisesti datan käsittelyssä ja tiedonhallinnassa. O1 esitteli konseptin, jossa heidän yrityksensä kehittämä tekoälytyökalu integroi yhteen lukuisat eri tietokannat sähköposteista projektipankkeihin ja onnistui kokoamaan esimerkiksi päiväraportteja varten tarvittavan aineiston hajautetuista tietolähteistä. Samaan tapaan tekoäly voitaisiin valjastaa toimimaan aikaisemmin esitetyn konseptin tavoin, tarjoten tietoa ympäristövalinnoista pohjautuen IoT-sensoreista saatavaan tietoon materiaalivirroista, olosuhteista ja työmaan yleisestä etenemisestä.

Pilvipalvelut ovat yleistyneet rakennusalalla valtavasti ja haastateltavat nimesivät yhtenä suurimpana hyötynä työssään olevan pilvialustojen mahdollistama kaikkien sidosryhmien yhtäaikaisten pääsy ajantasaiseen aineistoon. Haastatteluissa kävi myös ilmi tämän tehostavan tuottavuutta ja vähentävän turhaa työtä, jota aineiston puute tai vanha tieto muuten voisi tuottaa. Pilvipalveluiden nykyinen hyödyntämistase voi vähentää rakennusalalla esiintyvää vastarintaa uusia teknologioita kohtaan.

7.1.4 Kustannusrakenne ja tulovirrat

Haastatteluista kävi ilmi, että IoT-teknologian käyttöönotto alan nykytilassa voi alkuun kasvattaa kustannuksia, johtuen teknologiainvestoinneista ja koulutuksesta. IoT:n käyttöönoton edistämiseksi rakennusalalla on suositeltavaa keskittyä alan ammattilaisten koulutukseen ja tietoisuuden lisäämiseen. Rakennusalan investointiongelmaksi nousi R2 kuvaama periaate, jonka mukaan investointi näh-

dään hankkeittain, ei elinkaaren mukaan. Tämä tarkoittaa, että usein alkuinvestointi saattaa olla pois yhden hankkeen budjetista ja seuraavassa hankkeessa investointi on niin sanotusti ilmainen. O1 totesi myös mahdollisen koulutusvastarinnan johtuen alan konkreettisesta luonteesta. Uudet sukupolvet sen sijaan ovat opetuksessa kiinni, mutta muihin digitalisoituneisiin aloihin verrattuna vuosia tai jopa vuosikymmeniä jäljessä. Hänen mukaansa tekoälyllä voisi olla merkittävä rooli tämän eron pienentämisessä. Arowoijan ja muiden (2020) mukaan järjestämällä konferensseja ja seminaareja voidaan tarjota kattavaa tietoa IoT:n konseptista ja sen merkityksestä suunnittelun ja rakentamisen eri vaiheissa, mikä saattaisi tehostaa halukkuutta ottaa teknologia käyttöön ja opetella tämän käyttöä. Haastateltavat olivat tämän kanssa samaa mieltä. Esimerkiksi R1 toteaa, että tehokas koulutus esimerkiksi laitevalmistajan toimesta mahdollistaisi tehokkaamman käyttöönoton ja suuremman arvon kaikille teknologiaa koskeville sidosryhmille.

IoT:n kyky tuottaa pitkän aikavälin säästöjä ja tehostaa resurssien käyttöä on huomattava. Datan tehokas käsittely ja hyödyntäminen ovat avainasemassa ylimääräisten kustannusten vähenemisen ja projektien valmistumisen kohdalla (Oke ym., 2022). Lisäksi prosesseja voidaan tehostaa lisääntyneen tiedon myötä sekä tiedon pohjalta tapahtuvien automaatioiden kautta (Khurshid ym., 2023). Youn ja Fengin (2020) tuoma näkökulma korostaa, että teknologian tarjoamien laaja-alaisten etujen saavuttaminen edellyttää prosessien ja toimintojen välisen koordinoinnin tiivistämistä. Tämän edistää kokonaisvaltaisempien etujen saavuttamista ja resurssien tehokkaampaa käyttöä. Tämä integrointi ei ainoastaan paranna tehokkuutta ja vähennä kustannuksia, vaan samalla myös tukee kestävämpää toimintaa ja edistää innovatiivisten ratkaisujen kehittämistä.

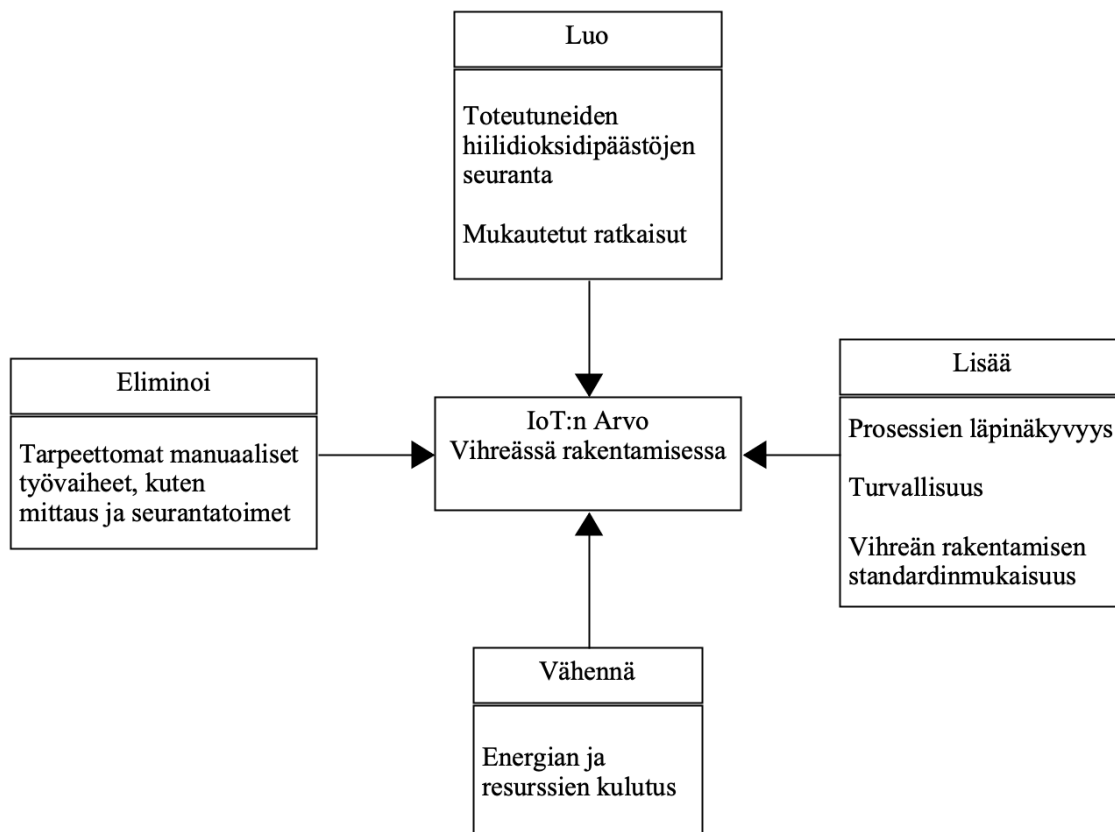
Tulovirtojen luominen vihreässä rakentamisessa IoT:n avulla vaatii innovatiivisia lähestymistapoja, jotka kulkevat perinteisen rakennusalalle tyypillisen kustannuskeskeisen ajattelun rajojen ulkopuolella. Kestävän kehityksen ja ympäristövastuun kasvava merkitys saattaa muuttaa sidosryhmien halukkuutta investoida pitkäkestoisempiin ja ympäristöystävällisempiin ratkaisuihin. IoT mahdollistaa tämän suuntauksen hyödyntämisen tarjoamalla välineitä päästöjen tarkkaan todentamiseen ja tarjoamalla kannustimia päästöjen vähentämiseen. Esimerkiksi todellisten hiilidioksidipäästöjen mittaaminen IoT-tekniikoiden avulla voi luoda uudenlaisia taloudellisia kannustimia, kuten palkkioita alhaisemmista päästöistä, jotka voivat houkuttaa sijoittajia ja muita sidosryhmiä mak samaan ylimääräistä vähäpäästöisistä projekteista.

Samalla, kun IoT parantaa prosessien tehokkuutta ja taloudellisuutta, kuten You ja Feng (2020) ovat osoittaneet, tämä tehostuminen voi johtaa alentuneisiin ylläpitokustannuksiin ja nopeampaan projektin valmistumiseen, mistä asiakkaat voivat olla valmiita maksamaan lisähintaa. Tämä on mahdollista esimerkiksi O1 esittämän paikkatietojärjestelmän avulla. O1 mukaan IoT:n tehostama työskentely johtaa pienempiin ylläpitokustannuksiin ja työmaan nopeampaan valmistumiseen, josta asiakas voi esimerkiksi olla valmis maksamaan lisää. Lisäksi R2 ja K1 esittämät älykotiominaisuuksien kaltaiset IoT:n mahdollistamat innovaatiot voivat tarjota lisäarvoa, josta loppukäyttäjät ovat valmiita maksamaan Premium-hintaa, lisäten näin rakennusprojektien tulovirtoja. IoT:n avulla voidaan siis

paitsi edistää kestäväää kehitystä, myös luoda uutta liiketoimintaa ja arvoa rakennusalan yrityksille ja niiden asiakkaille. Tarkastellaan seuraavaksi, miten uutta arvoa voidaan luoda IoT-teknologian avulla.

7.2 Liiketoimintamallin kokonaisvaltainen muutos

Tarkastellaan IoT-teknologian vaikutuksia vihreän rakentamisen liiketoimintamalliin aiemmin esitellyn näkökulman mukaan, jossa Sinisen meren strategia yhdistyy Business Model Canvas -mallin kanssa, joka auttaa helpommin tunnistamaan uusia innovaatioita ja arvonluontimahdollisuuksia. Neljän toimenpiteen viitekehyksen avulla voimme arvioida, mitä IoT:n osa-alueita voidaan kehittää, vähentää tai uudistaa, jotta voidaan maksimoida arvo ja asettaa yritys kestävän innovaation eturintamaan. Tarkastellaan, kuinka tätä lähestymistapaa voidaan soveltaa vihreän rakentamisen ja IoT-teknologian kontekstissa. Mallin visuaalinen esitystapa on esitetty alempana (ks. KUVIO 8).



KUVIO 8: IoT:n Arvo Vihreässä rakentamisessa

Haastatteluaineiston perusteella on havaittu, että rakennuslalla monet perinteiset prosessit, kuten laadunvalvonta sekä manuaaliset tarkastukset ja seuranta, vievät paljon aikaa ja ovat usein tehottomia. Sensoriteknologian hyödyntäminen rakenteiden seurannassa tuo merkittäviä etuja. Se auttaa tasapainottamaan ta-

loudellista ja ympäristöllistä kestävyyttä sekä parantaa turvallisuutta ja käyttäjäkokemusta (G. Wang & Ke, 2024). Lisäksi R2 ja O1 painottivat esimerkiksi lämpötilaseurannan tehokkuuden merkitystä rakennushankkeissa. IoT-sensorien ja -järjestelmien perustuessa itsenäiseen tiedonkeruun ja tämän pohjalta suoritettuihin toimiin (Ashton, 2009), on teknologialla kyvykkyydet eliminoida tarve manuaaliselle datankeruulle ja syöttämiselle. Tämä vähentää käytetyn työmäärän tarvetta, samalla vähentäen myös inhimillisiä virheitä, vapauttaen ihmisresursseja muihin kriittisempiin toimiin. Samalla automaation avulla voidaan vähentää myös turhia työvaiheita. Esimerkiksi ilmanlaadun tai pohjaveden tarkastukset voidaan automatisoida, jolloin tarve manuaalisille työvaiheille vähenee. Näin ollen aikaa vapautuu enemmän esimerkiksi tulosten tarkasteluun ja syvempien analyysien muodostamiseen.

IoT-teknologia tukee Sinisen meren strategian arvoinnovaation ”lisää”-vaihetta vihreässä rakentamisessa. Arvoinnovaation pyrkimyksenä on lisätä tai parantaa uusia arvonluontiominaisuuksia ja -palveluita aiheuttamatta merkittäviä lisäkustannuksia (Osterwalder ym., 2010, ss. 147–148). IoT-teknologian avulla voidaan tarkasti ja reaaliaikaisesti seurata ympäristövaikutuksia, mikä mahdollistaa tiedon keräämisen ja analysoinnin rakennusprosessien eri vaiheista. Tämä tukee ympäristöystävällisten rakennusmateriaalien ja -menetelmien vaikutusten tarkempaa seurantaa ja arviointia. O1 argumentoi sen puolesta, että IoT:n keräämä ja prosessoima data voidaan yhdistää monista lähteistä kokonaisuudeksi, joka muodostaa rakennuksen toteutuneet hiilidioksidipäästöt. Tämä voidaan toteuttaa hyödyntämällä esimerkiksi RFID-tunnisteita, jotka keräävät tietoa materiaavirroista sekä IoT-sensoreita, jotka kokoavat dataa eri tekijöistä, kuten työkooneiden hiilidioksidipäästöistä, lämmitykseen käytetyistä resursseista ja työntekijöiden tehokkuudesta. Kuten aikaisemmin todettiin, on tällä myös mahdollista olla suuri lisäarvo sijoittajien keskuudessa. R2 mukaan rakennusalalla vihreiden toimien toteuttaminen on usein seurausta sijoittajien asettamista vaatimuksista. Useat rakennusprojektit tarvitsevat ulkoista rahoitusta, mikä luo kannustimen vihreään rakentamiseen siirtymiselle (Freudenreich ym., 2020). Tähän lisätään Suomessa voimaan astuva lakimuutos (Ympäristöministeriö, 2023), joka edellyttää vihreiden käytäntöjen lisäämistä, jonka seurauksena tarjoutuu mahdollisuus kilpailuetuun. Kykenemällä osoittamaan konkreettiset hiilidioksidipäästöt yritys ei houkuttele vain sijoittajia, vaan samalla myös tilaajia.

Prosessien tehostunut läpinäkyvyys ja ympäristöarvojen korostaminen voivat olla vetovoimatekijöitä, jotka auttavat erottautumaan markkinoilla, sillä se tarjoaa tehokkaamman toimintatavan, kuin nykyiset BREAAAM ja LEED-ympäristösertifikaattien kriteerit edellyttävät. BREAAAM on Euroopassa yleisimmin käytetty ympäristösertifikaatti, jossa toteutuneet hiilidioksidipäästöt perustuvat arvioon. BREAAAM ottaa huomioon eri hiilidioksidipäästöihin vaikuttavat tekijät pyrkien kokoamaan toiminnalliset ja sisällytetyt päästöhyvitykset omaksi hiili-luokakseen. Huomioitavaa on, että BREAAAM kertoo sivuillaan hiilidioksidipäästöjen perustuvan arvioon (BREAAAM, 2024). LEED pyrkii selvittämään hiilidioksidipäästöjä pohjautuen konkreettisiin mittauksiin, joita valvotaan virallisten tarkastajien toimesta pistotarkastuksin. LEED vaatii tarkan dokumentaation muun muassa käytetyn polttoaineen määrästä, sähkönkulutuksesta ja esimerkiksi työ-

matkoihin käytetyistä kulkumuodoista. Huomioitavaa on, että LEED Zero Carbon, LEED Zero Energy ja LEED Zero Water -sertifikaatteja tavoittelevien hankkeiden on ladattava sertifikaattiin tarvittava mittausdata 12 kuukauden ajalta (The U.S. Green Building Council, 2020).

Molemmissa sertifiointijärjestelmissä on siis havaittavissa puutteita liittyen rakennuksen koko rakennusprosessin aikaiseen toteutuneiden hiilidioksidipäästöjen mittaamisessa. IoT-järjestelmän avulla olisi mahdollista luoda automaattinen järjestelmä, joka ei edellytä tarkastuksia tai merkittävää määrää manuaalista työtä, kuten aikaisemmin todettiin. Huomionarvoista silti on, ettei tämä lähestymistapa tarjoa absoluuttista totuutta tai varmistaa, että joka ikinen hiilidioksidipäästöihin vaikuttava tekijä saadaan dokumentoitua, mutta lähestymistapa on silti esitettyjä olemassa olevia käytäntöjä mahdollisesti kaikin puolin tehokkaampi. Tärkeää on myös tiedostaa O1 R2 ja S1 esiin nostamat investointikustannukset ja niihin suhtautuminen. Haastateltavien mukaan investoinnit nähdään hankekohtaisina, jolloin järjestelmän pitkäaikainen arvo saattaa jäädä huomiotta suuren alkuinvestoinnin seurauksena. Tähän ratkaisuun ei tässä tutkimuksessa syvennyttä tarkemmin muuten, kuin esittämällä idea kustannusten hajauttamisesta eri hankkeisiin.

Sinisen meren strategian arvoinnovaation vähentämisprosessi on arvoinnovaation ensisijainen tavoite alentaa kustannuksia pienentämällä vähemmän arvokkaita ominaisuuksia (Keränen & Jalkala, 2013; Lepak ym., 2007) (Osterwalder ym., 2010, ss. 147–148). IoT-teknologian käyttö vihreässä rakentamisessa tukee arvoinnovaation ”vähennä”-vaihetta virtaviivaistamalla prosesseja ja karsimalla tarpeettomia työvaiheita. Automaattinen tiedonkeruu ja -käsittely tehostavat rakennusprosesseja, mikä johtaa merkittäviin kustannussäästöihin. Lisäksi automaatio auttaa vähentämään energiankulutusta ja hiilidioksidipäästöjä, mikä on linjassa vihreän rakentamisen tavoitteiden kanssa. Esimerkiksi sensoriteknologian avulla voidaan säädellä lämmityksen ja valaistuksen tehoa olosuhteiden mukaan, vähentäen näin turhaa energiankulutusta ja edistäen ekologisempaa rakentamista. Näin ollen, toimimalla Sinisen meren strategian mukaisesti, IoT mahdollistaa sellaisten resurssien ja toimintojen vähentämisen, jotka eivät edistä vihreän rakentamisen tavoitteita, optimoiden kustannuksia ja parantaen ympäristövaikutuksia.

IoT-teknologian hyödyntäminen lisää vihreän rakentamisen standardien mukaisuutta tarjoamalla parempia valvonta- ja seurantamahdollisuuksia, joita on jo aikaisemmin käsitelty. IoT tarjoaa myös keinoja turvallisuuden parantamiseen rakennusalalla, mikä vaikka ei suoraan sisälly vihreän rakentamisen kriteereihin, on alalla välttämätön perusedellytys. Tehostunut turvallisuus tuo merkittävää lisäarvoa asiakkaille ja muille sidosryhmille, edistäen samalla työmaan tehokkuutta; ilman turvallista työympäristöä projektien eteneminen hidastuu tai pysähtyy kokonaan. Lisäksi IoT mahdollistaa jatkuvan sisäilman laadun ja turvallisuusominaisuuksien valvonnan, mikä suoraan parantaa asukkaiden hyvinvointia ja tukee kestävä kehityksen tavoitteita, tehden siitä merkittävän osan Sinisen meren strategian ”lisää” vaihetta vihreässä rakentamisessa.

IoT-teknologia muuttaa radikaalisti tapaa, jolla rakennusalalla lähestytään rakennusten ja infrastruktuurin seuranta- ja hallintaa. Sen avulla voidaan tehos-

taa koko rakennuksen elinkaaren hallintaa, tarjoten mahdollisuuksia kestävämmän rakentamisen edistämiseen ja resurssien käytön optimointiin. Rakenteiden seuranta IoT-sensorien avulla perustuu jaksollisiin mittauksiin sensorijärjestelmän avulla, vaurioherkkien ominaisuuksien erottamiseen mittaustuloksia prosessoimalla, ja tämän pohjalta erotettujen ominaisuuksien analysointi rakenteen nykytilan määrittämiseksi (Scuro ym., 2018). R1:n käyttämä rakenteiden etäseuranta osoittaa, kuinka IoT voi tuoda konkreettisia hyötyjä pitkäaikaisissa projekteissa, mahdollistaen jatkuvan seurannan ja reagoinnin ilman tarvetta jatkuville paikan päällä tehtäville tarkastuksille.

L4:n kokemukset vahvistavat tämän näkemyksen, osoittaen, että nykyiset teknologiat, jotka vaativat paikan päällä käyntejä, ovat usein tehotonta ja epätarkkaa verrattuna IoT-pohjaisiin ratkaisuihin, jotka mahdollistavat etämonitoroinnin. IoT tarjoaa alustan, jolta voidaan saada yksityiskohtaisia tietoja ja oivalluksia, jotka olisivat muutoin saavuttamattomissa ja antaa mahdollisuuden reagoida nopeasti ongelmiin asettamalla hälytyksiä, ja vastaanottamalla ilmoituksia poikkeavista parametreista. Tämä tuo merkittävää lisäarvoa koko rakennusalalle, mahdollistaen tehokkaamman resurssien käytön ja parantaen rakennusten ympäristövaikutuksia.

Yhteenvetona, IoT-teknologian käyttö vihreässä rakentamisessa tarjoaa merkittäviä etuja, jotka ovat linjassa Sinisen meren strategian neljän vaiheen – kehittää, vähentää, uudistaa ja poistaa – kanssa. IoT mahdollistaa rakennusprosessien tehostamisen ja kustannusten vähentämisen, samalla kun se parantaa asumismukavuutta, ja ympäristöystävällisyyttä. Tämä teknologia auttaa kehittämään uusia innovatiivisia ratkaisuja, jotka vastaavat vihreän rakentamisen haasteisiin, kuten energiatehokkuuden ja sisäilman laadun parantamiseen. Samanlaisesti se vähentää tarpeettomia työvaiheita ja resursseja, tuoden kustannussäästöjä ja tehokkuutta. IoT uudistaa rakennusalan toimintamalleja tarjoamalla uusia tapoja seurantaan ja hallintaan, jotka vastaavat kestävä kehityksen tavoitteita. Samalla se poistaa vanhentuneita käytäntöjä, jotka eivät enää palvele nykyaikaista rakentamista. Näin ollen, IoT:n soveltaminen ei ainoastaan edistä vihreää rakentamista, vaan luo myös uusia mahdollisuuksia arvonluonnille, hyödyttäen sekä rakennusalan ammattilaisia että kiinteistöjen käyttäjiä ja avaa tien kohti innovatiivisempaa ja kestävämpää rakennusalaa.

8 YHTEENVETO

IoT tarjoaa lukuisia mahdollisuuksia vihreän rakentamisen alalla, mutta sen soveltaminen vaatii tarkkaa harkintaa ja strategista suunnittelua. Tarkka harkinta ja suunnittelu juontaa juurensa rakennusalan luonteesta, jossa oleellinen arvonluonnin keino on kustannussäästöt ja prosessien tehostaminen. Rakennusala suhtautuu innovaatioihin varoen ja riskien pienentäminen sekä kyvykkyyksien osoittaminen on keskeinen tapa tuoda innovaatio näkyviin (Slaughter, 2000).

IoT innovaationa tarjoaa merkittäviä muutosmahdollisuuksia liiketoimintamalleihin vihreässä rakentamisessa. IoT-teknologia mahdollistaa uudenlaisen arvon luomisen vihreässä rakentamisessa reaaliaikaisen tiedon avulla. Reaaliaikainen seuranta ja analytiikka mahdollistavat merkittäviä hyötyjä monien rakennusprosessien kohdalla. Reaaliaikainen data ja tästä saatava tieto sekä tästä mahdollisesti johdetut automaatiot parantavat rakennusten toteutuneiden hiilidioksidipäästöjen mittaamista, joka on tällä hetkellä lähes mahdotonta. Toteutuneiden CO₂-päästöjen mittaaminen on liiketoimintamallia eniten muokkaava IoT-teknologian mahdollistama uudistus. Muutos ulottuu rakennusliikkeistä aina laitevalmistajiin saakka, mahdollistaen kilpailuedun ja sijoittajien merkittävemmän huomion.

Tehostuneella ympäristökuorman mittaamisella on potentiaali vahvistaa tai muokata yritysten arvolupausta asiakkailleen vihreän rakentamisen kontekstissa. Samalla kun asiakkaiden ja loppukäyttäjien kasvava tietoisuus ympäristöasioista lisää paineita rakennusalan yrityksille tarjota kestäviä ratkaisuja. Pohjautuen reaaliaikaiseen tietoon, yhdistettynä erinomaisen integroitavuutensa ansiosta, IoT:n avulla yritykset voivat vastata näihin odotuksiin tarjoamalla älykkäitä, mukautuvia järjestelmiä, jotka parantavat rakennusten suorituskykyä ja asumismukavuutta. Järjestelmät voivat tarjota laajempaa tietoa resurssien käytöstä, mikä mahdollistaa niiden optimaalisen hyödyntämisen ja voi johtaa tehokkaampaan rakennusprosessiin. Tämä johtaa pienempiin ylläpitokustannuksiin rakennusprosessin aikana, kuten talvisin sulanapidon kustannuksiin. Lisäksi loppukäyttäjälle tämä näkyy alempina kustannuksina, kun esimerkiksi asumislämpötila voidaan automatisoida hukkan välttämiseksi. On tärkeää huomata, että IoT-teknologialla on merkittävä potentiaali tehostaa prosesseja ja vähentää kustan-

nuksia, mikä on myös perinteisen rakentamisen keskeisimpiä ja mitattavissa olevia, arvostetuimpia arvonluontikeinoja. IoT:n käyttöönotto vihreässä rakentamisessa vaatii uudenlaista yhteistyötä ja kumppanuuksia teknologiatoimittajien, rakennusyrietysten ja kiinteistöhoitoyhtiöiden välillä. Yhteistyöllä pyritään kehittämään ja implementoimaan IoT-ratkaisuja, jotka tukevat kestävästä rakentamista. Jakelukanavat laajenevat ja monimutkaistuvat, kun IoT-laitteet ja -palvelut integroituvat osaksi rakennusprojekteja. Tämä monimutkaistuminen ei ole huono asia, sillä on tärkeää, että yritykset ja toimijat rakennusalaalla pyrkivät jatkuvasti kehittämään kyvykkyyksiään, rakentamaan kestäviä kumppaniverkostoja ja uudistamaan arvolupauksiaan vastatakseen kestävästä kehityksen vaatimukseen (Mokhlesian & Holmén, 2012).

IoT-tekniikan hyödyntäminen vihreässä rakentamisessa edustaa merkittävää innovaatiota, joka voi muuttaa rakennusalaan syvällisesti. Sen avulla voidaan paitsi edistää kestävästä kehitystä, myös luoda uutta liiketoimintaa ja arvoa rakennusalan yrityksille ja niiden asiakkaille. Tutkimustulokset osoittivat, että IoT-tekniikka pystyy vastaamaan osoitettuun tarpeeseen merkittävästi parantamalla työn tuottavuutta ja tehostamalla materiavirtojen hallintaa. Luotu arvo on prosessitasolla suurilta osin käyttöarvoa, kun taas rakennuksiin sisällytettynä ensisijainen arvonluontimuoto on vaihtoarvo. On tärkeää, että IoT:n käyttöönotto suunnitellaan huolellisesti, jotta voidaan maksimoida sen hyödyt ja minimoida mahdolliset riskit, esimerkiksi tiedon oikeellisuuden suhteen.

8.1 Rajoitteet

Tutkimus koostui narratiivisena kirjallisuuskatsauksena toteutetusta teoreettisesta osiosta ja puolistrukturoituina temahaastatteluina toteutetusta empiirisestä osiosta. Molemmat osiot korostivat samoja havaintoja, eikä suuria ristiriitoja ollut havaittavissa. Kirjallisuuskatsauksessa tutkimuksen rajoitteina voidaan pitää käytettyjä tietokantoja. Käytetyt tietokannat sisälsivät osittain vanhoja lähteitä, joiden havainnot saattavat olla nykypäivänä vanhentuneita. Tällaisia teemoja saattavat olla esimerkiksi tekniikan omaksumiseen ja vihreisiin käytäntöihin liittyvät havainnot. Huomionarvoista on se, että lähdemateriaalille oli asetettu ensisijainen tuoreusvaatimus ja tätä vanhemmat lähteet ovat olleet viitteitä tuoreudeltaan raja-arvot täyttäneiltä tutkimuksilta. Tämä ei poista mahdollisuutta vanhentuneelle tiedolle, mutta tukee silti väitettä siitä, että asiat ovat silti nykypäivän kontekstissa vielä relevantteja ja paikkaansa pitäviä.

Toinen rajoite on rakennusalan suhteellisen suppea käsittely ja tutkijan ennakotiedot liittyen rakennusalaan. Vaikka tutkija omaa hieman käytännön kokemusta rakennusosalta, voi silti olla mahdollista, että haastatteluaineistossa ja kirjallisuudessa esiintyneet havainnot ovat ristiriidassa alan nykyisten prosessien kanssa. Tällaiset prosessit voivat olla esimerkiksi hankintoihin ja rahoitukseen liittyvät seikat. Huomioitavaa on se, että haastateltavien ammattitaito ja rehellisyys on pyritty varmistamaan sisällyttämällä kohderyhmään mahdollisimman laaja otanta eri kokemustasoista, monen vuosikymmenen kokemuspohjan omaaviin haastateltaviin. Haastateltavien vastauksissa ei myös ollut merkittäviä

ristiriitoja, mikä tukee väitettä tietojen oikeellisuutta, myös absoluuttista totuutta ei pystytä varmistamaan.

Myers ja Newman (2007) ovat nostaneet esille laadulliseen haastattelututkimukseen liittyviä sudenkuoppia ja mahdollisia ongelmia. Yksi merkittävistä haasteista on Hawthorne -efekti, jolla tarkoitetaan sitä, että tutkija saattaa tiedostettavasti tai tiedostamattaan ohjata tutkimustuloksia tiettyyn suuntaan. Tämän tutkimuksen haastateltavat saivat kattavan ennakkotietopaketin sisältäen vapaaehtoista lukemista varten tietoa niin IoT-tekniologiasta, kuin myös vihreästä rakentamisesta. Arvonluonnista ei ennakkotietoa jaettu, sillä haluttiin varmistaa, että saadaan mahdollisimman laaja otanta siitä, mitä kukin yksilö kokee arvon olevan. Tämä voi vaikuttaa siihen, mitä haastateltavat kertovat haastattelun aikana. Lisäksi haastatteluiden ollessa puolistrukturoituja, eivät kaikki haastateltavat saaneet samoja kysymyksiä, mikä johtaa tietyn ilmiön painottamiseen toista enemmän, joka näkyy haastattelutuloksissa merkittävämpänä seikana, sillä tämä sai enemmän huomiota haastatteluprosessissa.

Toinen Myersin ja Newmanin (2007) esille nostama mahdollinen haastattelututkimuksen sudenkuoppa on kielimuuri. Haastattelut L1, L2, L3 ja L4 oli toteutettu englannin kielellä, eikä haastateltavien äidinkieli ollut englanti. Tämä on voinut johtaa tilanteisiin, jossa kysymys on ymmärretty väärin ja tämä on saattanut vaikuttaa tutkimustuloksiin niin haastattelussa kuin myös koodaus- ja analyysivaiheessa (Myers & Newman, 2007).

Huomionarvoista on myös se, että kvalitatiivisesta tutkimuksesta saatava tieto on heikosti yleistettävää ja tätä tulisi käsitellä lähinnä esitutkimuksen kontekstissa (Alasuutari, 2011, s. 180). Tutkimus on toteutettu pienellä otannalla, tuoden esille hyvin yleistettyjä tuloksia. Vaikka havainnot pohjautuvat olemassa olevan kirjallisuuden ja empiirisen osion yhteishavaintoihin, mutta on hyvä silti tiedostaa, että tutkimus toimii pohjana aiheen syvemmälle tarkastelulle ja tutkimuksen tarkoituksena on valaista teknologian mahdollisista potentiaaleista ja tämän tuomasta ratkaisusta alaa vaivaaviin haasteisiin.

8.2 Kontribuutio ja jatkotutkimusaiheet

Tutkimuksen tulokset tarjoavat arvokasta tietoa siitä, miten IoT-tekniologiaa voidaan hyödyntää rakennusallalla parantamaan sekä vihreän että perinteisen rakentamisen prosesseja. Se esittelee konkreettisia esimerkkejä siitä, miten IoT voi auttaa tehostamaan rakennusprosesseja, parantamaan energiatehokkuutta ja pienentämään ympäristövaikutuksia, mikä tukee alan kehitystä kestävämpään suuntaan. Lisäksi tutkimus valottaa IoT:n mahdollisuuksia uudistaa rakennusalan liiketoimintamalleja ja avata uusia toimialoja sisäisesti, mikä voi johtaa laajempiin markkinamahdollisuuksiin ja parantaa rakennusalan yritysten kilpailukykyä.

Tutkimus osoittaa, että IoT:n tehokas käyttöönotto edellyttää kattavaa ymmärrystä ja strategista lähestymistapaa, joka ottaa huomioon rakennusalan ominaispiirteet, kuten korkeat kustannusriskit ja muutosvastarinnan. Tämän ym-

määräyksen avulla rakennusalan toimijat voivat paremmin navigoida uusien teknologioiden implementoinnissa, välttää yleisimpiä kompastuskiviä ja hyödyntää IoT:n tarjoamia etuja täysimittaisesti. Lisäksi tutkimus tarjoaa perustan jatkotutkimuksille, erityisesti yksittäisten sovellusten ja liiketoimintamallien tarkastelulle, mikä voi auttaa syventämään ymmärrystä IoT:n roolista rakennusalalla. Tämä tieto on arvokasta paitsi akateemiselle yhteisölle, myös teollisuuden päättäjille, jotka pyrkivät sopeutumaan nopeasti muuttuviin teknologisiin ja markkinaympäristöihin. Tutkimuksen tulokset voivat siten edistää tehokkaampien ja kestävämpien rakennusprosessien kehittämistä ja tarjota uusia näkökulmia rakennusalan tulevaisuuden haasteisiin vastaamiseksi.

Tarkempana tulevaisuuden tutkimusaiheena olisi kiehtovaa vertailla laajamittaisesti IoT-teknologiaa hyödyntäviä vihreitä rakennusprojekteja niihin, joissa tätä teknologiaa ei ole käytössä. Tämä tutkimusalue on haasteellinen, koska jokainen rakennusprojekti on ainutlaatuinen, joten tutkimuksen onnistuminen edellyttäisi laajaa otantaa ja pitkäaikaista seuranta. On myös tärkeää tutkia, miten IoT-teknologian käyttöönotto vaikuttaa eri sidosryhmiin rakennusalalla, mukaan lukien rakennusyrietykset, sijoittajat ja loppukäyttäjät. Erityistä huomiota tulee kiinnittää siihen, millaisia käytännön haasteita nämä sidosryhmät kohtaavat ja kuinka he kokevat teknologian tuomat muutokset, jotta voidaan kehittää tehokkaampia strategioita IoT:n integroimiseksi rakennusprosesseihin.

LÄHTEET

- Abruzzese, D., Micheletti, A., Tiero, A., Cosentino, M., Forconi, D., Grizzi, G., Scarano, G., Vuth, S., & Abiuso, P. (2020). IoT sensors for modern structural health monitoring. A new frontier. *Procedia Structural Integrity*, 25, 378–385. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2020.04.043>
- Abuzeinab, A., Arif, M., Qadri, Mohd. A., & Kulonda, D. (2018). Green business models in the construction sector: An analysis of outcomes and benefits. *Construction Innovation*, 18(1), 20–42. <https://doi.org/10.1108/CI-07-2016-0041>
- Aho, I. (2013). Value-added business models: Linking professionalism and delivery of sustainability. *Building Research & Information*, 41(1), 110–114. <https://doi.org/10.1080/09613218.2013.736203>
- Alaloul, W. S., Tayeh, B. A., & Musarat, M. (Toim.). (2023). Sustainable Construction of Future: Opportunities and Challenges for Green and Buildings. MDPI. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-7896-5>
- Alasuutari, P. (2011). *Laadullinen tutkimus 2.0* (4. uud. p.). Vastapaino.
- Almuhaya, M. A. M., Jabbar, W. A., Sulaiman, N., & Abdulmalek, S. (2022). A Survey on LoRaWAN Technology: Recent Trends, Opportunities, Simulation Tools and Future Directions. *Electronics*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/electronics11010164>
- Arowoia, V. A., Oke, A. E., Aigbavboa, C. O., & Aliu, J. (2020). An appraisal of the adoption internet of things (IoT) elements for sustainable construction. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(5), 1193–1208. <https://doi.org/10.1108/JEDT-10-2019-0270>
- Ashton, K. (2009). That "Internet of Things" Thing. *RFID Journal*.
- Baarimah, A. O., Alaloul, W. S., Liew, M. S., Kartika, W., Al-Sharafi, M. A., Musarat, M. A., Alawag, A. M., & Qureshi, A. H. (2022). A Bibliometric Analysis and Review of Building Information Modelling for Post-Disaster Reconstruction. *Sustainability*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/su14010393>

- Babu, M. R. (2021). IoT implementation in Construction Industry (Internet of Things). *Research Journal of Engineering and Technology*.
- Balasubramanian, S., Shukla, V., Islam, N., & Manghat, S. (2024). Construction Industry 4.0 and Sustainability: An Enabling Framework. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 1–19. <https://doi.org/10.1109/TEM.2021.3110427>
- Ball, J. (2002). Can ISO 14000 and eco-labelling turn the construction industry green? *Building and Environment*, 37, 421–428. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00031-2](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00031-2)
- Begić, H., & Galić, M. (2021). A Systematic Review of Construction 4.0 in the Context of the BIM 4.0 Premise. *Buildings*, 11(8), 337. <https://doi.org/10.3390/buildings11080337>
- Bi, Z., Xu, L., & Wang, C. (2014). Internet of Things for Enterprise Systems of Modern Manufacturing. *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, 10, 1537–1546. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300338>
- Bibri, S. E. (2018). The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability. *Sustainable Cities and Society*, 38, 230–253. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.034>
- Bossink, B. (2002). A Dutch public-private strategy for innovation in sustainable construction. *Construction Management and Economics*, 20(7), 633–642. <https://doi.org/10.1080/01446190210163534>
- Bossink, B. (2011). *Managing Environmentally Sustainable Innovation: Insights from the construction industry*.
- Bowman, C., & Ambrosini, V. (2000). Value Creation Versus Value Capture: Towards a Coherent Definition of Value in Strategy. *British Journal of Management*, 11(1), 1–15. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00147>
- BREEAM. (2024). BREEAM Net Zero Carbon Buildings – BRE Group. <https://bregroup.com/products/breeam/breeam-solutions/breeam-net-zero-carbon/>
- Byabazaire, J., O'Hare, G., & Delaney, D. (2020). Data Quality and Trust: Review of Challenges and Opportunities for Data Sharing in IoT. *Electronics*, 9(12), 2083. <https://doi.org/10.3390/electronics9122083>
- Cano-Suñén, E., Ruiz, I. M., Fernández Cuello, Á., Zalba, B., & Casas, R. (2023). Internet of Things (IoT) in Buildings: A Learning Factory [Preprint]. *Engineering*. <https://doi.org/10.20944/preprints202306.2205.v1>
- Casini, M. (2021). *Construction 4.0: Advanced Technology, Tools and Materials for the Digital Transformation of the Construction Industry*. Woodhead Publishing.
- Chintalapudi, K., Fu, T., Paek, J., Kothari, N., Rangwala, S., Caffrey, J., Govindan, R., Johnson, E., & Masri, S. (2006). *Monitoring civil structures*

- with a wireless sensor network. *IEEE Internet Computing*, 10(2), 26–34.
<https://doi.org/10.1109/MIC.2006.38>
- Chong, H.-Y., Lee, C.-Y., & Wang, X. (2017). A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 142, 4114–4126.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.222>
- Cirani, S., Ferrari, G., Picone, M., & Veltri, L. (2018). *Internet of Things: Architectures, Protocols and Standards*. John Wiley & Sons, Incorporated.
<http://ebookcentral.proquest.com/lib/jyvaskyla-ebooks/detail.action?docID=5502966>
- Darko, A., & Chan, A. P. C. (2016). Critical analysis of green building research trend in construction journals. *Habitat International*, 57, 53–63.
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2016.07.001>
- Dave, B., Buda, A., Nurminen, A., & Främpling, K. (2018). A framework for integrating BIM and IoT through open standards. *Automation in Construction*, 95, 35–45. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.022>
- Davis, F., Bagozzi, R., & Warshaw, P. (1989). User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. *Management Science*, 35, 982–1003. <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.8.982>
- De Almeida Barbosa Franco, J., Domingues, A. M., De Almeida Africano, N., Deus, R. M., & Battistelle, R. A. G. (2022). Sustainability in the Civil Construction Sector Supported by Industry 4.0 Technologies: Challenges and Opportunities. *Infrastructures*, 7(3), 43.
<https://doi.org/10.3390/infrastructures7030043>
- Desogus, G., Quaquero, E., Rubiu, G., Gatto, G., & Perra, C. (2021). BIM and IoT Sensors Integration: A Framework for Consumption and Indoor Conditions Data Monitoring of Existing Buildings. *Sustainability*, 13(8), 4496. <https://doi.org/10.3390/su13084496>
- Dilakshan, S., Rathnasinghe, A. P., Department of Building Economics, University of Moratuwa, Seneviratne, L. D. I. P., & Department of Building Economics, University of Moratuwa. (2021). POTENTIAL OF INTERNET OF THINGS (IOT) IN THE CONSTRUCTION INDUSTRY. *Proceedings of the 9th World Construction Symposium 2021 on Reshaping Construction: Strategic, Structural and Cultural Transformations towards the "Next Normal"*, 445–457.
<https://doi.org/10.31705/WCS.2021.39>
- Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A. (2000). Dynamic Capabilities: What Are They? *Strategic Management Journal*, 21(10/11), 1105–1121.
- Ekström. (2023, elokuuta 14). Rakennusalan työttömyys kasvaa, talouskasvu heikkenee ja konkurssit uhkaavat – näin asuntorakentamisen hyytyminen vaikuttaa. <https://demokraati.fi/rakennusalan-tyottomyys-kasvaa-talouskasvu-heikkenee-ja-konkurssit-uhkaavat-nain-asuntorakentamisen-hyytyminen-vaikuttaa/>

- Eskola, J., & Suoranta, J. (1998). Johdatus laadulliseen tutkimukseen. Vastapaino. <https://www.ellibslibrary.com/jyu/978-951-768-504-7>
- Fraga-Lamas, P., Lopes, S. I., & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Green IoT and Edge AI as Key Technological Enablers for a Sustainable Digital Transition towards a Smart Circular Economy: An Industry 5.0 Use Case. *Sensors*, 21(17), 5745. <https://doi.org/10.3390/s21175745>
- Freeman, R. E. (1984). Strategic management: A stakeholder approach. Pitman Boston; WorldCat.
- Freudenreich, B., Lüdeke-Freund, F., & Schaltegger, S. (2020). A Stakeholder Theory Perspective on Business Models: Value Creation for Sustainability. *Journal of Business Ethics*, 166(1), 3–18. <https://doi.org/10.1007/s10551-019-04112-z>
- Friess, P., & Vermesan, O. (2022). Internet of Things: Converging Technologies for Smart Environments and Integrated Ecosystems (1. p.). River Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781003338659>
- Gamil, Y., A. Abdullah, M., Abd Rahman, I., & Asad, M. M. (2020). Internet of things in construction industry revolution 4.0: Recent trends and challenges in the Malaysian context. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 18(5), 1091–1102. <https://doi.org/10.1108/JEDT-06-2019-0164>
- Gehring, F., Manuel Prenzel, T., & Albrecht, S. (2019, joulukuuta). Exploring the Environmental Impact of RFID Technology. FasterCapital. <https://fastercapital.com/content/Exploring-the-Environmental-Impact-of-RFID-Technology.html>
- Genesis. (2019). Getting Started With IoT. <https://censis.org.uk/2020/11/27/censis-getting-started-guides-tell-us-what-you-think/>
- Green Building Council Finland ry. (2024). Ympäristöluokitukset. Green Building Council Finland. <https://figbc.fi/ymparistoluokitukset>
- Haddadi, A., Johansen, A., & Andersen, B. (2016). A Conceptual Framework to Enhance Value Creation in Construction Projects. *Procedia Computer Science*, 100, 565–573. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.09.196>
- Harrison, J. S., & Wicks, A. C. (2013). Stakeholder Theory, Value, and Firm Performance. *Business Ethics Quarterly*, 23(1), 97–124. Cambridge Core. <https://doi.org/10.5840/beq20132314>
- Hefnawy, A., Bouras, A., & Cherifi, C. (2016). IoT for Smart City Services: Lifecycle Approach. *Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Cloud Computing*, 1–9. <https://doi.org/10.1145/2896387.2896440>
- Hirsjärvi, S., & Hurme, H. (2022). Tutkimushaastattelu: Teemahaastattelun teoria ja käytäntö ([2. painos]). Gaudeamus. <https://www.ellibslibrary.com/jyu/9789523458123>

- Hussin, J., Abdul Rahman, I., & Memon, A. (2013). The Way Forward in Sustainable Construction: Issues and Challenges. *International Journal of Advances in Applied Sciences (IJAAS)*, 2, 31–42.
<https://doi.org/10.11591/ijaas.v2i1.1321>
- Ismail, S. A., Bandi, S., & Maaz, Z. N. (2018). An Appraisal into the Potential Application of Big Data in the Construction Industry. *International Journal of Built Environment and Sustainability*, 5(2), Article 2.
<https://doi.org/10.11113/ijbes.v5.n2.274>
- Jia, M., Komeily, A., Wang, Y., & Srinivasan, R. S. (2019). Adopting Internet of Things for the development of smart buildings: A review of enabling technologies and applications. *Automation in Construction*, 101, 111–126.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.023>
- Kasujee, I., & Rebbeck, T. (2023, heinäkuuta 26). What is the IoT value chain and why is it important? [Blog]. *Analysys Mason*.
<https://www.analysysmason.com/research/content/articles/iot-value-chain-rdme0/>
- Keränen, J., & Jalkala, A. (2013). Towards a framework of customer value assessment in B2B markets: An exploratory study. *Industrial Marketing Management*.
- Khurshid, K., Danish, A., Salim, M. U., Bayram, M., Ozbakkaloglu, T., & Mosaberpanah, M. A. (2023). An In-Depth Survey Demystifying the Internet of Things (IoT) in the Construction Industry: Unfolding New Dimensions. *Sustainability*, 15(2), Article 2.
<https://doi.org/10.3390/su15021275>
- Kibert, C. J., Sendzimir, J., & Guy, B. (2000). Construction ecology and metabolism: Natural system analogues for a sustainable built environment. *Construction Management and Economics*, 18(8), 903–916.
<https://doi.org/10.1080/014461900446867>
- Kim, W. C. (2005). *Blue Ocean Strategy: From Theory to Practice*. *California Management Review*, 47(3), 105–121.
<https://doi.org/10.1177/000812560504700301>
- Kumar, A., Sharma, S., Goyal, N., Singh, A., Cheng, X., & Singh, P. (2021). Secure and energy-efficient smart building architecture with emerging technology IoT. *Computer Communications*, 176, 207–217.
<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2021.06.003>
- Kupiainen, S. (2021, syyskuuta 27). Liiketoimintamalli on koneisto, joka toteuttaa strategiaa. *Plus One Agency*.
<https://plusoneagency.com/liiketoimintamalli-on-koneisto-joka-toteuttaa-strategiaa/>
- Lam, P. T. I., Chan, E. H. W., Poon, C. S., Chau, C. K., & Chun, K. P. (2010). Factors affecting the implementation of green specifications in construction. *Journal of Environmental Management*, 91(3), 654–661.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.09.029>

- Lapinski Anthony R., Horman Michael J., & Riley David R. (2006). Lean Processes for Sustainable Project Delivery. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(10), 1083–1091. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2006\)132:10\(1083\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2006)132:10(1083))
- Lepak, D. P., Smith, K. G., & Taylor, M. S. (2007). Value Creation and Value Capture: A Multilevel Perspective. *Academy of Management Review*, 32(1), 180–194. <https://doi.org/10.5465/AMR.2007.23464011>
- Leroi-Werelds, S., Streukens, S., Brady, M. K., & Swinnen, G. (2014). Assessing the value of commonly used methods for measuring customer value: A multi-setting empirical study. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 42(4), 430–451. <https://doi.org/10.1007/s11747-013-0363-4>
- Louis, J., & Dunston, P. S. (2018). Integrating IoT into operational workflows for real-time and automated decision-making in repetitive construction operations. *Automation in Construction*, 94, 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.07.005>
- Luis Blanco, J., Rockhill, D., Sanghvi, A., & Alberto, T. (2023, toukokuuta 3). Accelerating growth in construction technology | McKinsey. <https://www.mckinsey.com/industries/private-equity-and-principal-investors/our-insights/from-start-up-to-scale-up-accelerating-growth-in-construction-technology>
- McKinsley. (2024, tammikuuta 24). The construction productivity imperative | McKinsey. https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/the-construction-productivity-imperative?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-text-block
- Meena, C. S., Kumar, A., Jain, S., Rehman, A. U., Mishra, S., Sharma, N. K., Bajaj, M., Shafiq, M., & Eldin, E. T. (2022). Innovation in Green Building Sector for Sustainable Future. *Energies*, 15(18), 6631. <https://doi.org/10.3390/en15186631>
- Meisels, M., Nikulin, M., Hardin, K., Sloane, M., & Dwivedi, K. (2024). 2024 engineering and construction industry outlook. Deloitte Insights. <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/engineering-and-construction/engineering-and-construction-industry-outlook.html>
- Mokhlesian, S., & Holmén, M. (2012). Business model changes and green construction processes. *Construction Management and Economics*, 30(9), 761–775. <https://doi.org/10.1080/01446193.2012.694457>
- Myers, D. (2005). A review of construction companies' attitudes to sustainability. *Construction Management and Economics*, 23(8), Article 8. <https://doi.org/10.1080/01446190500184360>
- Myers, D., & Newman, M. (2007). The qualitative interview in IS research: Examining the craft. *Information and Organization*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.1016/j.infoandorg.2006.11.001>

- Ngowi, A. B. (2001). Creating competitive advantage by using environment-friendly building processes. *Building and Environment*, 36, 291–298. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00006-8](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00006-8)
- Nižetić, S., Šolić, P., López-de-Ipiña González-de-Artaza, D., & Patrono, L. (2020). Internet of Things (IoT): Opportunities, issues and challenges towards a smart and sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122877. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122877>
- O'Brien, G. (2014, elokuuta 25). How to Measure Value. Thoughtworks. <https://www.thoughtworks.com/insights/blog/how-measure-value>
- Oke, A. E., & Arowoia, V. A. (2021). Evaluation of internet of things (IoT) application areas for sustainable construction. *Smart and Sustainable Built Environment*, 10(3), 387–402. <https://doi.org/10.1108/SASBE-11-2020-0167>
- Oke, A. E., Arowoia, V. A., & Akomolafe, O. T. (2022). Influence of the Internet of Things' application on construction project performance. *International Journal of Construction Management*, 22(13), 2517–2527. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1807731>
- Olander, S. (2007). Stakeholder impact analysis in construction project management. *Construction Management and Economics*, 25(3), 277–287. <https://doi.org/10.1080/01446190600879125>
- Oracle. (2024). What is the Internet of Things (IoT)? Oracle. <https://www.oracle.com/internet-of-things/what-is-iot/>
- Osterwalder, A., Pigneur, Y., & Clark, T. (2010). *Business model generation a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/jyvaskyla-ebooks/detail.action?docID=581476>
- Patel, K., Vyas, S., Pandya, V., & Saiyed, A. (2019). IoT: Leading Challenges, Issues and Explication Using Latest Technologies. 2019 3rd International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), 757–762. <https://doi.org/10.1109/ICECA.2019.8821970>
- Patil, M., Boraste, S., & Minde, P. (2022). A comprehensive review on emerging trends in smart green building technologies and sustainable materials. *Materials Today: Proceedings*, 65, 1813–1822. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.866>
- Pekuri, A., Suvanto, M., Haapasalo, H., & Pekuri, L. (2014). Managing value creation: The business model approach in construction. *Int. J. of Business Innovation and Research*, 8, 36–51. <https://doi.org/10.1504/IJBIR.2014.058045>
- Pham, C., Bounceur, A., Clavier, L., Noreen, U., & Ehsan, M. (2020). 4 – Radio channel access challenges in LoRa low-power wide-area networks. Teoksessa B. S. Chaudhari & M. Zennaro (Toim.), *LPWAN Technologies*

for IoT and M2M Applications (ss. 65–102). Academic Press.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818880-4.00004-1>

- Porter, M. E. (1985). *The Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance*.
<https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=193>
- Prabhu, P. G. (2016). Study on the Influence of Stakeholders in Construction Industry. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 4, 31–45.
- Presley, A., & Meade, L. (2010). Benchmarking for sustainability: An application to the sustainable construction industry. *Benchmarking: An International Journal*, 17, 435–451. <https://doi.org/10.1108/14635771080001426>
- Qian, Q., Chan, E., & Khalid, A. (2015). Challenges in Delivering Green Building Projects: Unearthing the Transaction Costs (TCs). *Sustainability*, 7(4), 3615–3636. <https://doi.org/10.3390/su7043615>
- RALA ry. (2023, lokakuuta 3). Rakennushankkeen arvonn tuotto vaatii johtamista | Rakentamisen Laatu RALA ry.
<https://www.sttinfo.fi/tiedote/70031712/rakennushankkeen-arvonn-tuotto-vaatii-johtamista?publisherId=69819172>
- RALA ry. (2024, tammikuuta 23). Ilmastomuutos haastaa rakentamisen – Suomen ensimmäinen kosteudenhallintasertifikaatti Peabille | Rakentamisen Laatu RALA ry.
<https://www.sttinfo.fi/tiedote/70089520/ilmastonmuutos-haastaa-rakentamisen-suomen-ensimmainen-kosteudenhallintasertifikaatti-peabille?publisherId=69819172>
- Ramboll. (2020, maaliskuuta 6). Ramboll ylsi nettovaikutukseltaan positiiviseksi yritykseksi – Ramboll Group. <https://www.ramboll.com/fi-fi/uutiset/ramboll-ylsi-nettovaikutukseltaan-positiiviseksi-yritykseksi>
- Reddy, H. G., & Kone, V. (2019). Study on Implementing Smart Construction with Various Applications Using Internet of Things Techniques. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 7, 188.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development*.
- Scuro, C., Sciammarella, P. F., Lamonaca, F., Olivito, R. S., & Carni, D. L. (2018). IoT for structural health monitoring. *IEEE Instrumentation & Measurement Magazine*, 21(6), 4–14.
<https://doi.org/10.1109/MIM.2018.8573586>
- Senouci, M. R., & Mellouk, A. (2016). 1 – Wireless Sensor Networks. Teoksessa M. R. Senouci & A. Mellouk (Toim.), *Deploying Wireless Sensor Networks* (ss. 1–19). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78548-099-7.50001-5>
- Slaughter, E. S. (2000). Implementation of construction innovations. *Building Research & Information*, 28(1), 2–17.
<https://doi.org/10.1080/096132100369055>

- Srivastava, A., Jawaid, S., Singh, R., Gehlot, A., Akram, S. V., Priyadarshi, N., & Khan, B. (2022). Imperative Role of Technology Intervention and Implementation for Automation in the Construction Industry. *Advances in Civil Engineering*, 2022, e6716987.
<https://doi.org/10.1155/2022/6716987>
- Taha, A.-E. M., & Elabd, A. (2021). IoT for Certified Sustainability in Smart Buildings. *IEEE Network*, 35(4), 241–247.
<https://doi.org/10.1109/MNET.011.2000521>
- Tang, S., Shelden, D. R., Eastman, C. M., Pishdad-Bozorgi, P., & Gao, X. (2019). A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends. *Automation in Construction*, 101, 127–139.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.01.020>
- Teece, D. J., Pisano, G., & Shuen, A. (1997). Dynamic Capabilities and Strategic Management. *Strategic Management Journal*, 18(7), 509–533.
- Teizer, J., Wolf, M., Golovina, O., Perschewski, M., Propach, M., Neges, M., & König, M. (2017, heinäkuuta 1). Internet of Things (IoT) for Integrating Environmental and Localization Data in Building Information Modeling (BIM). 34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, Taipei, Taiwan. <https://doi.org/10.22260/ISARC2017/0084>
- The U.S. Green Building Council. (2020). LEED Zero Program Guide | U.S. Green Building Council. <https://www.usgbc.org/resources/leed-zero-program-guide>
- Ventovuori, T. (2003). Asiakkuus rakentamisessa. Rakennustieto.fi.
<https://tiedostot.rakennustieto.fi/rakentajain-kalenteri/RK030704.pdf>
- Ventovuori, T., Kankainen, J., & Pekkanen, J. (2002). Projektituotannon asiakkuus. Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorion raportteja 206, TKK-RTA-R206.
http://www.cem.tkk.fi/fsr/Julkaisut/raportti_206.pdf
- Verbeeck, G., & Hens, H. (2010). Life cycle inventory of buildings: A calculation method. *Building and Environment - BLDG ENVIRON*, 45, 1037–1041.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.10.012>
- Vijayalakshmi, S. R., & Muruganand, S. (2018). *Wireless Sensor Networks: Architecture – Applications – Advancements*. Mercury Learning & Information; eBook Academic Collection (EBSCOhost).
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=e000xww&AN=1809144&site=ehost-live>
- Wang, G., & Ke, J. (2024). Literature Review on the Structural Health Monitoring (SHM) of Sustainable Civil Infrastructure: An Analysis of Influencing Factors in the Implementation. *Buildings*, 14(2), 402.
<https://doi.org/10.3390/buildings14020402>

- Wang, K., & Guo, F. (2022). Towards Sustainable Development through the Perspective of Construction 4.0: Systematic Literature Review and Bibliometric Analysis. *Buildings*, 12(10), 1708. <https://doi.org/10.3390/buildings12101708>
- Wei, C., & Li, Y. (2011). Design of energy consumption monitoring and energy-saving management system of intelligent building based on the Internet of things. 2011 International Conference on Electronics, Communications and Control (ICECC), 3650–3652. <https://doi.org/10.1109/ICECC.2011.6066758>
- WG03. (2018). Identifiers in Internet of Things (IoT). Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI). <https://euagenda.eu/upload/publications/identifiers-in-internet-of-things-iot.pdf>
- Wong, J. K. W., & Zhou, J. (2015). Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review. *Automation in Construction*, 57, 156–165. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.06.003>
- World Economic Forum. (2016, toukokuuta 4). Shaping the Future of Construction: A Breakthrough in Mindset and Technology. World Economic Forum. <https://www.weforum.org/publications/shaping-the-future-of-construction-a-breakthrough-in-mindset-and-technology/>
- Xu, S., Yu, J. Q., Niu, D. T., Dong, Z. P., & Gao, P. X. (2011). Research on Wireless Remote Monitoring System of the Durability for Large Concrete Structures. *Advanced Materials Research*, 368–373, 2194–2199. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.368-373.2194>
- Yang, C.-C., & Yang, K.-J. (2011). An integrated model of value creation based on the refined Kano's model and the blue ocean strategy. *Total Quality Management & Business Excellence*, 22(9), 925–940. <https://doi.org/10.1080/14783363.2011.611358>
- Yevu, S. K., Yu, A. T. W., & Darko, A. (2021). Digitalization of construction supply chain and procurement in the built environment: Emerging technologies and opportunities for sustainable processes. *Journal of Cleaner Production*, 322, 129093. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129093>
- YIT. (2021, toukokuuta 2). Vihreä rakentaminen – Osa I. <https://www.yit.fi/ytimessa/vihrea-rakentaminen>
- Ympäristöministeriö. (2023, maaliskuuta 1). Eduskunta hyväksyi rakentamisen päästöjä pienentävät ja digitalisaatiota edistävät lait. Ympäristöministeriö. <https://ym.fi/-/eduskunta-hyvaksyi-rakentamisen-paastoja-pienentavat-ja-digitalisaatiota-edistavat-lait>
- Ympäristöministeriö. (2024). Circular economy in the construction sector. Ministry of the Environment. <https://ym.fi/en/circular-economy-in-the-construction-sector>

- You, Z., & Feng, L. (2020). Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. *IEEE Access*, 8, 122908–122922. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3007206>
- Zhang, Y., Wang, H., Gao, W., Wang, F., Zhou, N., Kammen, D. M., & Ying, X. (2019). A Survey of the Status and Challenges of Green Building Development in Various Countries. *Sustainability*, 11(19), 5385. <https://doi.org/10.3390/su11195385>
- Zheng, C., Yuan, J., Zhu, L., Zhang, Y., & Shao, Q. (2020). From digital to sustainable: A scientometric review of smart city literature between 1990 and 2019. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120689. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120689>
- Zinecker, A., & Bourgault, J. (2022, huhtikuuta 7). Building Materials – A Hidden Heavyweight for Climate Action | SDG Knowledge Hub | IISD. SDG Knowledge Hub. <http://sdg.iisd.org/commentary/guest-articles/building-materials-a-hidden-heavyweight-for-climate-action/>
- Zott, C., Amit, R., & Massa, L. (2011). The Business Model: Recent Developments and Future Research. *Journal of Management*, 37(4), 1019–1042. <https://doi.org/10.1177/0149206311406265>

LIITE 1: TEOREETTINEN VIITEKEHYS LÄHTEINEEN

Elementti:	Selite:	Lähteet:
1. IoT:n sovellutukset vihreässä rakentamisessa:	Reaaliaikaisen datan hyödyntäminen esimerkiksi rakennustieto-mallissa	(Baarimah ym., 2022; Begić & Galić, 2021; Dave ym., 2018; Gamil ym., 2020; Louis & Dunston, 2018; Lu ym., 2017; Oke & Arowoiya, 2021; Teizer ym., 2017; You & Feng, 2020)
	Etähallinta	(Oke ym., 2022)
	Energiatehokkuuden tehostaminen	(Cano-Suñén ym., 2023; Meena ym., 2022)
	Infrastruktuurin ja rakenteiden etäseuranta	(Abruzzese ym., 2020; Chintalapudi ym., 2006; G. Wang & Ke, 2024)
	Toimitusketjun ja prosessin tehokkuuden parantaminen, keräämällä lisää tietoa	(Arowoiya ym., 2020; Dilakshan ym., 2021; Kibert ym., 2000; Lam ym., 2010; Louis & Dunston, 2018; Oke ym., 2022; Yevu ym., 2021; You & Feng, 2020)
	Automaatiot, älyominaisuudet	(Friess & Vermesan, 2022; Jia ym., 2019; Meena ym., 2022; Reddy & Kone, 2019)
	Työturvallisuuden tehostaminen	(Gamil ym., 2020; Oke ym., 2022; Reddy & Kone, 2019)
2. Arvonluonti eri sidosryhmille	Resurssien ja materiaalivirtojen tehokkaampi hallinta	(Balasubramanian ym., 2024; Gehring ym., 2019; Ismail ym., 2018; Reddy & Kone, 2019)
	Ympäristösertifiointin perusta	(Taha & Elabd, 2021)
	Lisääntynyt tieto ja tehostunut viestintä	(Abruzzese ym., 2020; Babu, 2021; Begić & Galić, 2021; Chintalapudi ym., 2006; Ghosh ym., 2020; Hefnawy ym., 2016; Ismail ym., 2018; Oke ym., 2022; Oracle, 2024; K. Wang & Guo, 2022)
	Loppukäyttäjien käyttäjäkokemuksen kehittäminen	(Cano-Suñén ym., 2023; Meena ym., 2022; Wei & Li, 2011)
	lisääntynyt tehokkuus ja alentuneet kustannukset	(Bibri, 2018; Friess & Vermesan, 2022; Gamil ym., 2020; Jia ym., 2019; Reddy & Kone, 2019; Zheng ym., 2020)
	Toimitusketjun tehokkuus ja valvontamekanismien toimivuus avainasemassa kestävyiden parantamisessa	(Lam ym., 2010)
	Tehokkaampi tarvekartoitus ja tarpeisiin vastaaminen	(Haddadi ym., 2016)
	Sidosryhmäsuhteiden edistäminen, lisäarvon tuottaminen sidosryhmille	(Freudenreich ym., 2020; Hefnawy ym., 2016; Mokhlesian & Holmén, 2012)
	Rakennusalan luonne on monimutkainen, joka hankaloittaa koordinoitua	(Myers, 2005)
	Tiedon on oltava johdonmukaista	(Hefnawy ym., 2016)
3. Kestävän rakentamisen haasteet ja IoT:n rooli niiden ratkaisemisessa:	Integraatio ja käyttäjäkokemus ovat merkittäviä tekijöitä arvonluonnissa	(Tang ym., 2019)
	Tarpeellinen koulutus teknologian käyttöä varten on vaadittua	(Tang ym., 2019)
	Älykotiominaisuuksilla voidaan luoda lisäarvoa loppukäyttäjille alhaisemmilla kustannuksilla ja energiatehokkuudella	(Chang ym., 2019; Desogus ym., 2021; Jia ym., 2019; Meena ym., 2022)
	Turvallisuuden lisääminen ja korjauskustannusten minimointi rakenneseurannalla	(Abruzzese ym., 2020; Chintalapudi ym., 2006; Dilakshan ym., 2021; G. Wang & Ke, 2024; Xu ym., 2011)
	IoT teknologia tarjoaa edullisia sovellutuksia saatuaan hyötyyn verrattuna	(Balasubramanian ym., 2024; Deese ym., 2021; Fraga-Lamas & Fernández-Caramés, 2019; Gehring ym., 2019; Reddy & Kone, 2019)
	Kasvat kustannukset ovat haaste vihreässä rakentamisessa	(Ngowi, 2001)
	Kestävän kehityksen piittaamattomuus	(Myers, 2005)
Muutoksia suunnitteluprosessiin kestävän rakentamisen periaatteita noudattaessa	(Kibert ym., 2000)	
3. Kestävän rakentamisen haasteet ja IoT:n rooli niiden ratkaisemisessa:	Ympäristön seuranta luonnonvoimilta on haastavaa ja kallista	(Abruzzese ym., 2020; Chintalapudi ym., 2006; Dilakshan ym., 2021; Ramboll, 2020; G. Wang & Ke, 2024; Xu ym., 2011)
	Merkittävä ongelma on suuri määrä jätettä	(Hussin ym., 2013; Meena ym., 2022; YIT, 2021)
	Usein aikataulut ja budjetti ylittyy	(Hussin ym., 2013)
	Liiketoimintamallit voivat kokea suuria muutoksia	(Mokhlesian & Holmén, 2012)

LIITE 1: HAASTATTELUKYSYMYKSET

Vihreä rakentaminen:

1. Kuinka tuttu vihreä rakentaminen käsitteenä on, oletko ollut tai oletko tällä hetkellä osana vihreää rakennushanketta
2. Jos kyllä: Kuinka tämä on eronnut perinteisestä rakennushankkeesta?

IoT:n Ymmärtäminen ja Mahdollisuudet:

1. Miten näette IoT:n roolin ja potentiaalain rakennusalalla nykyhetkellä ja tulevaisuudessa?
2. Voitteko kertoa esimerkin IoT:n onnistuneesta soveltamisesta omalla työskentelyalueellanne?

Haasteiden Ylittäminen:

1. Rakennusalan on todettu olevan verrattain hidas omaksumaan uusia teknologioita, mikä tähän voisi olla syynä?
2. Mitkä ovat suurimpia haasteita IoT-tekniikan käyttöönotossa teidän kokemuksenne mukaan?
3. Minkälaisia toimenpiteitä ehdottaisit IoT:n tunnettuuden ja ymmärryksen lisäämiseksi rakennusalalla?

IoT ja Kestävä Rakentaminen:

1. Miten IoT voi edistää kestävästä rakentamisesta ja ympäristöystävällisiä ratkaisuja?
2. Mitä konkreettisia hyötyjä tai haasteita olette nähneet IoT-tekniikan käytössä kestävästä rakentamisesta näkökulmasta?

Tekniikan Soveltaminen ja IoT-tietämys:

1. Kuinka hyvin rakennusalalla tunnetaan IoT-tekniikkaa ja sen soveltamismahdollisuuksia?
2. Onko mielestänne IoT-tekniikan soveltamiseen rakennusalalla liittyviä tietovajeita? Jos on, miten niitä voitaisiin vähentää?
3. Millaisia haasteita IoT-tekniikan soveltamisessa on kohdattu erityisesti rakentamisen yhteydessä?

Tulevaisuuden Visiot:

1. Millaisia tulevaisuuden skenaarioita voit kuvitella IoT:n avulla saavutettavan vihreässä rakentamisessa?
2. Mitkä tekijät mielestäsi edistäisivät IoT-tekniikoiden laajempaa käyttöönottoa kestävästä rakentamisesta alueella?
3. Onko jokin tietty IoT-tekniikka tai -sovellus, jota odotat tai toivot saavasi käyttöön lähitulevaisuudessa?