

Juuso Varjonen

MÄRKÄTILAELEMENTTIEN KÄYTÖN SUORITUSKYKYVAIKUTUKSET ASUINRAKENTAMISESSA

Johtamisen ja talouden tiedekunta
Diplomityö
Huhtikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Juuso Varjonen: Märkätilaelementtien käytön suorituskykyvaikutukset asuinrakentamisessa
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Tuotantotalous
Tarkastajat: Tuomas Ahola & Teemu Laine
Huhtikuu 2022

Rakennusalan tuotantoprosessin tuottavuuden alhainen vuosittainen kasvuprosentti on ollut jo pitkään keskustelun aiheena. Rakennusalan tuottavuusongelma ei vain rajaudu Suomeen, vaan ongelma on maailmanlaajuinen. Tuottavuuden kasvun kehittyminen rakennusallalla ei ole riittävällä tasolla kattamaan laatuvaatimusten ja materiaalihintojen aiheuttamat kustannuksien nousut tuotannossa. Tästä syystä asuinrakennuksien hinnat ovat kohonneet erityisesti pääkaupunkiseudulla kuluttajien kipurajoille. Tuottavuuden parantaminen rakennusallalla onkin hyvä mahdollisuus luoda kilpailuetua muihin rakennusliikkeisiin nähden. Tutkimuksessa tuottavuusongelmaa lähestytään etsimällä ratkaisua modulaarisesta esivalmistuksesta, erityisesti märkätilaelementtien käytöstä rakennustuotannossa. Tutkimuksen tilaajana toimii Skanska Talonrakennus Oy. Tutkimuksessa tavoitteena on tunnistaa märkätilaelementtien potentiaali tuottavuuden parantamisessa ja kehittää rakennusliikkeen tuotantoprosessia tutkimustuloksien avulla.

Kirjallisuuskatsauksessa lähestymään ongelmaa selvittämällä, miten modulaarinen rakentaminen on vastannut tuottavuusongelmaan muualla maailmassa ja minkälaisia vaikutuksia rakennushankkeen suorituskykyyn on tunnistettu modulaarisesta rakentamisesta. Vaikutuksia verrataan tuotannon 5 suorituskykytavoitteeseen, joita ovat laatu, nopeus, luotettavuus, joustavuus ja kustannukset sekä yhteiskuntavastuullisuuden 3 näkökulmaan taloudellisista, sosiaalisista ja ympäristövaikutuksista. Tutkimuksessa käytetään märkätilaelementtien käytön vaikutusten luokitteluun SWOT-analyysia. SWOT-analyysin pohjalta tunnistetut vaikutukset pyritään joko vahvistamaan tai kumoamaan suorituskykyvertailun avulla, jossa käytetään neljästä toteutuneesta rakennushankkeesta saatuja tietoja. Tutkittavista hankkeista kaksi on täyselementtikerhoja, eli kohteissa käytetään märkätilaelementtejä ja loput kaksi kohdetta ovat paikallarakennettavilla märkätiloilla. Haastattelututkimusta käytetään laajemman analyysin tekemiseen suorituskykyvertailun lisäksi. Haastattelututkimuksessa tarkennetaan vertailtavien hankkeiden tietoja ja hyödynnetään asiantuntijoiden osaamista märkätilaelementtien käytöstä. Lopuksi SWOT-analyysin tuloksien pohjalta kehitetään märkätilaelementtien käyttöä TOWS-analyysin strategiasuosituksen avulla.

Tutkimuksen tuloksissa tunnistettiin märkätilaelementtien käytöllä vahvuuksia, kuten nopeutunut rakennusaika, parantunut resurssitehokkuus, laatu, työturvallisuus ja vähentyneet ympäristövaikutukset. Heikkouksiksi tunnistettiin mm. korkeammat rakennuskustannukset, huono joustavuus, enemmän suunnittelutyötä, kokemuksen puute ja se, ettei eduista ole selkeää ymmärrystä. Mahdollisuuksina tunnistettiin tuottavuuden kehitys, kestävä rakentaminen, ja yhteistyökumppanuuDET. Uhkina tunnistettiin markkinoiden hyväksynnän puute, toimittajien pieni määrä ja yleisien standardien ja käytäntöjen puute.

TOWS-analyysin kehityssuosituksina kehitettiin useampi strategia, joilla voidaan hyödyntää mahdollisuuksia, muuttaa heikkoudet vahvuuksiksi sekä vastataan ulkoisiin uhkiin neutralisoidulla ne. Tutkimus antaa hyvän suunnan märkätilaelementtien käytön pitkäjänteiseen kehittämiseen sekä hyviä aiheita kehitys- ja tutkimustöille, joilla parannetaan tuotannon tuottavuutta märkätilaelementti kohteissa ja mahdollistetaan kestävämpää rakentamista tulevaisuudessa.

Avainsanat: moduulirakentaminen, modulaarinen rakentaminen, esivalmistus, märkätilaelementti, kylpyhuone-elementti, kehittäminen, tuottavuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

ABSTRACT

Juuso Varjonen: Performance implications of using bathroom elements in residential construction
Master's thesis
Tampere University
Industrial Engineering and Management
Inspectors: Tuomas Ahola & Teemu Laine
April 2022

The low annual growth rate of productivity in the construction sector has been a topic of debate for a long time. The productivity problem in the construction sector is not only limited to Finland, but the problem is global. The development of productivity growth in the construction sector is not sufficient to cover the cost increases in production due to quality requirements and material price. For this reason, the prices of residential buildings have increased, particularly in the Capital Region, to consumers' pain limits. Improving productivity in the construction sector is therefore a good chance to create a competitive advantage over other construction companies. In research, the productivity problem is approached by looking for a solution in modular prefabrication, especially the use of bathroom elements in construction production. The study is commissioned by Skanska Talonrakennus Oy. The aim of the study is to identify the potential of bathroom elements for productivity improvement and to develop the production process of the construction shop through the results of the research.

In a literature review to approach the problem by exploring how modular construction has responded to the productivity problem in other parts of the world and what effects on building-project performance have been identified from modular construction. The effects are compared with the 5 performance objectives of production, which are quality, speed, reliability, flexibility, and cost and socially responsible 3 aspects of economic, social, and environmental impacts. The study uses SWOT analysis of the effects of the use of bathroom elements. The effects observed based on SWOT analysis are intended to either confirm or refute through performance comparison using data from four realized construction projects. Two projects in the study are full-element buildings, which means bathroom elements are used in the sites, among structural other elements and the remaining two sites have on-site bathrooms. Interview research is used to conduct broader analysis in addition to performance comparison. The interview study refines the data of the projects being compared and makes use of experts' expertise in the use of bathroom elements. Finally, based on the results of the SWOT analysis, the use of the bathroom elements is developed using the strategy of TOWS analysis.

The results of the study identified strengths such as accelerated construction time, improved resource efficiency, quality, occupational safety, and reduced perimeter effects. Weaknesses included higher construction costs, poor flexibility, more design work, lack of experience and lack of clear understanding of the benefits. Productivity development, sustainable construction, and collaborative partnerships were identified as opportunities. The threats were identified as lack of market acceptance, small number of suppliers and lack of general standards and practices.

As development recommendations for TOWS analysis, several strategies were developed to exploit opportunities, transform weaknesses into strengths, and to respond to external threats by neutralizing them. The research provides good direction for the long-term development of the use of bathroom elements and good topics for development and research work to improve production productivity in bathroom element gesture sites and enable more sustainable construction in the future.

Keywords: modular construction, prefabrication in construction, prefabricated bathrooms in construction, bathroom element, development, productivity

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

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. TEOREETTINEN TAUSTA JA ONGELMANASETTELU	3
2.1 Avainkäsitteet.....	3
2.2 Tutkimusongelma, -kysymykset ja tavoitteet	4
2.3 Aiheen rajaus, työn sisältö ja rakenne	8
3. KIRJALLISUUSKATSAUS	10
3.1 Modulaarinen esivalmistus	10
3.2 Modulaarisen esivalmistuksen suorituskykyominaisuudet	14
3.3 Märkätilaelementin vaikutus rakennushankkeeseen.....	20
3.4 Vaikutuksien arvioinnin menettelytapa	28
3.5 Yhteenveto ja johtopäätökset	30
4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA RAJAUS	35
4.1 Metodologiset lähestymistavat ja rajaaminen	35
4.2 Esimerkkikohteet ja työtapamenetelmät	39
4.3 Tutkimuksien toteutukset ja niiden liittyminen toisiinsa	44
5. SUORITUSKYKYVERTAILU.....	50
5.1 Tuotantonopeus ja resurssitehokkuus	50
5.2 Toimittajien laatu ja luotettavuus	58
5.3 Taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristövaikutukset.....	63
5.4 Tulokset ja johtopäätökset.....	68
6. HAASTATTELU TUTKIMUS	73
6.1 Tulokset ja johtopäätökset.....	73
6.2 Tuloksien yhteenveto	79
7. POHDINTA	84
7.1 TOWS-analyysi ja strategiaehdotukset.....	84
7.2 Tutkimuksen laadun arviointi.....	91
8. TOIMINTASUUNNITELMA (SUOSITUKSET)	93
LÄHTEET	95
LIITE A: KÄYTETYT TYÖMENEKIT	98

KUVALUETTELO

Kuvio 1.	Tutkimuksen pää- ja osatavoitteet.....	7
Kuvio 2.	Aiheen rajaus.....	8
Kuvio 3.	Tutkimuksen rakenne.....	9
Kuvio 4.	Esivalmistusasteet (Bertram ym. 2019, muokattu)	12
Kuvio 5.	Runkoratkaisut ja asennustavat (firamodules 2021, muokattu)	24
Kuvio 6.	Kirjallisuuskatsauksen SWOT-analyysin nelikenttä	34
Kuvio 7.	Näytteiden harkinnanvarainen otannan havaintokuvio	37
Kuvio 8.	Valikoitujen esimerkkikohteiden ominaisuudet ja valintakriteerit.....	38
Kuvio 9.	Tutkimuksen rajaus, yleinen (Rautio, muokattu).....	39
Kuvio 10.	Tämän tutkimuksen perusjoukon rajaus (Rautio, muokattu)	39
Kuva 1.	Esimerkkikohteen 1. yleisaikataulu.....	50
Kuva 2.	Esimerkkikohteen 2. yleisaikataulu.....	52
Kuva 3.	Esimerkkikohteen 3. yleisaikataulu.....	54
Kuva 4.	Esimerkkikohteen 4. yleisaikataulu.....	56
Kuva 5.	Paikallarakennetun märkätilan joustavuuden heikkeneminen.....	60
Kuva 6.	Märkätilaelementin joustavuuden heikkeneminen	62
Kuvio 11.	Suorituskykyvertailun SWOT-analyysin nelikenttä.....	72
Kuvio 12.	Haastattelututkimuksen SWOT-analyysin nelikenttä	83
Kuvio 13.	Tilaajan tavoitteet ja märkätilaelementin suorituskyky	84
Kuvio 14.	TOWS-analyysin strategiakentät.....	85
Kuvio 15.	Toimintasuunnitelman suositukset aikajanalla.....	94

LYHENTEET JA MERKINNÄT

bm ²	[bm ²]	Bruttoneliö
ka		Keskiarvo
kph		Kylpyhuone
kr		kerros
tth	[h]	Työntekijätunti
tv		Työvuoro
vk		Viikko
yht		Yhteensä
kr		kerros

1. JOHDANTO

Teollisuudessa arvonlisäykseen perustuva työn tuottavuus on yli nelinkertaistunut, mutta rakennusteollisuudessa sama tuottavuus on jämähtänyt 1970-luvulle, todetaan tilastokeskuksesta saaduista tuloksista rakennuslehden artikkelissa ”Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa – onko allianssista tai leanista apua?” (Lohilahti ja Mölsä 2017). Artikkelissa (Lohilahti ja Mölsä 2017) nostetaan yhdeksi osasyiksi heikkoon tehokkuuden kasvuun se, että kaupungit kasvavat siitä huolimatta, vaikka rakennusalan tuottavuus ei kasvaisi, koska maksajia löytyy aina. Muissa teollisuusaloissa tuottavuuden kasvulla on kompensoinut tuotteen laadun parantamisesta aiheutuneet kustannuksien nousut ja pystytty pitämään hinnan kasvut maltillisena. Artikkelissa (Lohilahti ja Mölsä 2017) todetaan, että rakennusteollisuudessa tätä ei kuitenkaan ole tapahtunut ja tästä syystä asuntojen hinnat pääkaupunkiseudulla ovat ostajien ”kipurajalla”.

Tällä hetkellä tuottavuuden kehittämisessä rakennusteollisuudessa on mahdollisuus luoda yritykselle selvää kilpailuetua muihin markkinoilla oleviin kilpailijoihin. Tähän tilaisuuteen on tarttunut, esimerkiksi vuonna 2015 kovia kasvulukuja tuottanut Lehto Group Oyj. Lehto Groupin liikevoittoprosentti vuonna 2015 oli 9,9 % kun alalle tyypillisimmät olivat 4–5 %. (Herrala 2016b.) Lehto Groupin liikevoittoprosentti oli alan ehdotonta parhaimmista, ja asunnot menivät todella nopeasti kaupaksi (Herrala 2016a). Lehto Groupin tuolloinen toimitusjohtaja (nykyinen puheenjohtaja) Hannu Lehto perustelee artikkelissa kyseistä liikevoiton kasvua, muun muassa sillä, että Lehto Group keskittyy talousohjattuun rakentamiseen ja tuotannon kustannuksia on pystytty pitämään alhaisena järkeviin moduuleihin sekä konsepteihin perustuvan suunnittelun ja tuotannon avulla (Herrala 2016b). Myös Lehto Groupin tuolloisen puheenjohtaja Pertti Huuskosen mukaan esivalmistuksen avulla asunnot voidaan rakentaa kymmeniä prosenteja nykyistä halvemmalla, ja perustelee väitöstään sillä, että esivalmistuksessa voidaan hyödyntää automatisoidun sarjatuotannon etuja samoin kuin muussa teollisuudessa. Esimerkiksi kylpyhuoneiden valmistaminen tehtaassa sarjatuotannolla voisi parantaa kylpyhuoneiden laatua ja rakentamisen kustannustehokkuutta, toteaa Huuskonen artikkelissa. (Herrala 2016a.)

Kylpyhuoneet kuuluvat asuntojen kalleimpiin ja työllistävimpiin osiin (Herrala 2016a; 2018). Perinteisellä tavalla, eli paikalla valmistetut kylpyhuoneet kattavat noin 6–10 % hankkeeseen sidotuista kustannuksista ja vaatii useamman urakoitsijan kanssa sopimuksia (Taylor, Fisher, ja Wamuziri 2009). Kylpyhuone-elementteihin puolestaan asennetaan valtaosa talotekniikasta valmiiksi tehtaalla ennen kuin ne toimitetaan työmaalle asennusvalmiina. Niihin yhdistetään valmiiksi lämpö vesi ilmanvaihto, viemäri, sähkö ja data, jolloin työmaan aikainen sisätöiden tarve voi pienentyä jopa puolella (Herrala 2018). Valmiiden kylpyhuone-elementtien käyttö voi tällöin kustannustehokkuuden lisäksi vähentää työnjohtajan hallittavia työkokonaisuuksia merkittävästi, jolloin työnjohtajalla jää aikaa enemmän keskittyä tehokkaaseen tuotantoon ja tuottavan työn suunnitteluun.

Lehdon lisäksi myös YIT on huomannut oman tuotantonsa tuottavuuden kehittymisen teollistamisen kautta. YIT on ottanut isoja askelia esivalmisteiden lisäämisessä omassa tuotannossa ja aikovat entisestään lisätä esivalmisteiden käyttöä. (Lättilä 2019.) Luja betoni ja Fira Modulesin yhteistyö vie puolestaan modulaarisen esivalmistuksen jälleen uudelle tasolle, kun esivalmistettuun välipohjalaattaan yhdistetään jo tehtaalla vakioitu kylpyhuonemuoduli. Lisäksi välipohjalaattaan voidaan esivalmistuksen yhteydessä tehtaalla valaa parvekelaatat ja asentaa vesikiertoinen lattialämmitys, jota voidaan hyödyntää myös rakennusvaiheen lämmityksessä. Tämä tehtaalla valmiiksi tehty moduuli nostetaan paikalleen elementtiasennuksen yhteydessä, eikä se kasvata työkokonaisuutta juurikaan. Lujabetonin elementtiyksikön johtaja *Kari Turunen* kommentoikin, että ”esivalmistus on nouseva trendi ja tulevaisuuden tapa rakentaa”. (Aatsalo 2021.) Skanskalla on käytössä yksi modulaarisen asuntorakentamisen konsepti, joka eroaa merkittävästi muista kilpailijoista. Nimittäin Skanskan ja Ikean *BoKlok* puukerrostaloissa hyödynnetään pääosin modulaarista esivalmistusta. Asunnot valmistetaan kokonaan kahdesta tai useammasta tehtaalla valmistetusta tilaelementistä. (Mölsä 2021.) BoKlok hankkeet ovat keränneet huomiota myös maailman laajuisesti ja ovat vaikuttaneet jopa talouslehti *Fortunen* päätökseen listata Skanska *Change the World* -listalleen sijalle 17:sta (Rakennuslehti 2020).

2. TEOREETTINEN TAUSTA JA ONGELMAN-ASETTELU

2.1 Avainkäsitteet

Kylpyhuoneet kuuluvat rakenneteknisiltä ominaisuuksiltaan märkätiloihin. Ympäristöministeriön asetuksen mukaan märkätilalla tarkoitetaan huonetilaa, joka ei ole asuinhuone ja jonka lattiapinta on tilan käyttötarkoituksen vuoksi vedelle alttiina sekä seinäpinoille voi normaalissa käyttötilanteessa roiskua tai tiivistyä vettä (FINLEX 2017). Jatkossa myös tässä tutkimuksessa kylpyhuoneista käytetään termiä märkätila ja kylpyhuone-elementeistä märkätilaelementti. Kuiva-tila termiä puolestaan käytetään kaikista muista tiloista, jotka eivät ole märkätiloja.

Esivalmistusta, johon myös märkätilaelementti kuuluu, on käytetty tuotannon tehostamiseen rakennusalailla jo pitkään. Ensimmäiset betonielementtikohdeet rakennettiin Suomessa 1950-luvun alussa. 1970-luvulla kehitetyn betonielementtistandardi-järjestelmän (BES-järjestelmän) ansiosta Suomessa betoniteollisuus lähti kovaan kehityksen kasvuun 70-luvulla. (Elementtisuunnittelu 2020.) Nykyään esivalmistettuja betonielementtejä, kuten seinä- ja hormielementtejä käytetään lähes jokaisessa rakennushankkeessa nopeuttamaan rakennusvaihetta. Esivalmistettuja märkätilaelementtejä on käytetty rakennustuotannossa pitkään, mutta niiden kysyntä romahti lamavuosien aikana, eikä ole kasvanut tämän päivän rakentamisessa yhtä yleiseksi kuin tavallisten esivalmistettujen betonielementtien (Mölsä 2021). Rakennuskohdetta, jossa käytetään märkätilaelementtejä, voidaan käyttää termiä täyselementtikohde.

Rakennusteollisuudessa märkätilaelementtejä on pääasiassa käytetty hotelli- ja sairaalatuotannossa, niiden vakioitujen pohja- ja materiaaliratkaisujen takia. Vakioitujen ratkaisujen avulla, märkätilamoduuleja voidaan kopiokoneen lailla valmistaa tehtaassa kustannustehokkaasti (Taylor, Fisher, ja Wamuziri 2009) Mallia tähän otettiin laivateollisuudesta, jossa modulaarisella esivalmistuksella pyritään minimoimaan laivassa paikan päällä tehtävä kallis asennustyö (Mölsä 2021). Modulaarisessa rakentamisessa on paljon etuja, kun verrataan sitä perinteiseen paikallarakentamiseen. Esimerkiksi teh-

dasoloissa ollaan suojassa sääolosuhteilta ja kun suurin osa tuotannosta tapahtuu tehtaassa, myös työmaalla on vähemmän melua, saasteita ja jätettä. Lisäksi arvioidaan, että rakentamisen tarkkuus, laatu ja tehokkuus voivat parantua, kun käytetään modulaarista valmiselementtirakentamista. (Kotilainen 2013.)

2.2 Tutkimusongelma, -kysymykset ja tavoitteet

Rakennusteollisuudessa rakennetekniset laatuvaatimukset sekä käyttäjän odotukset laatutasosta ovat ottaneet huomattavia askeleita teknisempään sekä haastavampaan suuntaan, joka lisää tuotteissa käytettävien komponenttien sekä asennustöiden kustannuksia. Kustannukset näkyvät suoraan asuntojen hinnoissa sekä vaikuttavat olennaisesti rakennusliikkeen tuottamaan katteeseen. Myös maailman laajuisesti vaikuttavat tapaukset, kuten COVID-19 ja Ukrainassa käytävä sota, vaikuttavat merkittävästi materiaalien saatavuuteen ja hintojen nousuun, jotka luovat rakennusyriyksille lisää haasteita (esim. RT ry 2022).

Rakennusprojektin luonne sekä rakennusprojektin tuotannon layout ei tee tuottavuuden parantamista liian helppoa rakennusyriyksille. Sillä rakennushankkeet ovat projektituotannollisia hankkeita, joissa on ominaista projektien vaihtelevuus sekä häiriöherkkyys, jotka vaikuttavat hankkeiden hallintaan. Rakennushankkeiden layoutit puolestaan ovat kiinteäsijaintisia, jossa tuote itsessään pysyy paikallaan ja tuotteen valmistusprosessit siirtyvät tuotteen sisällä. Hankkeiden kokonaisuutta on tällöin vaikeampaa hallinta, kuin tavallisissa tuotannon layouteissa. Lisäksi logistiikan luotettavuus on kiinteäsijaisissa hankkeissa kriittisessä roolissa (Stevenson 2018). Tuottavuuden parantamiseen ja projektien luonteen epävarmuuksien minimoimiseen voisi löytyä vastaus modulaarisesta esivalmistuksesta, koska modulaarisen esivalmistuksen käytöllä väitetään olevan paljon potentiaalia parantaa nykyistä tuotantoa.

Märkätilaelementtien käytöstä ja sen tuomista eduista on kuitenkin paljon ristiriitaisia näkemyksiä ja tutkimustuloksia. Myös tämän työn tilaajan organisaatiossa on hyviä sekä huonoja kokemuksia märkätilaelementin käytöstä, joka jakaa mielipiteitä märkätilaelementin kannattavuudesta. Tämän työn tilaajan organisaatio kokee, että yhtenä suurimpana haasteena tällä hetkellä märkätilaelementtien käytössä on se, että ei ole selvää yhdenmukaista toimintasuunnitelmaa tai kehitysprosessia siitä, miten lyhyellä ja pitkällä

aikavälintähtäimellä märkätilaelementtejä pyritään hyödyntämään tuotannon tuottavuuden parantamiseen, kustannusten hallintaan ja läpimenoaikojen lyhentämiseen.

Tämän ongelman yksi näkökulmista on se, että märkätilaelementin tämänhetkisiä suorituskkyominaisuuksia ei yleisesti tunnisteta, eikä pystytä selkeästi laskemaan märkätilaelementin todellista hyötyä. Tällä hetkellä märkätilaelementin käyttöä ohjaa vahvasti yleiset mielipiteet, jotka perustuvat johonkin aikaisempaan kokemukseen märkätilaelementeistä, josta voi olla jopa useita vuosia. Toinen näkökulma ongelmalle on se, kun ei tunnisteta riittävän tarkasti märkätilaelementin todellisia hyötyjä, tällöin ei myöskään tunnusteta hankkeen ominaisuuksia, jotka tukevat märkätilaelementtien suorituskkyvyn vahvuuksia, jolloin ei pystytä käyttämään märkätilaelementin todellista potentiaalista hyötyä.

Tuottavuuden parantamistavoitteisiin pääseminen tapahtuu tuotannon kehitysprosessin kautta ja tuotannon tehokkuus, kustannussäästöt sekä läpimenoajan lyhentyminen tulee tuotannon kehityksen mukana. Kehitysprosessin luomista helpottaa, että tutkimustyön tilanneesta yrityksestä löytyy henkilöitä, jotka tunnustavat märkätilaelementtien todellisia suorituskkyominaisuuksia ja tunnustavat niissä piilevät riskikohdat, koska heillä on kokemusta useammasta kohteesta, jossa käytössä on ollut märkätilaelementit. Edellä pohdittu tutkimusongelma voidaan jakaa seuraavaan kolmeen tutkimuskysymykseen, jotka ovat esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Tutkimuskysymykset

Tutkimuskysymys 1.

Mitkä ovat märkätilaelementin suorituskkyvyn vaikuttavat tekijät?

Tutkimuskysymys 2.

Mitkä suorituskkyominaisuuksista ovat märkätilaelementin vahvuuksia, heikkouksia, mahdollisuuksia ja uhkia?

Tutkimuskysymys 3.

Millä strategioilla pystytään hyödyntämään märkätilaelementtien vahvuudet ja potentiaaliset mahdollisuudet sekä neutralisoimaan tai minimoimaan sen heikkoudet ja uhat?

Nämä tutkimuskysymykset ohjaavat ja tarkentavat tutkimuksen tavoitetta, joka tässä tutkimustyössä on kehittää operatiivista toimintaa luomalla konkreettinen ja käytännön läheinen toimintasuunnitelma siitä, miten yritys pystyy pitkäjänteisesti parantamaan tuotannon tuottavuutta märkätilaelementtien käytöllä. Toimintasuunnitelman avulla on tarkoitus parantaa rakennustyömaan tuotannon tuottavuutta, kustannusten hallintaa sekä parantaa laatua. Tutkimuksen päätavoite pitää sisällään kaksi osatavoitetta: (1) Operatiivisen toiminnan kehittämiseen, eli lyhyellä aikavälillä (1–5 vuotta) toiminnan kehittämiseen; sekä (2) Strategisen toiminnan kehittämiseen, eli pitkän aikavälin (5–15 vuotta) toiminnan kehittämiseen.

Osatavoitteisiin tarvittavan aineiston keruuseen ja analysointiin käytetään kolmea eri menetelmää. Ensimmäisenä menetelmänä on kirjallisuuskatsaus, jossa tarkastellaan märkätilaelementin suorituskykyä tehtyjen kansainvälisten tutkimuksien avulla. Toisena menetelmänä on märkätilaelementin suorituskyvyn vertailu, jonka tarkoitus on vahvistaa tai kumota kirjallisuuskatsauksessa esiin tulleet märkätilaelementin suorituskykyyn vaikuttavat tekijät ja verrata niitä paikalla rakennettavaan märkätilaan. Suorituskykyvertailussa käytetään toteutuneiden kohteiden tietoja lähdeaineistona. Kolmantena menetelmänä käytetään haastattelututkimusta, jonka tarkoitus on asiantuntijoiden kokemuksilla, tarkentaa kirjallisuuskatsausta ja suorituskykyvertailua, jolloin saadaan laajempi ja tarkempi analyysi märkätilaelementin suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä ja siihen liittyvistä muista näkökulmista. Kuviossa 2. on kuvattu tutkimuksen pää- sekä osatavoitteet ja menetelmät.



Kuvio 1. Tutkimuksen pää- ja osatavoitteet

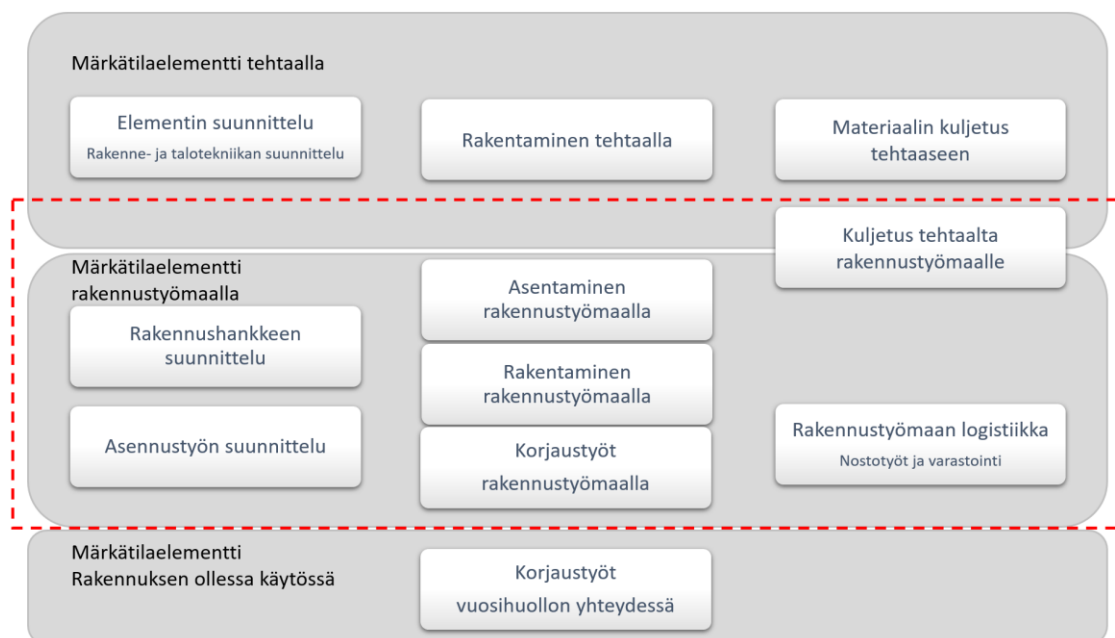
Tutkimuksessa keskittyminen painottuu enemmän suorituskykyvertailuun ja vertailussa primääridatana käytetään valmistuneista hankkeista saatuja tietoja. Suorituskykyvertailussa verrataan märkätilaelementtiratkaisun ja paikalla rakennetun märkätilan suorituskykyjä keskenään. Suorituskykyvertailun tarkoitus on auttaa kuvaamaan (eli mitä ja miten) sekä selittämään (miten ja miksi) märkätilaelementtien käytön vahvuuksia sekä heikkouksia. Vertailussa halutaan tutkia aihetta, esimerkiksi: mitä vahvuuksia tai heikkouksia märkätilaelementillä on, miten märkätilaelementin vahvuuksia voidaan hyödyntää tai parantaa entistä paremmiksi sekä miten heikkouksia voidaan minimoida tai poistaa, jotta heikkoudet eivät laske merkittävästi märkätilaelementtien käytön kannattavuutta.

Haastattelututkimus ei ole tarkoitettu tutkimuksen primääridataksi, eikä tutkimuksen pääpainotus ole haastattelututkimuksen ympärillä. Haastattelututkimuksen tarkoitus on täydentää suorituskykyvertailua tuotannosta saatavalla hiljaisella tiedolla. Eli haastattelututkimuksen tarkoitus on vahvistaa kirjallisuuskatsauksesta tunnistettuja tekijöitä ja löytää kehittämistoimenpiteitä tai toimenpidesuosituksia asiantuntijoiden kokemusperäisen osaamisen avulla. Asiantuntijoiden haastatteluita hyödynnetään myös tarkentamaan tutkimuksessa esiin tulleisiin kysymyksiin tai saatujen tuloksien yleistävyyteen.

2.3 Aiheen rajaus, työn sisältö ja rakenne

Rajattu aihe keskittyy pääasiassa rakennustyömaalla tapahtuvaan toimintaan, kuten elementin asennustyöhön, rakennustyömaan logistiikkaan, eli siirtelyyn ja varastointiin työmaalla ja rakennustyömaalla tehtävään rakentamiseen ja korjaamiseen. Aihe käsittelee myös rakennusliikkeen näkökulmasta vähän hankekehitystä ja hankintaa, mutta vain märkätilaelementin kannalta olennaiselta osalta. Aiheesta rajautuu pois märkätilaelementin tekninen suunnittelu, rakentaminen tehtaalla ja materiaalin kuljetus tehtaalle. Aiheesta rajautuu pois myös rakennuksen käyttöönoton jälkeiset huollot ja korjaukset. Kuviossa 3. on esitetty aiheen rajaus.

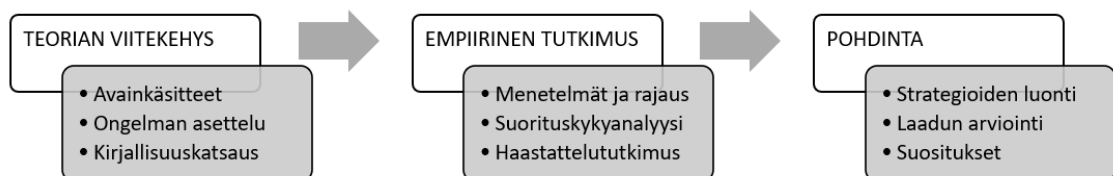
Tutkimuksen sisältämä kehitystyö rajataan työn tilaajan strategisen toiminnan kehittämiseen, eli tuotantostrategiseen näkökulmaan. Tällä tarkoitetaan, että tutkimuksesta rajataan pois märkätilaelementtien tuotekehitys, eli toimittajan tuotteen kehittäminen. Lisäksi rajatuksi tuotekehitykseksi katsotaan nostotyötä parantavien rakenneratkaisujen ja liitosdetaljien kehittäminen. Rakennetekniset ominaisuudet ovat laajoja osakokonaisuuksia, jotka on hyvä käsitellä kokonaan omassa tutkimuksessa, joka keskittyy rakennetekniikkaan.



Kuvio 2. Aiheen rajaus

Tutkimuksen sisältöä ohjaa työn tilaajan asettamat strategiset tavoitteet ja yrityksen arvot. Työn tilaaja on asettanut strategisia tavoitteita omalle tuotannolleen, joiden saavuttamiseksi vaaditaan jokaiselta tiimiltä todella hyvää suorituskkyä. Yksi tällainen strategia on tuottavuuden kehittäminen, joka pitää sisällään esimerkiksi rakennusajan nopeuttamisen, resurssi- ja kustannustehokkaan toiminnan. Tästä syystä tuottavuuden kehitys on yksi tärkeistä näkökulmista tässä tutkimuksessa. Muita tärkeitä näkökulmia ovat työn tilaajan sitoutuminen maailmanlaajuiseen tavoitteeseen hiilineutraalisuudesta vuoteen 2045 mennessä ("Hiilineutraaliustavoite" 2021), joka näkyy tässä tutkimuksessa ympäristövaikutuksien tarkastelun tärkeydessä. Lisäksi työssä otetaan huomioon työn tilaajan arvot, joista yksi on "välitämme ihmisistä ja ympäristöstä", joka ohjaa työn tarkasteluja työturvallisuuden ja ympäristöystävällisyyden parantamiseen ("Skanskan arvot" 2019).

Tutkimuksen rakenne on kolmiosainen. Ensin luodaan teorian viitekehys, eli avainkäsitteet, ongelman asettelu ja kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsauksessa tunnistetaan suorituskkyyn vaikuttavat tekijät ja lokeroidaan SWOT-analyysin avulla. Empiirisessä tutkimusosuudessa kirjallisuuskatsauksessa tunnistetut tekijät pyritään joko todentamaan tai kumoamaan toteutuneiden hankkeiden tiedoilla. Tekijät, jotka eivät ole todennettavissa suorituskkyvertailussa todennetaan haastattelututkimuksessa, jolloin haastattelututkimus tarkentaa ja laajentaa suorituskkyvertailun analyysiä. Viimeisessä pohdintaosuuksessa luodaan TOWS-analyysin avulla toimintastrategioita, joilla esimerkiksi vahvuuksien avulla hyödynnetään mahdollisuuksia kilpailuedun saavuttamiseksi. Tutkimuksen rakenne on kuvattu kuviossa 3.



Kuvio 3. Tutkimuksen rakenne

3. KIRJALLISUUSKATSAUS

3.1 Modulaarinen esivalmistus

Rakentamisen kasvavan kysynnän, suurien kustannuspaineiden ja akuuttien ympäristö-ongelmien aiheuttamat suuret haasteet ovat herättäneet paljon huomiota globaalisti rakennusalalla, ei vain EU:n alueella (Lu ym. 2018). Rakennusteollisuudessa on totuttu rakentamaan perinteisellä tavalla, eli paikalla rakennustekniikalla. Perinteisellä paikalla rakennustekniikalle on ominaista sen kiinteä sijaintiset työpisteet, monet eri työryhmät (useasti myös useat eri aliurakoitsijat) sekä suuri jätteen ja hukan määrä (Lu ym. 2018). Säälle alttiissa paikalla rakennustekniikassa valmistetaan ensin rakennuksen seinät ja katto (Martinez ym. 2008; Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013 mukaan), jonka jälkeen sisätyövaiheet toteutetaan järjestyksessä toinen toisensa jälkeen. Rakennusosien tehdasoloissa toteutettu esivalmistus on pitkään rakennusalalla ollut innovatiivinen rakennustapa, jolla tämä totuttu perinteinen tapa pystytään tekemään toisin (Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013). Tehtaalla voidaan aloittaa sisävaiheen työvaiheita ennen kuin rakennuksen perustukset ovat edes tehty, jolloin pystytään työmaalla rakennusvaihetta tiivistämään sekä vähentämään työmaalla aiheutuvaa melua, saasteita ja jätettä.

Esivalmistetut tuotteet vaihtelevat niissä yhdistettävien komponenttien ja elementtien toiminnallisuuksien mukaan. Yksinkertaisimmat esivalmistettu komponentit ovat esimerkiksi tiilet tai rakennuslevyt, mutta niihin ei liity erikseen toiminnallisuutta. Esimerkiksi tiilet muodostavat yhdessä kokonaisuuden, jolla on toiminnallisuus, kuten tilan jakaminen. Modulaarisesti esivalmistetulla elementillä tarkoitetaan elementtejä, joihin liittyy jokin toiminnallisuus (Kotilainen 2013). Esimerkiksi modulaarisesti esivalmistettuja elementtejä ovat seinä- tai laattaelementit, joilla on selkeä toiminnallisuus, toisin kuin yksittäisellä tiilellä.

Yleisellä tasolla modulaariseen rakentamiseen kuuluu standardoitujen komponenttien tuottaminen ja yhdistäminen tehtaassa, minkä jälkeen valmiit elementit tuodaan työmaalle ja asennetaan paikan päällä. Modulaarisesta esivalmistetusta rakentamisesta käytetään vaihtelevasti erilaisia termejä, kuten esivalmistus, ulkopuolinen tai teh-

dasoloissa rakentaminen, ja nämä termit kattavat erilaisia tehtaassa esivalmistettuja valmisosaelementtejä. (Bertram ym. 2019; Lawson, Ogden, ja Bergin 2012, Xu, Zayed, ja Niu 2020 mukaan)

Tässä tutkimuksessa esivalmistetut elementit luokitella seuraaviin neljään tasoon elementtien toiminnallisuuden ja siihen toteutetun esivalmistusasteen perusteella, joita käytetään myös useammassa muussa tutkimuksessa (esim. Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013; Kotilainen 2013; Hong ym. 2018).

- (1) Komponenttien valmistus ja esikokoonpano. Nämä komponentit tehdään aina tehtaalla eikä niitä oteta huomioon paikan päällä tapahtuvassa tuotannossa (esim. tiilet.)
- (2) Ei-volumetrisessä esikokoonpanon tasossa viitataan valmiiksi koottuihin elementteihin, jotka eivät sisällä käyttökelpoista tilaa, mutta niihin liittyy jokin selkeä toiminnallisuus (kuten seinä- ja laattaelementit);
- (3) Volumetrinen esiasennus, joka viittaa valmiiksi koottuihin tilamoduuleihin, jotka pitävät sisällään käyttökelpoista tilaa, mutta eivät kuulu varsinaiseen rakennuksen runkorakenteeseen. Kolmanteen tasoon kuuluvat muun muassa valmiit märkätila- ja keittiötilaelementit.
- (4) Kokonaiset rakennukset. Tähän tasoon kuuluu valmiiksi kootut tilamoduulit, jotka yhdessä muodostavat rakennuksen rungon, kuten BoKlokin puukerrostalo kohteet.

Bertram ym. (2019) jakavat esivalmistetut elementit myös niiden esivalmistusteknisyyden mukaan, esimerkiksi onko elementti valmiiksi varusteltu ja viimeistelty vai pelkistetty ja viimeistely tapahtuu vasta kohteessa (kuvio 4.)

Monimutkaisuuden ja teknisten ominaisuuksien kasvattaminen	Kokonaan viimeistelty esivalmistete	Viimeistelty komponentti	Viimeistelty elementti (esim. ikkunat ja ovet valmiiksi asennettuina)	Viimeistelty tilaelementti (Kokonaan varusteltu)	Kokonainen viimeistelty rakennus
	Rajallinen teknisyyt	Teknisempi komponentti (esim. ikkunat ja ovet)	Teknisempi elementti (esim. sandwich-elementti)	Teknisempi tilaelementti (Teknisempi varustelu)	Kokonainen varusteltu rakennus
	Yksinkertaiset esivalmisteteet	Pelkistetty komponentti (valmiiksi katkottu materiaali)	Pelkistetty seinäelementti (ei tekniikkaa tai läpivientejä)	Pelkistetty tilaelementti (Pelkistetty varustelu)	Koko rakennus tilaelementeistä kasattuna
		(Taso 1) Yksittäiset esivalmistetut komponentit	(Taso 2) 2D-paneeliratkaisu (ei-volumetrinen)	(Taso 3) 3D-moduuliratkaisu (volumetrinen)	(Taso 4) Modulaariset ratkaisut (kokonaiset rakennukset)

Esivalmistusasteen kasvattaminen

Kuvio 4. Esivalmistusasteet (Bertram ym. 2019, muokattu)

Rakennustyömaalla yleisimpiä elementtejä ovat kaksiulotteiset (2D) paneelit. Paneelilla tarkoitetaan seinä- tai laattaelementtiä. 2D paneelit kuuluvat esivalmistustasoon 2, eli eivät sisällä käytettävää tilaa, mutta niillä on selkeä toiminnallisuus. 2D-paneeliratkaisussa, eli ei-volumetrisessä lähestymistavassa, paneelit yleensä sisältävät tarvittavat varaukset tekniikalle, kuten ilmanvaihdolle ja vesiputkistoihin, jotka voidaan yhdistää standardiliittimien kanssa. 2D kokoonpanon työ työmaalla on paljon yksinkertaisempaa kuin perinteinen paikalla valmistustapa, mutta se on monimutkaisempaa kuin 3D-moduulien asentaminen ja vaatii enemmän viimeistelytyötä. Paneelielementtien kuljettaminen on myös paljon tehokkaampaa ja helpompaa kuin isompien 3D-moduulien. 2D elementtien kuljetustapa mahdollistaa materiaalien kuljettamisen huomattavasti suurempaan lattia-pinta-alaan kerralla kuin 3D. 2D-elementtiratkaisut mahdollistavat myös suuremman rakennusvaiheisen joustavuuden kuin 3D-moduulit. (Bertram ym. 2019.)

2D paneelien lisäksi rakennustuotannossa on käytössä myös kolmiulotteiset (3D) tila-moduulit. Moduuli -termiä käytetään tilaelementistä, kuten märkätilaelementistä, jossa on tädet varustelut. 3D moduuli kuuluu tasoon 3, koska ne sisältävät käyttökelpoista tilaa, mutta eivät kuulu rakennuksen runkorakenteisiin. 3D, eli volumetrinen lähestymis-

tapa tarjoaa potentiaalin maksimituottavuudelle ja ajansäästöille, mutta sisältää kompromisseja, kuten lisääntyvät kuljetuskustannukset, kokorajoitukset ja rajoitetun rakennusvaiheisen joustavuuden. (Bertram ym. 2019.) Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen (2020) mukaan, erikoiskuljetuslupaa ei tarvita, kun kuorma-auton ja puoliperävauunun pituus on enintään 40,00 m sekä leveys 4,00 m. Lisäksi on säädetty, että tiellä yleisesti sallittu korkeus on 4,40 m. Jos tilaelementit ylittävät nämä mitat, erikoiskuljetusluvan saa haettua, jolloin saa kuljettaa mitoiltaan suurempia kuormia, mutta luvanvaraiset kuljetukset vaativat lisätoimenpiteitä.

Logistinen rajoitus joko lisää suurempien yksiköiden kuljetuskustannuksia tai rajoittaa käytettävien moduulien kokoa, mikä tekee 3D-tilamoduuleista sopivimman hankkeisiin, joissa käytetään pieniä tiloja, kuten hotelleissa tai pienissä asunnoissa (Bertram ym. 2019). Samassa artikkelissa Bertram ym. (2019) toteaa, että 3D tilamoduulit tuovat myös etuja huoneisiin, joissa on monimutkaisempi ja teknisempi viimeistely, kuten märkätilat ja keittiöt. Bertram ym. (2019) jatkaa, että 3D-volumetrinen lähestymistapa soveltuu parhaiten hankkeisiin, joissa on korkea toistettavuus. Bertram ym. (2019) täsmentää, että toistettavuus ei tarkoita sitä, että kaikkien tilaelementtien on näytettävä samalta. Sen sijaan erilaisia standardoituja moduuleja voidaan koota eri tavalla yhteen räätälöidyn lopputuloksen tuottamiseksi.

Molemmilla sekä 2D että 3D elementillä on omat etunsa sekä haasteensa, ja ne soveltuvat niiden ominaisuuksien takia erilaisiin kohteisiin ja paikkoihin (Bertram ym. 2019). Hankkeessa voidaan haluttaessa käyttää 3D moduulien ja 2D paneelien yhdistelmää, jolloin hankkeessa pystytään hyödyntämään molempien elementtien edut. Tätä yhdistelyä kutsutaan hybridimalliksi. (Bertram ym. 2019; Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013.) Hybridimallissa pystytään hyödyntämään myös perinteistä paikallarakentamistapaa. Tyypillisesti se tapahtuu siten, että kohteessa on käytössä märkätilaelementit (3D), ulko- ja väliseinäelementit (2D) sekä paikalla valettava kellarikerros tai välipohjaholvi (perinteinen). Yhdistelemällä näitä rakentamistapoja, pystytään optimoimaan rakennuksen eri alueiden prosessit, mikä mahdollistaa hankkeille korkean tuottavuuden parannuksen sekä maksimaalisen joustavuuden. Yhdistelmäratkaisujen käyttäminen kuitenkin muuttaa rakentamisprosessia monimutkaisemmaksi. (Bertram ym. 2019.)

Suomessa rakennushankkeissa on yleiseksi tavaksi muodostunut, että käytetään kantavissa väliseinissä ja ulkoseinissä 2D elementtejä sekä ei-kantavissa rakenteissa, kuten

levyväliseinissä väliseinissä, tehdään paikalla rakentaen. Nykypäivänä osassa rakennushankkeista valmistetaan edelleen kantavia betonisia väliseiniä sekä välipohjarakenteita perinteisellä paikallarakennustyyllillä. Tämä pääasiassa johtuu paikallarakentamisen kustannustehokkuudesta sekä sen tuomasta joustavuudesta.

3.2 Modulaarisen esivalmistuksen suorituskykyominaisuudet

Modulaarista rakentamista pidetään rakennusteollisuuden tulevaisuutena. Modulaarinen rakentaminen on vähitellen otettu käyttöön yhtenä merkittävistä keinoista parantaa rakennusalan tuottavuutta ja kestäväää rakentamista (Xu, Zayed, ja Niu 2020). Samassa tutkimuksessa Xu, Zayed, ja Niu (2020) epäilevät, että modulaarisen rakentamisen alhaiseen markkinaosuuteen maailmalla vaikuttaa modulaarisen rakentamisen ymmärtämättömyys. Tästä syystä useat akateemiset ja teolliset tutkimukset ovat dokumentoineet esivalmistukseen liittyviä etuja verrattuna perinteiseen rakentamiseen (Chauhan ym. 2019).

Monissa tutkimuksissa pyritään arvioimaan modulaarisesti esivalmistettujen elementtien suorituskykyä kvantitatiivisesti, esimerkiksi suoria kustannuksia sekä aikatauluvaikutuksia ja niitä verrataan perinteiseen paikallavalmistettuun tapaan (Xu, Zayed, ja Niu 2020). Tästä aiheutuu se, että näiden tutkimusten tulokset osoittavat pelkästään viivan alle jäävää osuutta, eikä ota huomioon laadullisia tutkimustuloksia, joita voivat olla esimerkiksi vähentyneet tapaturmat ja ammattisairaudet tai ympäristösaasteet. Pelkästään jo tämän työn tilaajan tavoitteet ja arvot ovat riittäviä syitä lähteä tutkimaan myös näitä ominaisuuksia. On myös hyvä huomioida, että isoille rakennusyrityksille kerääntyy vuoden mittaan kattava määrä kustannuksia sairauspoissaolojen takia (on sitten syynä työtapa- turma tai ammattisairaus) ja nämä kustannukset eivät näy työvaiheen suorissa kustannuksissa.

Useassa tutkimuksessa on havaittu (esim. Lu ym. 2018; Xu, Zayed, ja Niu 2020; Jaillon ja Poon 2014; Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013.), että esivalmistuksella on lukuisia etuja verrattuna perinteiseen paikallarakentamiseen: modulaarisesti valmistettu elementtirakenne lyhentää tuotantoaika, vähentää tarvittavia työresursseja, parantaa työoloja, vähentävän paikan päällä olevia riskejä, minimoi seuraaviin ja edeltäviin työvaiheisiin kohdistuvat häiriöt, parantaa prosessien hallintaa (koska aliurakoita ja rajapintoja hallittavana ja koordinoitavana työmaalla vähemmän), parantaa rakentamisen laatua ja lisää

työmaan tuottavuutta verrattuna perinteiseen rakennustekniikkaan. Lisäksi Lu ym. (2018) toteaa tutkimuksessa, että esivalmistusta pidetään myös ”puhtaampana” tuotantostrategiana ja kestäväenä rakentamisena.

Modulaarisen esivalmistuksen edut on dokumentoitu useissa akateemisissa ja teollisissa tutkimusasiakirjoissa ja seuraavia etuja on erityisesti näissä korostettu:

- Parantaa tuottavuutta ja nopeuttaa rakennusaikaa (Jiang ym. 2018; Xu, Zayed, ja Niu 2020; Bertram ym. 2019; Lu ja Yuan 2013; Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013; Chauhan ym. 2019; Lu ym. 2018; Hong ym. 2018);
- Parantaa resurssitehokkuutta (materiaali- ja työvoimaresursseja), laadun ja turvallisuudenvalvontaa sekä vähentää materiaalityöitä ja varastointitarpeita (Chauhan ym. 2019; Hong ym. 2018; Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013);
- Vähemmän ympäristövaikutuksia: vähemmän materiaalityöitä, ilman saastuttamista, pölyä ja melua sekä kokonaisenergiakustannuksia (Lu ja Yuan 2013; Jailon ja Poon 2014; Lu ym. 2018; Xu, Zayed, ja Niu 2020; Chauhan ym. 2019; Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013; Kamali, Hewage, ja Sadiq 2019);
- Lisää työntekijöiden turvallisuutta ja työergonomiaa, vähentämällä altistumista huonolle säälle, äärimmäisille lämpötiloille ja jatkuville tai vaarallisille toiminnoille (Xu, Zayed, ja Niu 2020; Bertram ym. 2019; Lu ym. 2018; Chauhan ym. 2019; Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013; Jiang ym. 2018);
- Vähemmän ristiriitoja työryhmien aikataulussa ja vähemmän häiriöitä aiheuttavia työvaiheita. Työturvallisuus, työvaiheiden hallittavuus sekä laadunvalvonta parantuu (Lu ym. 2018; Chauhan ym. 2019).

Hong ym. (2018) toteuttamassa tapaustutkimuksessa huomattiin, että esivalmistuksen tuomat edut paransivat merkittävästi koko rakennusteollisuuden suorituskykyä niin kehittyneissä maissa, kuten Yhdysvalloissa, Isossa-Britanniassa ja Japanissa sekä kehitysmaissa, kuten Singaporessa ja Manner-Kiinassa.

Monissa Kiinassa tehdyissä tutkimuksissa pidettiin poliittista tukea, kuten kannustimia joko mahdollisuutena tai niiden puuttumista heikkoutena (Xu, Zayed, ja Niu 2020; Hong ym. 2018; Jiang ym. 2018). Kiinassa asunto tarve on huomattavasti suurempaa, jolloin

rakentamisen volyyymiä halutaan kasvattaa. On arvioitu, että seuraavan 36 vuoden aikana Kiinassa on tarjottava vähintään 6 miljoonaa uutta asuntoa (Jiang ym. 2018). Suomessa asunto tarve ei ole vastaavaa Kiinan kanssa, mutta kannustinjärjestelmä ei ole täysin mahdoton ajatus Suomessa. Modulaarinen esivalmistus voisi tulevaisuudessa saada kannustinjärjestelmän esimerkiksi EU:n kasvihuonekaasujen vähentämisen tukipaketeista, jotta rakennusallalla saavutetaan kasvihuonekaasujen päästötavoitteet. Jiang ym. (2018) tunnistivat mahdollisuutena myös tuottavuuden ja kestävän rakentamisen kehittyminen modulaarisen esivalmistuksen käytöllä, joka myös olennaisesti liittyy Kiinan kasvavaan asuntotuotantoon.

Jiang ym. (2018) tekemässä tutkimuksessa pidettiin mahdollisuutena resurssien tarpeiden vähentyminen rakennustyömaalla. Ennen Kiinassa luotiin hyvää katetta alhaisten työvoimakustannuksien takia, mutta kasvava työntekijöiden kysyntä ei vastaa markkinoilla olevien tekijöiden määrää, jolloin työvoimakustannukset kasvavat ja vähentävät halvan työvoiman tuottamaa katetta (Jiang ja muut, 2018). Myös Suomessa työvoima on kallista ja siihen haetaan vastauksia lähetetyistä työntekijöistä, joka ei välttämättä ole paras ratkaisu. Esimerkiksi lähetettyjen työntekijöiden kielimuuri vaikuttaa vahvasti viestintään, joka taas vaikuttaa negatiivisesti hankkeen suorituskykyyn. Alla olevaan taulukoon 2. on koottu edellä mainittuja positiiviset tekijöitä, joita voidaan saavuttaa modulaarisen esivalmistuksen käytöllä.

Taulukko 2. Modulaarisen rakentamisen tuomat edut

Edut	Lähteet
Parantaa tuottavuutta ja nopeuttaa rakennusaikaa	Jiang ym. (2018), Hong ym. (2018), Chauhan ym. 2019, Boyd ym. (2013), Xu et. al. (2020), Bertram ym. (2019), Lu et. al. (2018),
Parantaa laatua ja vähentää laatuksustannuksia	Jiang ym. (2018), Bertram ym. (2019), Lu ym. (2018), Chauhan ym. 2019, Boyd ym. (2013),
Parantaa resurssitehokkuutta (vähentää tarvittavan työvoiman määrä), laadun ja turvallisuudenvalvontaa sekä vähentää materiaalityöitä ja varastointitarpeita	Chauhan ym. 2019, Hong ym. (2018), Boyd ym. (2013), Jiang ym. (2018)
Vähemmän ympäristövaikutuksia: vähemmän materiaalityöitä, ilman saastuttamista, pölyä ja melua sekä kokonaisenergiakustannuksia	Jaillon and Poon (2014), Lu ym. (2018), Hong ym. (2018), Chauhan ym. 2019, Boyd ym. (2013), Xu et. al. (2020) Kamali ym. (2019),
Lisää työntekijöiden turvallisuutta ja työergonomiia	Xu et. al. (2020), Bertram et. al. (2019), Lu et. al. (2018), Chauhan ym. 2019, Boyd ym. (2013), Jiang ym. (2018),
Vähentää ristiriitoja työryhmien aikataulussa ja häiriöitä aiheuttavia työvaiheita	Lu et. al. (2018), Chauhan ym. 2019

Modulaarisen esivalmistuksen tuomista eduista huolimatta, modulaarisen rakentamisen toteuttamisessa on paljon myös haasteita suunnittelussa, logistiikassa ja rakentamisprosessissa niin tehtaalla kuin työmaallakin. (Ho ja muut (2019) sekä Abdul Rahim ja

Qureshi (2019) Xu, Zayed, ja Niu 2020 mukaan), tutkivat modulaarisen rakennustekniikan käyttämisen ongelmia, jotka voidaan luokitella esimerkiksi seuraaviin seitsemään näkökulmaan:

- (1) kokemuksen puute suunnittelussa ja asennuksessa,
- (2) laaja koordinointi ja organisaatio suunnittelusta rakentamiseen (esimerkiksi monimutkaiset hankinta-, suunnittelu- ja toteutuskysymykset),
- (3) ylimääräiset kuljetukseen ja logistiikkaan liittyvät näkökohdat (esimerkiksi erikoiskuljetukset),
- (4) korkeammat rakennuskustannukset,
- (5) monimutkaiset tarkastukset ja määräykset (pääosin rakenteelliset tilaelementit),
- (6) Paljon suunnittelutyötä ja vähäinen muutosmahdollisuus sekä
- (7) modulaarisen rakentamisen eduista ei ole ymmärrystä kehittäjien keskuudessa.

Samoja esivalmistuksen käyttämiseen liittyviä esteitä kohtasivat Mao ym. (2015) kyselytutkimuksessaan. Kyselytutkimuksessa suurimpana esteenä rakennusyriyksissä koettiin korkeammat yksikkökustannuksen ilman mittakaavaetua. Muita esteitä, joita Mao ym. (2015) tunnistivat tutkimuksessaan olivat kokemuksen puute, toimittajien pieni määrä, suunnittelujärjestelmien muuttaminen ja kehitystoiminnan haluttomuus kehittää prosesseja. Esivalmistettujen moduulien käytöstä aiheutuu myös muita johtamiseen liittyviä kysymyksiä, kuten kehittämiskustannukset, uusi hankinta- ja liiketoimintamalli, sidosryhmien välinen koordinointi, raskaat kuorma-autokuljetukset ja tilaelementtien immateriaalioikeudet.

Xu, Zayed, ja Niu (2020) huomauttavat tutkimuksessaan, että esivalmistettujen elementtien kokoonpano ja sen hallinta on kuitenkin vielä tehotonta, koska työmaalla olosuhteet ovat rajalliset, hankkeen sidosryhmien välinen viestintä on heikkoa ja esivalmistetuissa elementeissä on teknisiä ongelmia. Näihin teknisiin ongelmiin sisältyvät Xu, Zayed, ja Niu (2020) mukaan muun muassa veden vuotaminen ikkunoista ja kylpyhuoneista, virheellisestä liitännästä, esivalmisteisesti valmistettujen varusteiden väliset epätarkkuudet komponenteissa ja yhteensopimattomuus suunnittelun ja varsinaisten valmistettujen

komponenttien välillä. Lisäksi tutkimuksista selviää, että esivalmistus lisää projektikustannuksia korkeasti koulutettujen ja erikoistuneiden työresurssitarpeiden takia (Chauhan, K ja muut 2019; Hong ja muut 2018).

Laajan koordinoinnin ja viestinnän sekä teknisten ongelmien takia, modulaarinen rakentaminen edellyttää keskeisien sidosryhmien osallistumaan hankkeeseen alusta alkaen ja tekemään tiivistä yhteistyötä erityisesti suunnittelu- ja rakennusvaiheissa (Jiang ym. 2018) Tällä tavoin voidaan minimoida suunnittelun ja rakennusvaiheen yhteensopimattomuudet, jotka vaikuttavat teknisiin ongelmiin ja lisäkustannuksiin. Ajatus tiivistä yhteistyöstä tukee mahdollisuutta yhteistyökumppanuudesta elementtien toimittajan kanssa. Rakennusalan yleinen hajanainen luonne näkyy koordinaation ja yhteistyön puutteena (Mao ym. 2015), joilla on suoria vaikutuksia laatuun ja suunnittelemattomiin kustannuksiin.

Jiang ym. (2018) viittaavat saman kaltaiseen järjestelmään, kuin BES-järjestelmä Suomessa, käytäntöjen ja standardien puutteella sekä immateriaalioikeuksilla tutkimuksessaan. Suomessa tehtiin ennätysmääräinen asuntotuotanto 1970-luvulla, kun avoin BES-järjestelmä (betonielementtistandardi) otettiin käyttöön. Suomessa BES-järjestelmässä standardoitiin betonielementit ja niiden liitosdetaljit siten, että urakoitsijat voivat hankkia valmisosia samaan rakennukseen useilta toimittajilta. (Elementtisuunnittelu 2020). Modulaarisesta esivalmistuksesta ei ole samanlaista yleistä järjestelmää, joka voi mahdollisesti hankaloittaa modulaarisen esivalmistuksen käyttöä rakennushankkeissa.

Tutkimuksissa nostettiin yhdeksi negatiiviseksi tekijäksi myös markkinoiden hyväksynnän puutteen. Hyväksynnän puutteella tarkoitetaan, etteivät sidosryhmät yleisesti koe modulaarista esivalmistusta laadukkaaksi rakentamiseksi. Tämä ajatusmaailma on juurtunut sidosryhmien mielipiteisiin vuosikymmeniä sitten tehtyjen rakennenvirheiden takia. Nykyisin on jopa laboratoriokokeilla todistettu modulaarisesti esivalmistettujen elementtien rakenteellisesta toimivuudesta, mutta se ei ole vielä riittävä muuttamaan yleistä käsitystä modulaarisesta esivalmistuksesta. (Jiang ym. 2018.) Taulukkoon 3. on tiivistetty edellä mainitut negatiiviset tekijät, jotka vaikuttavat modulaarisien elementtien käyttöön.

Taulukko 3. Modulaarisen rakentamisen heikkoudet ja uhat

Heikkoudet ja uhat	Lähteet
Kokemuksen puute suunnittelu- ja asennustyössä	Xu ym. (2020), Mao ym. (2015), Jiang ym. (2018)
Enemmän suunnittelutyötä	Xu ym. (2020), Bertram ym. (2019), Mao ym. (2015)
Korkeammat rakennuskustannukset, ilman mittakaava etua	Xu ym. (2020), Bertram ym. (2019), Hong ym. (2018), Mao ym. (2015), Boyd ym. (2013), Jiang ym. (2018)
Vähäiset muutosmahdollisuudet	Mao ym. (2015)
Hankinta- ja suunnittelujärjestelmien muuttaminen	Xu ym. (2020), Bertram ym. (2019), Mao ym. (2015)
Laaja koordinointi ja organisaatio suunnittelusta rakentamiseen	Ho ja muut (2019) sekä Abdul Rahim ja Qureshi (2019) Xu, Zayed, ja Niu (2020) mukaan
Lisääntyneet kuljetukseen ja logistiikkaan liittyvät näkökohdat	Xu ym. (2020), Bertram ym. (2019), Hong ym. (2016), Boyd ym. (2013)
Modulaarisen rakentamisen eduista ei ole ymmärrystä	Xu ym. (2020), Mao ym. (2015), Jiang ym. (2018)
Rajalliset olosuhteet ja tekniset ongelmat	Blismas ym. (2005), Pan ym. (2007) ja Jallion (2009) Mao ym. (2015) mukaan
Sidosryhmien haluttomuus käyttää modulaarisia esivalmisteita	Jiang ym. (2018), Boyd ym. (2013), Mao ym. (2015)
Toimittajien pieni määrä	Kamar et ai. (2009) ja Blismas ym. (2005) Mao ym. (2015) mukaan
Standardien ja käytäntöjen puute sekä Imateriaalioikeudet	Jiang ym. (2018), Mao ym. (2015)
Haluttomuus kehittää modulaarisen esivalmistuksen prosesseja ja kehittämisen kustannukset	Jiang ym. (2018), Mao ym. (2015)

Modulaarisen esivalmistuksen vaikutuksesta rakennusteollisuuteen on paljon keskusteltu aihe ja sen käytön todellisesta kannattavuudesta on paljon erimielisyyksiä (Chauhan ym. 2019; Hong ym. 2018). Esimerkiksi esivalmistuksen vaikutuksista rakennushankkeen kustannuksiin alentamalla projektikustannuksia nopealla rakennusajalla, vähäisellä työresurssien tarpeella ja jätemäärällä sekä rakennustyömaan esteiden ja häiriöiden välttämällä. Toisaalta tiedetään myös esivalmistuksen lisäävän projektikustannuksia koulutettujen ja erikoistuneiden työresurssi tarpeiden takia sekä esivalmistettujen elementtien korkeiden kustannusten ja niihin liittyvien ylimääräisten kuljetuskustannusten takia.

Modulaaristen esivalmistettujen elementtien ja periteisen paikalla rakentamisen välisen päätöksen tekeminen on monimutkaista ja haastavaa. Päätöksenteossa on otettava huomioon tekijöitä, joilla on selkeitä suoria vaikutuksia, sekä ei niin selkeitä, epäsuoria vaikutuksia hankkeen suorituskykyyn. Chauhan ym. (2019) mielestä yksi merkittävimmistä syistä tilaajan ja urakoitsijan haluttomuuteen ottaa modulaarinen esivalmistus käyttöön, on se että, heillä ei ole selkeää varmuutta tai osaamista selvittää modulaarisen rakentamistavan todellinen arvo. Lisäksi Boyd, Khalfan, ja Maqsood (2013) nostavat kirjoituksessaan, että toinen suurimmista modulaarisen esivalmistuksen käyttöä estävistä tekijöistä on se, että teollisuuteen vaikuttaa edelleen perinteinen tarjouskilpailutus, jossa arvioidaan tarjouksia ja päätöksiä tehdään ensisijaisesti kustannusten ja ajan perusteella.

Modulaarinen esivalmistus on vielä suhteellisen tuntematon, ja siksi monet esivalmistuksen ympärillä tehdyistä päätöksistä perustuvat suurelta osin yleiseen mielipiteeseen tai yksittäistapauksiin eikä todellisiin tutkimustuloksiin (Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013). Modulaarisen rakentamisen käyttöönotto ja pilottihankkeet vaativat oman erityisen panostuksensa kaikilta projektiin osallistuvilta osapuolilta. Ajatuksena, että monia vuosia hiottu tekniikka, kuten paikalla rakentaminen, olisi selkeästi huonompi kuin uusi käytönotettava rakennustapa, jota ei olla vielä työmaaorganisaatiossa opittu, eikä prosesseja paranneltu hyväksi, on melko epätodennäköistä.

3.3 Märkätilaelementin vaikutus rakennushankkeeseen

Yksi tapa tarkastella märkätilaelementin vaikutuksia rakennushankkeeseen on viisi operatiivisen tason suorituskykytavoitetta: laatu, nopeus, luotettavuus, joustavuus ja kustannukset, jotka ottavat huomioon niin tuotantoon kuin toimittajasuhteeseen liittyvät ominaisuudet. Näihin viiteen operatiiviseen tavoitteeseen ei kuitenkaan lukeudu turvallisuus tai ympäristövastuullisuus, jotka ovat tämän tutkimuksen kannalta myös tärkeitä näkökulmia. Sen takia näiden 5 suorituskykytavoitteen lisäksi tarkastellaan yhteiskuntavastuullisuus näkökulmaa, joka pitää sisällään taloudelliset vaikutukset, sosiaaliset vaikutukset ja ympäristövaikutukset.

Tuotteen ja palvelun laadulla tarkoitetaan, että tuote ja/tai palvelu on tarkoitukseen sopeva ja se täyttää asiakkaan tarpeet (Slack ja Lewis 2020) Slack ja Lewis jakaa tuotteen ja/tai palvelun laadun ”kovaksi” ja ”pehmeäksi” laaduksi. Kovaksi laaduksi määritellään tuotteen tai palvelun ominaisuudet, suoriutuminen, luotettavuus, estetiikka ja turvallisuus. Kun taas pehmeäksi laaduksi määritellään tuotteen tai palvelun avuliaisuus, tarkkaavaisuus, viestintä, ystävällisyys ja kohteliaisuus. Tutkimuksissa ja tieteellisissä artikkeleissa käsitellään enimmäkseen kovaa laatua, koska se on helpommin havaittavissa ja mitattavissa.

Esimerkiksi Boyd, Khalfan, ja Maqsood (2013) huomasivat, että modulaarisessa esivalmistuksessa tehdaspohjaisella laadunvalvonnalla saavutetaan erinomaista laatua ja tunnistivat laadun parantuneen modulaarisessa esivalmistuksessa vähentyneiden rekla-

maatioiden avulla. Myös Bertram ym. (2019) arvioivat, että laadunvalvonta on paljon helpompaa ja parempaa tehdasympäristössä kuin rakennustyömaalla, jolla on heidän mukaansa iso vaikutus korjaustöihin. Korjaustöiden vähentyessä, pystytään parantamaan rakentamisen aikatauluja merkittävästi, mahdollisesti jopa useita kuukausia.

Laadun valvonta parantaa laatua, joka vähentää huonon laadun aiheuttavia kustannuksia, jotka ovat jopa 10 kertaiset rakennusajan kustannuksiin (Kankainen ja Junnonen 2001), mutta myös hyvän laadun tavoittelemisen lisää kustannuksia. Näitä huonon laadun aiheuttamia kustannuksia (mm. rakennusaikaiset korjauskustannukset ja takuukorjaukset) ja panostukset tavoitellun laatutason aikaansaamiseksi kutsutaan laatukustannuksiksi (mm. tarkastuskustannukset ja ehkäisevän toiminnan kustannukset) ja näiden välille tulee löytää optimaalinen taso (Kankainen ja Junnonen 2001). Modulaarisesti esivalmistetussa märkätilassa pystytään hyödyntämään riskin siirtostrategiaa, jossa siirretään potentiaaliset laaturiskit muille sopimusosapuolille, eli tässä tapauksessa tilaelementin toimittajalle sopimusasiakirjoilla. Riskien siirto toiselle sopimusosapuolelle yleensä vähentää myös työvaiheesta saatavaa katetta, koska sopimuksen toinen osapuoli laskee riskivaraukset itselleen (Yoon, Tamer, ja Hastak 2015), joka näkyy myös esivalmisteteiden hinnoissa. Laatukustannuksiin viitaten, märkätilaelementtien parantunut laatu lisää suoria kustannuksia, mutta vähentää laadunvarmistuksen, reklamaatioiden ja korjauksien aiheuttamia kustannuksia. Huonon laadun aiheuttamat kustannukset eivät välttämättä näy heti projektin suorissa kustannuksissa esimerkiksi, jos virheitä joudutaan korjata takuukorjauksina.

Rakentamisprojekteissa nopeutta mitattaessa pääasiassa halutaan mitata tuotannon läpimenoaika eli rakentamisvaiheen kestoa. On kuitenkin hyvä huomioida, että nopeutta voidaan mitata myös koko prosessista, eli tarveselvityksestä luovuttamiseen. Vaihtoehtoisesti voidaan keskittyä rahaprosessin nopeuteen ja mitata kuinka kauan yrityksen pääoma on kiinni kussakin prosessissa. Tässä tutkimuksessa kuitenkin keskitytään enemmän rakentamisvaiheessa märkätilan valmistusnopeutta sekä suunnitteluvaiheen nopeutta.

Modulaarista esivalmistusta hyödynnettäessä rakennuksen tuotantoajan lyhentyminen vaihtelee modulaarisuuden tason, kokonaisuuden määrän ja monimutkaisuuden mukaan. Etuna tilaelementeissä on se, että tilaelementtien rakentaminen pystytään aloittamaan tehdasoloissa ennen, kuin rakennustyömaalla on edeltävät työvaiheet tehty. Toisin

kuin paikalla rakennettaessa täytyy edelliset työvaiheet olla tehty ja vesikatto vedenpitävä, ennen kuin märkätiloja päästään tekemään. Tilaelementtien asennusnopeudeksi Bertram ym. (2019) arvioivat yhden viiden työntekijän ryhmälle kuusi tilaelementtiä päivässä. Xu, Zayed, ja Niu 2020 tutkimuksessa on 2 esimerkkikohdetta, joissa asennusnopeus oli 4–8 tilaelementtiä päivässä, 7–10 henkilön työryhmällä, joka on huomattavasti nopeampaa kuin perinteinen rakentaminen. Esimerkiksi (Boyd, Khalfan, ja Maqsood 2013) tunnistivat tapaustutkimuksessaan esivalmistuksen nopeuttavan prosessin rakennusaikaa 50 % verrattuna perinteiset paikan päällä rakentamiseen. Hammad ym. (2019 Xu, Zayed, ja Niu 2020 mukaan) osoittivat tutkimuksessaan, että modulaarinen rakentaminen voi vähentää rakentamisen kestoa noin 40 % verrattuna tavanomaiseen rakentamiseen.

Rakennustyömaalla yhden prosessin nopeuttaminen ei välttämättä takaa koko rakennushankkeen nopeutumista, esimerkiksi märkätilojen rakennusajan puoliintuminen ei takaa hankkeessa samansuuruisista hankkeen rakennusajan nopeutumista, koska märkätilojen rinnalla valmistuu myös asuntojen kuivatilat. Kuivatilojen ja märkätilojen samanaikaisessa valmistuksessa on joitain toisiaan tahdistavia tekijöitä, kuten lattiatasoitteiden ja kaatolattioiden valaminen; maalaustyöt ja parkettiasennus sekä vedeneristys ja laatoitustyöt. Nykyisellä tuotantonopeudella märkätilojen valmistuminen kuivatilojen rinnalla perinteisellä paikallarakentamisen tavalla ei tuota suurempia tahdistavia ongelmia, ellei märkätilat jää aikataulusta jälkeen, mutta nykyisen tuotantonopeuden kasvattaminen entisestään voi luoda uusia haasteita tilojen samanaikaisessa valmistuksessa ja tällöin märkätilat voivat olla projektin tahdistava pullonkaula.

Modulaarisen esivalmistuksen haittoina nostettiin suunnittelutyön vaativan suunnittelijoiden erikoistumista sekä itse suunnittelutyön määrän lisääntyminen. Bertram ym. (2019) arvioivat modulaaristen projektien suunnittelun kestäväen perinteisiä projekteja kauemmin, sillä suunnittelijat vasta oppivat mukautumaan modulaarisen esivalmistuksen vaatimaan valmistusprosessiin. Suunnittelutoimistojen moduulien kirjastot mahdollisesti nopeutettuna ja yksinkertaistavat suunnittelua, mikä lyhentäisi suunnittelujaksoa. Märkätilaelementtien suunnittelut toteuttaa märkätilaelementtitoimittaja, jolloin suunnittelijoiden ei tarvitse osata suunnitella kohteessa käytettäviä märkätilaelementtejä, vaan suunnittelijat voisivat hyödyntää valmiita suunniteltuja märkätilaelementtejä arkistoista. Bertram

ym. (2019) mukaan on mahdollista lähes 15 prosentin säästöön suunnitteluajassa käytämällä modulaarisia kirjastoja verrattuna nykyiseen suunnittelu aikaan, koska tiloja ei tarvitse suunnitella aina kokonaan uudestaan.

Slack ja Lewis (2020) jakaa luotettavuuden kahteen suorituskykyominaisuuteen: (1) asiakkaalle annetun toimitusajan kunnioittamiseen ja (2) toimitusnopeuteen. Nämä molemmat voidaan sanoa myös toimituslupauksien pitämisenä. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan niin materiaalien (tuotteiden) kuin töiden (palveluiden) toimitusaikaa. Palveluiden toimitusajan kunnioittamisella tarkoitetaan tilatun työn ajallaan tekemistä ja nopeus puolestaan tilauksen ja työn suorituksen välistä aikaa.

Asiakkaalle annetun toimitusajan kunnioittaminen kattaa tässä tutkimuksessa sen, miten hyvin toimittaja pystyy pitämään sovitusta toimituspäivistä ja jopa kellonajasta kiinni. Toimituksien myöhästyminen tilaelementtien kohdalla on hyvin kriittinen tekijä, samoin kuin muidenkin runkoelementtien. Jos asennustapana on esimerkiksi koloasennus, märkätilaelementit kuuluvat runkokiertoon, jossa on kaikkien elementtien toimitus ajoitettu ns. täsmä toimituksina, eli toimitukset nostetaan suoraan kuljetuksesta paikalleen. Näin ollen märkätilaelementtien myöhästyminen viivästyttäisi myös muidenkin elementtien asennuksia, aiheuttaisi turvallisuus riskejä ja turhia lisäkustannuksia.

Myös toimitusnopeus luo haasteita märkätilaelementtien kohdalla. Modulaaristen esivalmistettujen märkätilaelementtien suunnittelupäätökset, kuten tilaan tulevat varustelut ja materiaalivalinnat ovat tehtävä etulinjassa (Bertram ym. 2019). Toimitusnopeuden määrittelee se, kuinka paljon aikaisemmin suunnitelmat pitää olla lukittu, ennen tilaelementtien toimitusta. Tilaelementtien toimitukseen pystytään luomaan vähän pelivaraa valitsemalla mahdollisimman myöhään asennettava asennustapa, joka tällä hetkellä on kuiluasenteinen märkätilaelementti, koska silloin märkätilaelementtejä ei asenneta runkokierron yhteydessä.

Märkätilaelementtien asennus voidaan toteuttaa, joko runkokierron yhteydessä tai jälkikäteen kuiluasenteisena. Märkätilaelementti voidaan asentaa rakennuksen runkoon ainakin neljällä eri tavalla. Elementti voidaan asentaa esimerkiksi (1) suoraan tehtaalla välipohjan laattalementtiin, (2) välipohjaan tehtyyn syvennykseen koloasenteisena, (3)

välipohjiin tehtyyn kuiluun ja (4) suoraan paikallavalettavaan välipohjaan valun yhteydessä. Välipohjan vaihtoehtoina voidaan käyttää ontelolaattaa, Lujabetonin superlaattaa tai paikallavalettavaa holvia. Kuviossa 5. on koottu nämä edellä mainitut mahdolliset asennus ja runkoyhdistelmät. (firamodules 2021).

		Asennustavat			
		Tehdas	Kolo	Kuilu	Valu
Runkovaihtoehdot	Ontelolaatta		✓	✓	
	Superlaatta	✓		✓	
	Paikallavalu		✓	✓	✓

Kuvio 5. Runkoratkaisut ja asennustavat (firamodules 2021, muokattu)

Joustavuus suorituskykytavoitteena, ottaa huomioon tuotteen tai palvelun muutosmahdollisuuden helppouden, nopeuden sekä kustannukset (Slack ja Lewis 2020). Esimerkiksi tuotekokonaisuus, tässä tapauksessa märkätilan toteutustapa, joka on nopeammin, sujuvammin ja halvemmalla muutettavissa on joustavampi kuin sellainen, jossa voidaan saavuttaa sama muutos, mutta vain suuremmilla kustannuksilla ja/tai organisaation häiriöillä.

Mao ym. (2015) tunnistivat tapaustutkimuksessaan, että tilaelementtien hyväksymiselle esteenä ovat pitkät läpimenoajat päätöksentekovaiheessa. Päätöksiä ei pystytä tekemään kesken projektin, josta aiheutuva pitkä hankesuunnitteluvaihe ennen teknistä suunnitteluvaihetta koettiin olevan väistämätön este, koska asiakkaiden, suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden päätökset viivästyttävät suunnitteluprosessia, joka viivästyttää rakennusprojektin alkamista. Näin ollen, kun modulaaristen projektien suunnittelupäätökset on tehtävä etulinjassa, silloin myös muutokset myöhemmin prosessissa ovat sekä kalliimpia että vaikeampia (Bertram ym. 2019), joka tuo lisäkustannuksia, häiriöitä ja märkätilaelementeistä saatu hyöty voi jopa kokonaan mitätöityä.

Taloudellinen hyöty on keskeinen huolenaihe modulaarisessa esivalmistuksessa eri rakennusprosessiin osallistuvilla sidosryhmillä. Kustannuskysymys on nimittäin yksi tärkeimmistä tekijöistä, jota on korostettu sekä kirjallisuudessa (Blismas ym. 2006 ja Kamar ym. 2009 Xu, Zayed, ja Niu 2020 mukaan; Hong ym. 2018) Suurin haaste esivalmistettujen tilaelementtien käyttöön on sen käytöstä aiheutuvat suorat kustannukset, jotka ovat useimmissa tutkimuksissa suuremmat, kuin perinteisesti rakennetussa. Useat tutkimukset osoittivat, että tehdasvalmisteisten rakennusten yksikkökustannuksiksi arvioitiin 2–17 % korkeammat kuin tavanomaiset rakennukset (esim. Xu, Zayed, ja Niu 2020; Lu ja Yuan 2013; Jaillon ja Poon 2014). Mao ym. (2015) tekivät samanlaisen johtopäätöksen, että elementtien käyttöönotto aiheutti 20 prosenttia korkeammat kuin tavanomaisen rakennusmenetelmän kokonaiskustannukset. Lisäksi Xu, Zayed, ja Niu (2020) mukaan Ho ym. (2019) arvioivat, että modulaarinen rakenne saattaa lisätä kustannuksia 10 prosenttia ja 20 prosenttia betonisten tilaelementtien sekä teräksisten tilaelementtien osalta 15–25 prosenttia. Tällöin teräsrunkoisen ja betonilattiallisen märkätilaelementtien kustannukset olisivat mukaan keskimäärin 20 % korkeammat, kuin perinteisesti paikallavalmistettuna.

Useimpien tutkimuksien mukaan siis modulaariseen rakentamiseen liittyy usein kustannuslisiä. Modulaarisella esivalmistuksella säästöjä rakennuskustannuksissa on mahdollista saada usealtakin eri osa-alueelta, mutta selviä tutkimustuloksia ei ole säästöjen riittämisestä kattamaan esivalmistuksen tuomat lisäkulut (Bertram ym. 2019). Bertram ym. (2019) kuitenkin arvioivat, että tämä todennäköisesti tulee muuttumaan, kun rakennusteollisuudessa muutetaan ajattelutapaa ja modulaarinen rakentaminen saa enemmän markkinaosuutta. Esimerkiksi suunnittelemtomien töiden ja selvien urakkarajojen myötä poistetaan turhat lisäkustannukset sekä työresurssitarpeiden ja korjattavien töiden vähentyminen saattavat lisätä kustannussäästöjä, jotka kompensoivat korkeampia materiaali- ja kasvavia suunnittelukustannuksia (Bertram ym. 2019). Lisäksi Bertram ym. (2019) arvioivat, että hankkeet, joilla todennäköisesti saadaan aikaan suurimmat kustannussäästöt, ovat ne hankkeet, joiden toistettavuus on suurin. Myös Boyd, Khalfan, ja Maqsood (2013) huomasivat, että moduulien toisto antoi mahdollisuuden mittakaavaetuuteen sekä työresurssien vähentämiseen, joka korreloi työmaakustannuksien vähentymiseen. Lisäksi Xu, Zayed, ja Niu (2020) tunnistivat, että rakennusajan vähenemisen aiheuttamat kustannussäästöt saattavat olla yhtenä vastapainona kustannusten suureen kasvuun. Esimerkiksi kohtuuhintaiset asunnot, opiskelijamajoitus, hotellit ja tarjoavat suuren mahdollisuuden säästöihin, kun taas huippuasunnot ja toimistorakennukset ovat esimerkkejä siitä, missä merkittäviä säästöjä on tällä hetkellä vaikeampi saavuttaa (Bertram ym. 2019).

Boyd, Khalfan, ja Maqsood (2013) tunnistivat myös työmaan ennustavuuden parantumisen, joka myös helpottaa budjetissa pysymisessä. Riskien toteutumista ja sen taloudellisen menetyksen suuruutta on vaikea ennustaa, joten märkätilaelementtien kohdalla riskin siirtämisstrategiassa ennustettavuus voi olla helpompaa. Myös perinteisellä tavalla valmistetussa märkätilassa voidaan käyttää riskien siirtostrategiaa, mutta hallittavia aliurakoitsijoita on huomattavasti enemmän. Monen aliurakoitsijan käyttö monesti aiheuttaa myös urakkarajojen väliin aukkoja, joista Bertram ym. (2019) myös mainitsivat. Näitä suunnittelemattomia kohtia voivat olla muun muassa laatuvaatimustasoista aiheutuneet aukot, kuten isojen laattojen pohjat, tulee olla lähes suoria, mutta betoninormeissa paras laatuluokka ei takaa lähellekään ison laatan pohjien vaatimuksia. Modulaarisessa rakentamisessa taas samoja urakkarajojen aukkoja voi ilmaantua talotekniikan kanssa, mutta urakoitsijoita on huomattavasti vähemmän, jolloin ne ovat helpommin hallittavissa.

Rakennusallalla yleisesti pyritään kestävän kehityksen edistämiseen kestäväällä rakentamisella. Kestäväällä rakentamisella tarkoitetaan esimerkiksi energiakulutuksen vähentämistä, luonnonvarojen säästämistä ja ihmisen kokonaisvaltaisen hyvinvoinnin turvaamiseen. Kestävää rakentamista edistää myös Suomen sitoutuminen EU:n päästöjen vähentämiseen. Komission analyysin mukaan rakennetun ympäristön alalla päästöjä voitaisiin vähentää jopa 90 % vuoteen 2050 mennessä. (Kotilainen 2013.) Näitä ympäristöystävällisyyteen liittyviä suorituskykytavoitteita on hyvä tarkastella yrityksen yhteiskuntavastuullisuuden näkökulmasta. Yrityksen yhteiskuntavastuuksi kutsutaan yrityksen tapaa tarkastella toimintojen taloudellisista, sosiaalisista ja ympäristöllisistä vaikutuksista sidosryhmiin (Slack ja Lewis 2020). Yhteiskuntavastuullisuuden 3 kestävästä rakentamisen ulottuvuudesta käytetään nimitystä ”Triple Bottom Line”, joka tarkastelee suorituskykyä laajalta yhteiskunnalliselta tasolta (Xu, Zayed, ja Niu 2020). Taloudellinen ulottuvuus koskee ensisijaisesti rakennusaikaa ja -kustannuksia, joita tarkastellaan erikseen nopeutta ja kustannuksia käsittelevissä kappaleissa.

Triple Bottom Line -malli (TBL-malli), joka sisältää taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristölliset ulottuvuudet, on laajalti hyväksytty kestävästä kehityksen arvioinnin kannalta (Xu, Zayed, ja Niu 2020). Xu ym. lisäävät, että rakentamisen kestävästä kehityksen suorituskyky on välttämätöntä kestävästä kehityksen saavuttamiseksi. Tällä hetkellä teollisuusallalla on yhä enemmän paikallisia ja globaaleja ympäristö- ja sosioekonomisia huolenaiheita kuluttamalla noin puolet maailman resursseista (Kamali, Hewage, ja Sadiq 2019)

Kamalin ym. (2019) mukaan rakennusteollisuus käyttää 40–60 % raaka-aineiden kokonaismäärästä sekä 40 prosenttia energiankulutuksesta. Kamalin ym. (2019) lisäävät, että rakennusala aiheuttaa hieman alle 40 % ympäristölle aiheutuvista hiilidioksidipäästöistä ja noin 35 prosenttia kaatopaikkojen kokonaisjätevirrasta. Suomessa numerot hieman eroavat maailman luvuista. Teollisuuden ja rakentamisen kasvihuonepäästöt ovat 18 % Suomen kasvihuonekaasujen päästöistä, joka on kolmanneksi suurin sektori Suomessa vuonna 2020 (Tilastokeskus 2021). Nämä prosenttiluvut ovat silti suuria ja paljastavat yhden rakennusalan negatiivisen puolen.

Modulaarisen rakentamisen elinkaarisuorituksia koskevissa tutkimuksissa keskitytään pääasiassa modulaarisen rakentamisen ympäristönsuojeluun, jolloin kirjallisuudessa on puutteita kestävästä rakentamisesta muiden ulottuvuuksien tarkastelussa eli TBL:n muut ulottuvuudet (Xu, Zayed, ja Niu 2020). Xu ym. (2020) listasivat modulaarisen rakentamisen ympäristöetuina mm. materiaalihukan, kasvihuonekaasupäästöt, rakennustyömaalla melun ja pölyn vähentymisen ja arviolta materiaalihukkaa vähennettiin jopa 85 prosenttia sekä kasvihuonekaasupäästöt vähenivät 51,7 kg/m², joka vastaa n. 350 km matkaa henkilöautolla (Traficom 2022). Eli 3000 m² rakennuksen säästetyt kasvihuonepäästöt vastaavat yli miljoonan kilometrin matkaa henkilöautolla. Boyd, Khalfan, ja Maqsood (2013) puolestaan tunnistivat työmaajätteen vähentyneen 70 %. Jätteen ja hukan väheneminen säästää sekä projektin jäte- ja materiaalikustannuksia että ympäristövaikutuksia (Kamali, M. ja muut 2019). Esimerkiksi betoni- ja teräs ovat kaksi suurta esivalmistuksessa käytettyä materiaalia, jossa hukkaa kertyi noin 3–8 % perinteisessä rakennusprosessissa (Hong ym. 2018). Lisäksi Hong ym. (2018) tapaustutkimuksessa tunnistettiin tehdasvalmisteisten komponenttien käyttö vähentää yli 50 % tästä hukan määrästä.

Sosiaalisen ulottuvuuden kriteereihin on erilaisia lähestymistapoja, työntekijöiden terveys ja turvallisuus on yksi pääperiaatteista (Xu, Zayed, ja Niu 2020). Kuten aikaisemmin tässä tutkimuksessa todettiin, että useammassa tutkimuksessa arvioidaan modulaarisen rakentamisen lisäävän työn turvallisuutta. Märkätilaelementin asennuksessa on omat nostotyön riskinsä, jota paikallarakennettavassa märkätilassa ei ole. Kuitenkin tehdasoloissa rakennettu märkätila vähentää rakennusonnettomuuksien riskiä ja pitää sisällään ergonomisempia työvaiheita, jotka ovat pois työmaalla tehdystä työstä (Bertram ym. 2019). Sosiaalinen vaikutus tarkastelee myös työllistävää vaikutusta. Modulaarisella

märkätilarakentamisella on sosiaalisia seuraamuksia työmaalla työllistävässä vaikutuksessa, koska vähemmän paikalla tehtävää työtä. Suurin osa märkätilan työvaiheista kuitenkin toteutetaan aliurakkana, jolloin omien työntekijöiden tarve ei juurikaan muutu. Työvaiheet ovat pois työmaan resurssitarpeista, mutta oletuksena, että sama työ tehdään turvallisemmassa paikassa tehdasoloissa, ei vaikuttaisi työllistämiseen, vaan positiivisesti turvallisuuteen. Samalla se lisää muiden työmaalla työskentelevien turvallisuutta poistamalla häiriötekijöitä. Tässä kappaleessa tunnistetut märkätilaelementin suorat vaikutukset rakennushankkeen tavoitteisiin on koottu alla olevaan taulukkoon 4.

Taulukko 4. Märkätilaelementin vaikutukset rakennushankkeen tavoitteisiin

Märkätilaelementin suoria vaikutuksia rakennushankkeeseen	Lähteet
Vähentyneet korjaukset ja reklamaatiot Vaikutus: korjauskustannuksiin ja rakennusaikaan	(esim. Boyd ym. 2013, Bertram ym. 2019)
Tehdas olot parantavat laadunvalvontaa (riskien siirto) Vaikutus: työmaan resurssitarpeisiin ja esivalmisteen hinnan kasvu	(esim. Bertram ym. 2019, Yoon ym. 2015)
Tehdasolot edesauttavat aikaisemman työn aloituksen Vaikutus: Kun elementti on asennettavissa, se on asennuksen jälkeen valmis	(esim. Bertram ym. 2019, Xu ym. 2020, Boyd ym. 2013)
Lisääntynyt suunnittelutyö ja pidentynyt hankesuunnitteluvaihe Vaikutus: Pidentää suunnitteluvaihetta ja heikentää joustavuutta	(esim. Bertram ym. 2019, Mao ym. 2015)
Korkeammat rakennuskustannukset, ilman kustannus etujen hyödyntämistä Vaikutus: Ilman hyötyjen käyttöä kustannukset ovat korkeammat	(esim. Bertram ym. 2019, Xu ym. 2020, Jaillon ja Poon 2014, Boyd ym. 2013)
Vähentää ympäristövaikutuksia: materiaalihukan, kasvihuonekaasupäästöt, rakennustyömaalla melun ja pölyn vähentymisellä	(esim. Kamali ym. 2019, Hong ym. 2018, Bertram ym. 2019, Xu ym. 2020, Jaillon ja Poon 2014, Boyd ym. 2013)
Vähentää työmaalla tehtäviä työvaiheita Vaikutus: parantaa työturvallisuutta, ergonomiaa ja vähentää häiriöitä	(esim. Bertram ym. 2019, Xu ym. 2020, Boyd ym. 2013)

3.4 Vaikutuksien arvioinnin menettelytapa

Monissa tutkimuksissa on pyritty määrittelemään ja arvioimaan esivalmistuksen vaikutustekijöitä. Näiden vaikutustekijöiden perusteella on käytetty erilaisia menetelmiä helpottamaan esivalmistuksen käyttöä koskevaa päätöksentekoa. Esimerkiksi Lu ym. (2018) ovat kehittäneet tutkimuksessaan analyyttisen menetelmän, jonka avulla pystytään arvioimaan hankkeen esivalmistesteiden optimaalinen käyttötaso, jolla on yleinen soveltuvuus *PEST-kontekstiin*.

Lu ym. (2018) menetelmään kuuluu kolmetoista PEST (poliittista, taloudellista, sosiaalista ja teknistä) tekijää, joiden avulla määritetään esivalmistuksen optimaalinen tason asteikolla 0–4. Esivalmistuksen tasot edustavat samoja edellä mainittuja tasoja, jotka tässä tutkimuksessa luokiteltiin aikaisemmin. Rakennushankkeessa esivalmistesteiden optimaalisella käyttötasolla Lu ym. (2018) tarkoittavat sitä esivalmistetasoa, jolla saavutetaan hankkeen optimaalinen suorituskyky, kun otetaan huomioon kaikki 13 tekijää. Lu

ym. (2018) analyysimenetelmän PEST-tekijät, jotka ovat poliittisia ovat mm. kannustimet, yleiset käytännöt ja standardit sekä eurokoodit ja määräykset. Taloudellisia tekijöitä ovat mm. markkinatarjonta, hankkeen aikataulu, tyyppi ja laajuus sekä toistuvat komponentit. Sosiaalisiksi tekijöiksi ovat mm. työresurssit, asenteet esivalmisteita kohtaan ja käyttäjien hyväksyntä joustamattomuuteen. Teknologisia tekijöitä ovat resurssit, tuntemus, rakentamisen toleranssit, ja sivuston logistiikka.

Lu ym. (2018) menetelmä on suhteellisen yksinkertainen, mutta tutkijan mielipiteet vaikuttavat vahvasti tuloksiin, koska jokaisen tekijän kohdalla arvioidaan 0, + tai ++ siitä, miten hyvin kyseinen esivalmistustaso soveltuu kohteeseen. Lisäksi tekijöihin vaikuttavia kohteen ominaisuuksia tulisi pystytään vielä muuttamaan hankesuunnittelupöydällä, kuten kohteessa käytettävää toistettavuutta on mahdollista lisätä ennen kuin asuntojen pohjat tai liitosdetaljit ovat lukittu. Päätöksenteon aputyökaluna toimiva menetelmä, koska menetelmä antaa erilaisia näkökulmia suorituskykyyn vaikuttavista tekijöistä sekä antaa käsityksen kohteeseen soveltuvasta esivalmistusasteesta, mutta päätöksen teon perusteena ei kovin luotettava edellä mainituista syistä.

Chauhanin ym. (2019) puolestaan kehittivät Antillon ym. (2014) (mainittu Chauhanin ym. 2019) soveltamaa arvopohjaista kustannus-hyötyanalyysiä analysoidessaan esivalmistusta sairaalaprosjektissa sekä *Choosing By Advantage* -menetelmää (CBA, toiselta nimeltään Multi-Criteria Decision Making, MCDM) apuna erilaisten prosessien valinnassa. Chauhanin ym. (2019) soveltamassa CBA-lähestymistavassa määritellään ensin vertailtavat vaihtoehdot ja vaikutustekijät, jotka vaikuttavat vertailtavien tapojen suorituskykyyn. Tekijöiden tunnistamisen jälkeen arvioidaan tekijöiden vaikutuksien mittaussuunnitelmat, esimerkiksi mitataanko tekijän vaikutukset rahallisesti, laadullisesti vai molemmilla tavoilla. Tässä kohtaa suorat taloudelliset vaikutukset ovat helppo laskea ja verrata keskenään. Kaikkia vaikutustekijöitä ei kuitenkaan voida helposti muuttaa taloudellisiksi vaikutuksiksi, kuten ympäristövaikutukset, aikataulujen pitävyys, laatu, joten laadullisille vaikutustekijöille on päätettävä kunkin tekijän arvioinnissa määriteltävät kriteerit eli miten ja mitä mitataan sekä, miten kyseistä tekijää painotetaan vertailussa. Laadullisten vaikutuksien arvioinnin ja vertailujen jälkeen suoritetaan kustannus-hyötyanalyysi. Chauhanin ym. (2019) arviointimenetelmä voi toimia hyvänä päätöksenteon aputyökaluna, koska siinä yhdistetään vertailukelpoisiksi niin rahalliset sekä ei-rahalliset vaikutukset, jolloin menetelmä antaa paljon laajemman kuvan kuin Lu ym. PEST menetelmä. CBA menetelmässä tulee olla vaikutustekijöiden hyödyt ja heikkoudet yleisesti tunnistettu, jotta ne

pystytään varmuudella todeta ja vertailemaan. Tällä hetkellä vaikutustekijöistä ei ole varmuutta, vaan ne halutaan todentaa, jolloin CBA menetelmä lähestymistapana ei ole so-piva.

Jiang ym. (2018) käyttävät SWOT-lähestymistapaa modulaarisen esivalmistuksen hyö-dyntämisestä rakennushankkeissa sekä laajemmassa mittakaavassa Kiinan uuden kau-pungistumisen taustalla. Jiang ym. (2018) SWOT-analyysi lähestymistapana voi johtaa järkeviin suosituksiin päätöksenteon ongelmissa tutkimalla kohteen sisäisiä (S+W, esim. valmiuksia, motivaatiota, resursseja, tietoisuutta ja tietämystä) ja ulkoisia tekijöitä (O+T, esim. hallituksen politiikka, taloudellinen ja sosiaalinen ympäristö sekä markkinoiden ke-hitys). He uskovat, että SWOT lähestymistapa ylittää muut lähestymistavat, kuten PEST analyysin, koska menetelmä ei ainoastaan esitä sisäisiä ja ulkoisia tekijöitä, vaan selittää myös niiden väliset vaikutukset ja kehitysstrategiat.

Samoin kuin Chauhanin ym. (2019) CBA menetelmässä SWOT-analyysissä ensin tun-nistetaan tärkeimmät sisäiset ja ulkoiset vaikutus tekijät. Vaikutustekijöiden tunnistami-sen jälkeen Jiang ym. (2018) laajentaa analyysia puolistrukturoitujen haastattelujen avulla lisäanalyysin suorittamiseksi ja lopuksi he luovat kehitysstrategiat analyysin poh-jalta. Kehitysstrategioissa mietitään esimerkiksi, miten pystytään vahvuuksia ja mahdol-lisuuksia hyödyntämään paremmin sekä heikkouksia ja uhkia neutralisoimaan tai pois-tamaan kokonaan. Tämän tyyppinen SWOT-analyysi soveltuu hyvin tutkimuksiin, joissa tavoitteena on tunnistaa vahvuuksia ja heikkouksia sekä niiden avulla löytää ratkaisuja kehittää prosesseja.

3.5 Yhteenveto ja johtopäätökset

SWOT-analyysi tukee tämän tutkimuksen tavoitteita, tunnistaa, todeta vaikutustekijät ja kehittää toimintaa, jonka takia SWOT menetelmä myös valittiin tutkimuksen lähestymis-tavaksi. Kirjallisuuskatsauksessa tunnistettiin paljon märkätilaelementin tuomia etuja ja heikkouksia. Tässä yhteenvetokappaleessa nämä edut ja heikkoudet lokeroidaan sisäi-siin sekä ulkoisiin tekijöihin, joka helpottaa empiirisessä osuudessa niiden todentamista.

Vahvuuksiksi määritellään positiivisesti hankkeeseen vaikuttavat tekijät, jotka ovat yrityksen sisäisiä tekijöitä. Sisäisiin tekijöihin pystytään vaikuttamaan rakennustyömaan organisaation toiminnalla. Vahvuuksia ovat seuraavanlaiset tekijät:

- Kirjallisuuskatsauksessa arvioitiin, että märkätilaelementin käyttö vaikuttaa hankkeeseen nopeuttamalla rakennusaikaa, koska työ voidaan tehdä tehdasoloissa aikaisemmin ja nopeammin, kuin työmaalla.
- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan parantava vaikutus hankkeen resurssitehokkuuteen. Rakennustyömaalla on vähemmän työvaiheita, joiden hallinta ja valvonta on helpompaa, eikä vaadi työnjohtoresursseja yhtä paljon. Resurssitehokkuus tarkoittaa työresurssien lisäksi myös materiaalien käytön tehokkuutta, joka parantuu hukan vähentyessä.
- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan laatua parantava vaikutus, koska tehdasoloissa laatu on helpommin valvottavissa, työvaiheet ovat ergonomisesti paremmin toteutettavissa ja sääolosuhteet eivät vaikuta laatuun tai työvaiheiden kulkuun.
- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan vaikutusta hankkeen sopimussuhteiden, ristiriitojen, ja häiriöiden määrään. Sopimussuhteiden vähentymisellä arvioitiin olevan vähentävä vaikutus urakkarajojen väliin jääneisiin suunnittelemissiin kohtiin, jotka tuottavat lisäkustannuksia. Ristiriitojen ja häiriöiden määrät vaikuttavat heikentävästi rakennusnopeuteen, yleiseen turvallisuuteen ja laatuun.
- Työmaan turvallisuus koetaan parantuvan, koska työvaiheet siirretään turvallisempaan tehdas ympäristöön, jossa on vähemmän häiriön tai turvallisuusriskien tuottajia ja epäergonomisia työvaiheita, kuten materiaalin siirrot voidaan toteuttaa koneellisesti työpisteelle.
- Modulaarisella rakentamisella koetaan olevan enemmän logistisia kustannuksia ja näkökohtia. Märkätilaelementin käytöllä ei pitäisi olla kyseisiä haasteita, koska märkätilaelementit eivät tarvitse erikoiskuljetuksia ja koko märkätilapaketti toimitetaan yhdellä toimituksella, joka pitäisi vähentää työmaalogistiikan kustannuksia, samoin kuin työmaalla tehtävää varastointia ja uudelleen sijoittelua/siirtelyä.
- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan paljon positiivisia vaikutuksia ympäristövaikutuksiin, kuten jätteen, kasvihuonepäästöjen, melun ja pölyn vähentymiseen. Jätteen vähentymisellä on myös vaikutuksia vähentyneisiin kustannuksien kertymiseen.

Heikkouksiksi määritellään negatiivisesti hankkeeseen vaikuttavat tekijät, jotka ovat yrityksen sisäisiä tekijöitä. Sisäisiin tekijöihin pystytään vaikuttamaan rakennustyömaan organisaation toiminnalla. Heikkouksia ovat seuraavanlaiset tekijät:

- Märkätilaelementin käytöllä arvioitiin olevan haasteita vähäisen kokemuksen takia. Kokemuksen puute suunnittelu- ja asennustyössä arvioitiin vaikuttavan teknisiin haasteisiin ja kustannuslisiin.
- Märkätilaelementin käytöllä arvioitiin olevan suunnittelutyötä lisäävä vaikutus, koska suunnittelijoiden prosessit eivät ole hioutuneet modulaarisen rakennuksen suunnitteluun. Työn lisääntyminen näkyy esimerkiksi lisäkustannuksissa.
- Märkätilaelementin käytöllä arvioitiin olevan korkeammat rakennuskustannukset, ilman mittakaava etua. Märkätilaelementin suorat kustannukset arvioitiin olevan 15–25 % suuremmat, mutta mittakaavaedulla pystyttäisiin alentamaan kustannuksia ja kompensoimaan kustannuslisiä.
- Märkätilaelementin käytöllä arvioitiin olevan vaikutusta vähäisiin muutosmahdollisuuksiin, eli asukasvalintoihin ja kohteen joustavuuteen, koska päätökset tulee tehdä etupainotteisesti hankesuunnitteluvaiheessa.
- Arvioitiin, että märkätilaelementin käyttöä rajoittaa hankinta- ja suunnittelujärjestelmien muuttaminen, koska perinteisen tavan ja modulaarisen rakentamisen toimintamallit ovat erilaiset ja vaativat erikoisosaamista.
- Arvioitiin, että märkätilaelementin käyttöä rajoittaa se, että tarvitaan laajaa koordinaatiota ja suurta organisaatiota suunnittelusta rakentamiseen, modulaarisen rakentamisen monimutkaisten hankinta-, suunnittelu- ja toteutuskysymyksien takia.
- Arvioitiin, että märkätilaelementin käyttöä rajoittaa sidosryhmien välinen heikko viestintä ja koordinaatokyky, koska modulaarinen rakentaminen vaatii koko ajan sidosryhmien välillä viestintää mm. monimutkaisten hankinta-asioiden takia.
- Arvioitiin, että märkätilaelementin käyttöä rajoittaa se, että märkätilaelementin eduista ja niiden luomasta lisäarvosta ei ole selvää ymmärrystä. Tämä vaikuttaa merkittävästi etujen hyödyntämiseen, koska tällöin täyttä potentiaalia ei pystytä hyödyntämään.
- Märkätilaelementin käyttöä rajoittavia tekijöitä arvioitiin olevan työmaan rajalliset olosuhteet ja elementtien tekniset ongelmat, eli tehtaan laatuvirheet.

Mahdollisuuksiksi määritellään positiiviset hankkeeseen vaikuttavat tekijät, jotka ovat ulkoisia tekijöitä, esimerkiksi markkinat. Ulkoisiin tekijöihin rakennustyömaan organisaation toiminnalla ei pystytä vaikuttamaan. Mahdollisuuksia ovat seuraavanlaiset tekijät:

- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan mahdollisuutena parantaa rakennusliikkeen tuottavuutta prosessien kehittämisen ja oppimisen kautta.
- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan mahdollisuutena kehittää kestävästä rakentamisen kulttuuria sen positiivisten ympäristövaikutuksien takia.
- Märkätilaelementillä arvioidaan olevan mahdollisuus yhteistyökumppanuuden avulla parantaa märkätilaelementin käyttöä ja hyödyntää sen koko potentiaali, joka parantaa sen kannattavuutta.
- Märkätilaelementillä arvioidaan olevan tulevaisuudessa mahdollista saada EU:n kannustimia tukemaan yritysten hiilineutraalisuutta.

Uhiksi määritellään hankkeeseen negatiivisesti vaikuttavat tekijät, jotka ovat ulkoisia tekijöitä, esimerkiksi markkinat. Ulkoisiin tekijöihin rakennustyömaan organisaation toiminnalla ei pystytä suoraan vaikuttamaan. Uhkia ovat seuraavanlaiset tekijät:

- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan uhkana markkinoiden yleinen negatiivinen mielipide tilaelementtien laadusta sekä yksilöllisyydestä. Mielipiteet perustuvat aikaisempiin kokemuksiin, joista voi olla useitakin vuosikymmeniä, jolloin käsitys ei ole ajanmukainen, mutta aiheuttaa edelleen haasteita elementin käytön hyväksyntään.
- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan uhkana markkinoilla olevien toimittajien pieni määrä, joka vähentää kilpailun tuomaa kustannuspainetta markkinoilla.
- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan uhkana immateriaalioikeudet, standardien ja käytäntöjen vajaavaisuus, jotka vaikuttavat markkinoiden suuruuteen ja kehitykseen.
- Märkätilaelementillä arvioitiin olevan uhkana haluttomuus kehittää prosesseja ja kehittämisestä aiheutuvat kustannukset.

Tämän tutkimuksen empiiriseen osuuteen jää kirjallisuuskatsauksesta tunnistettujen tekijöiden vahvistaminen tai kumoaminen todellisessa rakennusympäristössä. Suurin osa

tekijöistä on yleisesti modulaarisesta rakentamisesta, joten ne tulee täsmentää, kun käytetään pelkästään tilaelementtejä märkätiloissa. Lisäksi tekijöitä tulee peilata työn tilaajan organisaatioon, koska työn tilaajalla on kattava ja moniosaava organisaatio, joka tuo omia etuuksia tilaelementtien hyödyntämiseen. Kuvioon 6. on koottu edellä listatut vaikutukset lokeroituna SWOT-analyysin nelikenttään.

	Positiiviset tekijät	Negatiiviset tekijät
Sisäiset tekijät	<p>Vahvuudet (S)</p> <p>S1 = Nopeutunut rakennusaika S2 = Parantunut resurssitehokkuus S3 = Parantunut laatu S4 = Vähemmän sopimussuhteita S5 = Parantunut työturvallisuus S6 = Vähentynyt työmaalogistiikka S7 = Vähemmän ympäristövaikutuksia</p>	<p>Heikkoudet (W)</p> <p>W1 = Kokemuksen puute W2 = Enemmän suunnittelutyötä W3 = Korkeammat rakennuskustannukset W4 = Huono joustavuus W5 = Toimintamallien muuttaminen W6 = Laaja koordinointi ja organisaatio W7 = Sidosryhmien heikko viestintä W8 = Eduista ei selkeää ymmärrystä W9 = Rajalliset olosuhteet</p>
Ulkoiset tekijät	<p>Mahdollisuudet (O)</p> <p>O1 = Tuottavuuden kehitys O2 = Kestävä rakentaminen O3 = Yhteistyökumppanuus O4 = Kannustinjärjestelmät</p>	<p>Uhat (T)</p> <p>T1 = Hyväksynnän puute T2 = Toimittajien pieni määrä T3 = Standardit ja yleiset käytännöt T4 = Immateriaalioikeudet T5 = Haluttomuus kehittää prosesseja</p>

Kuvio 6. Kirjallisuuskatsauksen SWOT-analyysin nelikenttä

4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA RAJAUS

4.1 Metodologiset lähestymistavat ja rajaaminen

Tässä tutkimuksessa tutkimusfilosofiana on pragmatismi. Pragmatismi tutkimusfilosofiana tukee tämän tutkimuksen tarkoitusta ratkaista ongelmia ja kehittää käytäntöjä (Saunders 2019). Tutkimuksesta saatavilla tuloksilla halutaan kehittää yrityksen toimintaa ja tukea hankekohtaisien päätösten tekoa. Tästä syystä tutkimuksessa huomioidaan organisaation arvot ja tavoitteet, jotka näkyvät tutkimuksen tuloksissa. Tutkimustulokset halutaan olevan konkreettisia sekä toteutuskelpoisia, jolloin mahdollistetaan toiminnan kehitys onnistuneesti. Myös näiltä osin pragmatismi soveltuu hyvin tutkimusfilosofiaksi (Saunders 2019).

Tutkimuksessa lähestymistavaksi teorian kehittämiseen valittiin abduktiivinen päättely. Abduktiivinen päättely soveltuu tähän tutkimukseen, koska tutkimuksessa yhdistetään sekä induktiivinen että deduktiivinen päättely. Tutkimuksessa lähdetään liikkeelle kirjallisuuskatsauksesta esiin tulleista havainnoista, joista luodaan yleispätevä teoria. Tätä teoriaa verrataan tutkimuksessa käytössä olevaan dataan toteutuneista hankkeista. Hankkeista kerätty data (tai havainnot) käytetään suorituskykyominaisuuksien tunnistamiseen ja teorian testaamiseen. Lisäksi tässä tutkimuksessa täydennetään toteutuneiden hankkeiden analyysiä haastattelututkimuksella, jossa vahvistetaan tai kumotaan tutkimuksessa esitetyt väitteet asiantuntijoiden kokemuksen perusteella. (Saunders 2019.)

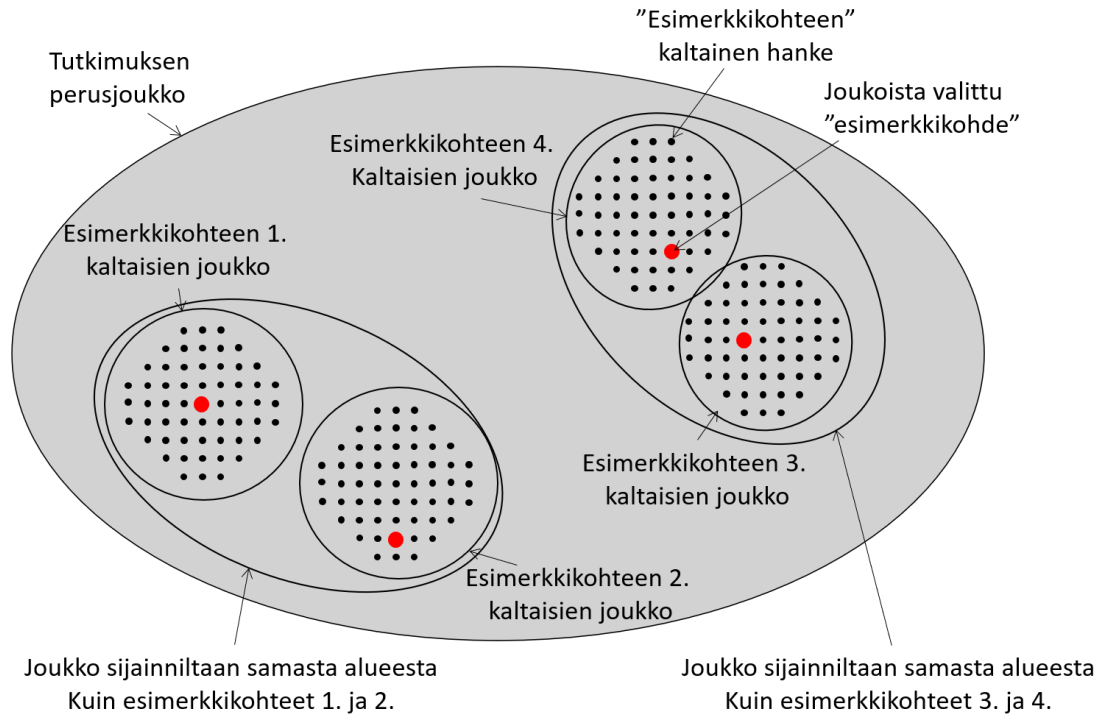
Tutkimusmenetelmänä käytetään monimenetelmätutkimusta, joka on myös pragmatismille tutkimusfilosofialle olennaista (Saunders 2019). Monimenetelmätutkimus tarkoittaa sitä, että tutkimuksessa käytetään sekä laadullisia ja kvalitatiivisia aineiston analyysimenetelmiä. Laadullisen analyysin aineisto on ei-numeraalista (esim. sanoja ja kuviota), kun taas kvalitatiivisen analyysin numeraalisia. ("Menetelmäpolku — Jyväskylän yliopiston Koppa" 2015). Näitä molempia analyysimenetelmiä käytetään tutkimuksessa samanaikaisesti sekä erikseen riippuen tutkittavasta kohteesta ja kohteeseen liittyvistä tutkimusongelmista. Monimenetelmätutkimuksen pääpaino on laadullisessa analyysissä.

sissä, koska suurin osa tutkittavasta aineistosta on laadullista. Monimenetelmätutkimuksen valinnalla halutaan täydentää ja syventää tutkimuksen tuloksia ("Menetelmäpolku — Jyväskylän yliopiston Koppa" 2015).

Tutkimusstrategian tarkoituksena on luoda toimintasuunnitelma tämän tutkimuksen tavoitteiden saavuttamiseksi. Tutkimusstrategiana tutkimuksessa käytetään vertailevaa toimintatutkimusta. Vertailevalla tutkimuksella tarkoitetaan tutkimusstrategiaa, jossa vertaillaan valittuja tapauksia toisiinsa. ("Menetelmäpolku — Jyväskylän yliopiston Koppa" 2015.) Esimerkiksi tässä tutkimuksessa verrataan kahta eri rakennustapaa sekä kahta eri hanketta molemmista vertailtavista rakennustavoista. Toimintatutkimus puolestaan tarkoittaa tutkimusta, jossa tarkoituksena on kehittää tutkimuskohdetta ja sen ympäristöä tai toimintaa ("Menetelmäpolku — Jyväskylän yliopiston Koppa" 2015.) Tutkimuksessa tarkoituksena on kehittää märkätilaelementin käyttöä työn tilaajan tulevissa rakennushankkeissa.

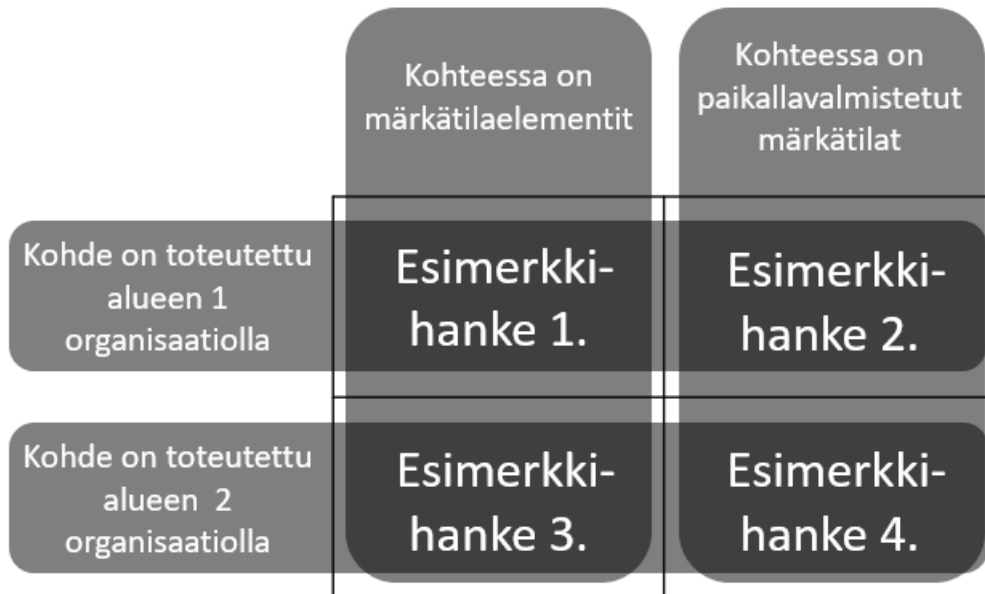
Tutkimuksen aikahorisonttina on poikittaistutkimus, koska tutkimustulokset halutaan saada suhteellisen lyhyessä aikaraamissa. Lisäksi tutkimuksen aineisto kerätään lyhyen aikavälin aikana, koska tutkimuksessa halutaan tutkia kohdetta laaja-alaisesti nykyhetkellä, eikä tarkoituksena ole tutkia kohteen muutosta tai sen kehitystä ajansaatossa. ("Menetelmäpolku — Jyväskylän yliopiston Koppa" 2015.)

Näytteiden otanta perusjoukosta on tehty tarkoituksenmukaisella valinnalla, jossa tutkimukseen valikoidut hankkeet ja haastateltavat asiantuntijat halutaan tarkoituksen mukaisesti valita tietynlaisia hankkeita jokaisesta vertailevasta ryhmästä ja henkilöitä monialaisesti ("Menetelmäpolku — Jyväskylän yliopiston Koppa" 2015). Tässä tutkimuksessa harkinnanvaraisen otantamenetelmän tarkoitus on löytää ne hankkeet, joista on saatavilla riittävästi tutkimuksen kannalta arvokasta tietoa, ja ne edustaisivat mahdollisimman kattavasti tyypillisiä tapauksia jokaisesta vertailevasta ryhmästä. Näytteeksi valituista esimerkkihankkeista käytetään tässä tutkimuksessa nimitystä "esimerkkikohte". Kuvio 7. havainnollistaa esimerkkikohteiden valintaperusteita. Haastateltavat puolestaan valittiin heidän aikaisemman kokemuksensa ja työtehtävänsä perusteella, koska tutkimukseen haluttiin näkökulmaa niin hankinnan kuin työnjohtotasolta. Haastattelututkimuksen otannasta tarkemmin haastattelututkimusta käsittelevässä kappaleessa.



Kuvio 7. Näytteiden harkinnanvarainen otannan havaintokuva

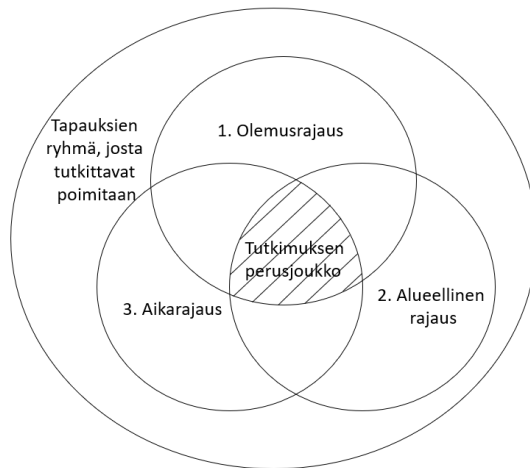
Näytteen koon suuruus, eli esimerkkikohteiden ja haastateltavien asiantuntijoiden määrä, haluttiin olevan tässä tutkimuksessa kyllin kattava, jotta saadaan riittävästi dataa eri rakennustavoilla toteutettavista hankkeista, mutta samalla kuitenkin haluttiin näytteen koon olevan riittävän suppea, jotta pystytään syventymään kohteiden eroavaisuuksiin tarkemmin, joka myös tukee abduktiivista päättelytapaa. (Saunders 2019.) Tästä syystä esimerkkikohteiden näytteen kooksi määritettiin neljä erilaista esimerkkihanketta: (1) Hanke, joka on toteutettu alueen 1 organisaatiolla ja hankkeessa valmistetaan märkätilat perinteisesti paikallaan; (2) Hanke, joka on toteutettu alueen 1 organisaatiolla ja hankkeessa käytetään märkätilaelementtiä (3) Hanke, joka on toteutettu alueen 2 organisaatiolla ja hankkeessa valmistetaan märkätilat perinteisesti paikallaan; (4) Hanke, joka on toteutettu alueen 2 organisaatiolla ja hankkeessa käytetään märkätilaelementtiä. Kuviossa 8. on havainnollistettu näiden neljä esimerkkikohteen ominaisuudet nelikentässä.



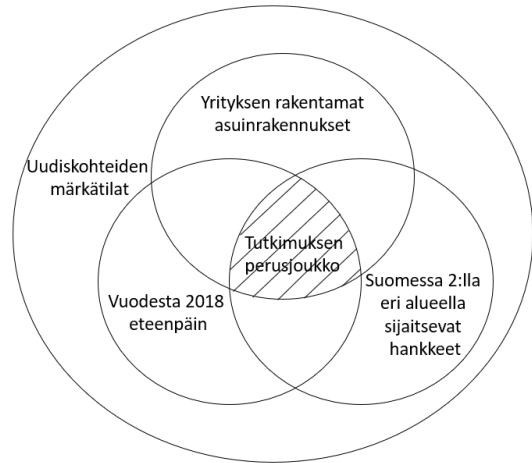
Kuvio 8. Valikoitujen esimerkkikohteiden ominaisuudet ja valintakriteerit

Tutkimuksen rajaamisen tarkoitus on kaventaa tutkittava perusjoukko riittävän suppeaksi, jolloin tutkittava aineisto ei ole liian suuri ja aihetta voidaan tutkia syvällisemmin ("Menetelmäpolku — Jyväskylän yliopiston Koppa" 2015). Tämän tutkimuksen perusjoukko saatiin rajaamalla aihe: olemusrajauksella, alueellisella rajauksella, ja aikarajauksella (Routio luettu: 2021). Kuviossa 9. on hahmoteltu lukijalle perusjoukon rajaukset yleisesti.

Olemusrajauksena tutkimuksen perusjoukko rajattiin tutkimuksen kohdeyrityksen rakentamiin asuinrakennuksiin. Tällä tavoin tutkittavien hankkeiden datan saanti sekä tutkimuksen toteuttaminen luottamuksellisesti on helpompaa. Alueellisena rajauksena tutkimuksen perusjoukko rajattiin Suomessa kahden eri alueellisen yksikön rakentamiin asuinrakennuksiin. Tämän rajauksen tarkoituksena on poistaa tutkimustuloksista maiden välisistä rakennuskulttuurillisista eroista aiheutuvat häiriöt. Lisäksi alueellisella rajauksella haluttiin parantaa vertailtavien hankkeiden yhdenmukaisuutta, koska eri organisaatioilla on hieman erilaiset toimintatavat ja osaamisen tasot. Aikarajauksena tutkimuksen perusjoukko rajattiin vuodesta 2018 eteenpäin rakennettuihin uudisrakennuksiin. Kyseinen vuosi valikoitui aikarajaukseksi, koska uusista kohteista on saatavilla tietojärjestelmissä enemmän dataa, kuin tätä vanhemmissa. Myös teknologian nopea kehitys on osasyy vanhojen kohteiden pois rajaamiseen. Kuviossa 10. on esitetty tutkimuksen rajaukset Raution tyylillä.



Kuvio 9. Tutkimuksen rajaus, yleinen (Rautio, muokattu)



Kuvio 10. Tämän tutkimuksen perusjoukon rajaus (Rautio, muokattu)

4.2 Esimerkkikohteet ja työtapamenetelmät

Esimerkkikohteen 1 rakennettu bruttopinta-ala on 2620 (bm²). Kohde on 7 kerroksinen yksirappuinen pistetalo. Kohteessa on asuntoja 31 kappaletta, jotka ovat pääsääntöisesti kaksioita ja kolmioita. Kohteessa on paikalla rakennetut märkätilat, joita on 31 kappaletta. Esimerkkikohteen märkätilojen lattiapinta-alojen keskiarvo on 4,9 m² ja märkätilat ovat suorakulmion muotoisia, lähes neliöitä. Keskimääräisesti laskettuna märkätilojen seinistä 1 on betoniseinä ja loput 3 ovat levyseiniä. Keskiarvo betoniseinän pinta-alalle on 5,1 m². Esimerkkikohteen kaikkien märkätilojen betoniseinien yhteispinta-ala on 157,8 m². Keskiarvo levyseinän pinta-alalle on 6,0 m², jolloin märkätilan 3 levyseinää muodostaa yhden märkätilan levyseinän määräksi 18,0 m². Esimerkkikohteen kaikkien märkätilojen levyseinien yhteispinta-ala on 558,6 m². Esimerkkikohteeseen 1 liittyvät laskut löytyvät liitteestä 1.

Esimerkkikohteen 2 rakennettu bruttopinta-ala on 2800 (bm²). Kohde on 7 kerroksinen yksirappuinen pistetalo. Kohteessa on 47 asuntoa, jotka ovat pääsääntöisesti yksiöitä ja kaksioita. Kohteessa on modulaarisesti esivalmistetut märkätilaelementit, joita on yhtä monta kuin asuntoja (47 kpl). Märkätilaelementtien keskimääräinen lattian pinta-ala on 4,1 m². Esimerkkikohteen märkätilaelementtien ulkopuolisten levypintaisien seinien määrä keskimääräisesti on 2,6 kpl/elementti (ja 1,4 seinää on betoniseinää vasten).

Esimerkkikohteen 3 rakennettu bruttopinta-ala on 3773 (bm²). Kohde on 6 kerroksinen ullakollinen pistetalo. Kohteessa on asuntoja 46 kappaletta, jotka ovat pääsääntöisesti kaksioita ja kolmioita. Kohteessa on paikalla rakennetut märkätilat. Esimerkkikohteen märkätilojen lattiapinta-alojen keskiarvo on 4,35 m² (vaihtelevat 3–5 m².) Märkätilat ovat suorakulmion muotoisia. Keskimääräisesti laskettuna yhden märkätilan seinistä 1,8 on betonielementtiseiniä tai hormielementtejä ja loput 2,2 kevytbetonielementtiseiniä. Keskiarvo märkätilan betoniseinän pinta-alalle on 4,8 m², jolloin märkätilan 1,8 seinää muodostaa 8,6 m² alan. Tällöin esimerkkikohteen kaikkien märkätilojen betoniseinien yhteispinta-ala on 397 m². Keskimääräisesti laskettuna kevytbetonielementtiseinien pinta-ala on yhteensä 546,7 m². Kevytbetonielementeillä tehdään myös saunan nostot, joten kohteen määrälaskennan mukaan seiniä on 560 m². Esimerkkikohteeseen 3 liittyvät laskut löytyvät liitteestä 3.

Esimerkkikohde 4 on 2 osainen rakennus (talo 1 ja talo 2). Talon 1 rakennettu bruttopinta-ala on 5728 (bm²). Talo 1 on 8 kerroksinen asuinrakennus. Talo 1 on 103 asuntoa, jotka ovat pääsääntöisesti yksiöitä ja kaksioita. Kohteessa on modulaarisesti esivalmistetut märkätilaelementit, joiden lattiapinta-alat ovat 3,5 m². Talossa 2 on 36 asuntoa, jotka ovat yksiöitä sekä kaksioita. Talon 2 bruttoala on 2124 m². Myös talossa 2 on käytetty märkätilaelementtejä, joiden lattiapinta-ala on 3,5 m². Vertailua on helpompi toteuttaa pelkästään 1 talon osalta, koska 8 kerroksinen pistetalo on lähes samanlainen kuin muutkin esimerkkikohteet, mutta kaikkia lähtötietoja ei ole saatavissa pelkästään 1 talon osalta. Tästä syystä esimerkkikohdetta 4 tullaan analysoimaan aina kun pelkän 1 talon osalta on mahdollista ja yhdessä 1 ja 2 talojen osalta, jos vertailuarvoja suorituskyvystä on saatavilla vain molemmista.

Paikallarakennettavat märkätilat (esimerkkikohteet 1 ja 3) pitävät sisällään karkeasti 8 työkokonaisuutta: (1) betonipintojen jälkityöt, (2) kevyiden väliseinien asennukset (sisältää mahdollisten saunaelementtiseinien asennuksen), (3) kaatolattioiden valmistuksen, (4) laatoitus- ja vedeneristystyöt, (5) alakattotyöt, (6) Talotekniikkatyöt, (7) kalusteiden ja varusteiden asennukset sekä (8) mittaukset ja säädöt. Työvaiheiden sisältö voi hieman vaihdella runko- / välipohjatyypistä riippuen.

Valmistelevat työt paikalla rakennetussa märkätilassa alkavat jo runkovaiheessa. Runkovaiheessa runkokierron yhteydessä tulee nostaa kerrokseen kaikki väliseinämateriaalit

ja mahdolliset saunaelementit, jos kohteessa niitä käytetään. Väliseinämateriaaleille tulee suunnitella holvin tuentasuunnitelmassa niin, ettei materiaaliniput ole tulevien työvaiheiden tiellä, kuten väliseinien kohdalla, koska nippujen siirtely myöhäisemmässä vaiheessa aiheuttaa turhaa hukkaa.

Betonipintojen jälkitöissä hiotaan tarvittavat betonipinnat suoriksi, tehdään betonipintoihin tarvittavat paikkuu- ja täyttötöet sekä katkotaan ylimääräiset raudat. Myös virheellisten talotekniikkavarauksien korjaukset tehdään betonipintojen jälkitöissä. Betonipintojen jälkityöt vaativat hyvin vähän työntekijätunteja märkätilojen osalta, koska märkätilojen seinäpinta-alat ovat suhteellisen pieniä. Märkätilan betoniseinän jälkityön osalta riittää, kun jälkityöt tehdään vain 2,4 m korkeuteen, koska märkätiloihin tehdään alas laskettu paneelikatto, joka rajaa märkätilojen huonekorkeuden 2300 mm. Märkätilojen betonipintojen jälkitöissä on kuitenkin aina otettava huomioon märkätiloissa olevien betonipintojen laatu. Vedeneristys ei vaadi betonipinnasta sementtiliiman poistoa, mutta epätasainen pinta vaatii ylihionnan. Liian huokoinen tai epätasainen pinta taas vaatii ylitasoituksen märkätilatasoitteella, koska vedeneristys ja laatoitustyö vaatii sen.

Levyväliseinätyössä on tärkeää, että vesikatto on vedenpitävä ja kosteuden hallinta on hyväksyttävällä tasolla, ettei vesi pääse kastelemaan väliseinärakenteita. Kaikissa esimerkkikohteissa on käytössä ontelolaattavälipohjat. Tämä tarkoittaa sitä, että levyseinien tekeminen aloitetaan vasta kun vesikatto on valmis ja täysin vedenpitävä. Kohteessa, jossa käytetään ontelolaattaa välipohjaratkaisuna, levyseinien asennus on liian riskialtista aloittaa ennen kuin vesikatto on vedenpitävä, koska ontelolaattavälipohjat eivät ole vedenpitäviä. Esimerkkikohteessa 3 märkätilan kevyet väliseinät tehdään kevytsorabetonielementillä, jonka avulla väliseinien asennus pystytään aloittamaan ennen kuin vesikatto on vedenpitävä. Tällä tavalla märkätilan väliseinät ovat jo asennettu, ennen kuin levyväliseiniä päästään aloittamaan.

Märkätilojen kaatolattian valaminen voidaan aloittaa joko enne tai jälkeen väliseinäasennuksia, riippuen hankkeen työvaiheiden järjestyksestä. Kaatolattioiden valaminen voidaan tehdä joko säkkitavaralla tai pumppaamalla. Kaatolattioihin yleensä asennetaan keskitetty rauditusverkko, johon asennetaan lattian mukavuuslämmitys. Työvaiheessa on varmistettava, ettei verkkoon kiinnitettävä lämmityskaapeli ole liian korkealla, jotta riittävä betonipeite täyttyy. Ongelmana voi olla esimerkiksi liian monta risteävää verkkoa, jolloin kaapeli ei peity betonivaluun. Kaatolattioiden kaadot luovat omat haasteensa. On

varmistettava, että riittävä kaato täyttyy kauttaaltaan, mutta myös ettei suunnitelmissa ole liian jyrkkiä kaatavia kohtia, jotka aiheuttavat liukastumisen vaaran.

Märkätilojen kaatolattian paksuus on 170 mm. Kaatolattia ei ole kauttaaltaan saman vahvuinen, koska kaatolattiaan on tehtävä kaadot lattiakaivoille, mutta vahvin kohta lattiasta on kriittisin kohta kuivumisen kannalta. Tästä syystä laatta ajatellaan olevan 170 mm kauttaaltaan. Kaatolattian kuivuminen vie useamman viikon, koska lattia pääsee kuivumaan vain toiseen suuntaan, koska lattia valetaan ontelolaatoissa olevaan syvennykseen. Kuivumisen nopeuteen voidaan vaikuttaa valettavan massan laadulla sekä kuivumisolosuhteiden hallinnalla, esimerkiksi kosteuden kerääjät nopeuttavat kuivumista. Esimerkiksi maakostea betoni kuivuu yli kaksi kertaa nopeampaa kuin normaali betoni, koska siinä on vesi-sementtisuhte alle 0,45 (Ecofloor luettu: 24.4.2022) ja kosteuden kerääjät ja ilman vaihto nopeuttaa tehokkaasti kuivumista entisestään. Ecofloor on määritellyt sivuillaan maakostean betonin kuivumisajaksi 4 viikkoa.

Laatoitus- ja vedeneristystyö on kokonaisuudessaan iso työvaihe, joka tahdistuu kuiva-tilojen tasoite- ja maalaustyön sekä parkettiasennuksen väliä. Työvaiheet voivat kulkea samassa kerroksessa, jos riittävästä pölyntorjunnasta ja suojauksista on huolehdittu, eikä työvaiheet ole samassa huoneistossa, mutta vaatii tällöin erittäin aktiivista johtamista. Työvaihe vaatii paljon haalaustöitä ja välivarastointia, sillä tasoitteet, vedeneristystuotteet, kiinnityslaastit sekä laatat joudutaan viemään kerrokseen välivarastoon työvaiheen alussa. Välivarastointia vähentää oikeanaikaiset kerroskohtaiset toimitukset, mutta lisäävät logistiikkakustannuksia. Laatoituksen jälkeen tulee vesijohtojen asennukset, alas laskettujen kattojen teko, saunojen viimeistely sekä kalusteiden ja varusteiden asennukset.

Alakattotyöt tehdään märkätiloissa paneelialakattotyönä. Samaan aikaan tehdään saunan seinien panelointi, jos kohteessa on myös paikallarakennetut saunat. Märkätilakalusteiden ja -varusteiden asennukset pitävät sisällään pääsääntöisesti peilikaapin, käsiensuualtaan, suihkuseinän/-verhokiskon asennuksen, wc-paperitelineen ja pyyhkekoukkujen asennuksen. Talotekniikan asennukset vaihtelevat kohteisiin valitun talotekniikan mukaan, eikä asennuksista ole saatavilla selkeitä työsaavutuksia, joka vaikeuttaa talotekniikan vertailua huomattavasti.

Märkätilaelementtien käyttö hankkeessa pitää sisällään huomattavasti vähemmän työvaiheita kuin perinteinen tapa. Käytöstä aiheutuu seuraavat työvaiheet: märkätilaelementin asennuksen ja asennuksen lisätyöt, talotekniikan liitostyöt sekä ulkopuolisen levytyksen ja reunavalun. Märkätilaelementtien asennus voidaan toteuttaa runkokierron yhteydessä tai jälkiasenteisena. Tilaelementit pyritään asentamaan suoraan kuljetusauton kyydistä, niin kuin muutkin elementit ja vain tarvittaessa käytetään välivarastointia. Tilaelementin myötä märkätilan seinän kohdalta betonipintojen jälkityöt voidaan jättää pois, jolloin ei tarvitse yli tasoittaa tai hioa betonin pintaa laatoituspohjalle. Märkätilaelementtien urakkaraja kulkee elementin ulkopinnassa.

Talotekniikan nousujen liitokset kuuluvat joko märkätilaelementtitoimittajan urakkaan ja tarvittaessa reunavalumuottien valmistaminen sekä asentaminen. On myös mahdollista, että talotekniikka urakoitsijan urakkaan on sisällytetty talotekniikan liitokset. Märkätilaelementtien puute- ja korjaustyöt kuuluvat elementtitoimittajalle, joka tarkoittaa työmaalle vain yhtä sopimuskumppania korjaustöistä. Märkätilaelementit ovat iso kokonaisuus, joten puutteiden ja virheiden korjaukseen tulee varata hyvin aikaa, jotta ei menetetä elementtirakentamisen tuomaa etuutta tuotantoajan nopeuttamisesta.

Märkätilaelementin reunavaluissa elementin ja kololaatan väli raudoitetaan ja valetaan betonilla. Reunavalun pääasiallinen tarkoitus on sitoa elementti lattiarakenteeseen, jolloin se ei ole rakenteellinen valu. Joissain asennusratkaisuissa, esimerkiksi kuiluasenteisessa, reunavalut ovat rakenneteknisesti kuormaa siirtäviä betonirakenteita, joten niiden reunavalu vaatii erityistä valvontaa. Reunavalun kuivuminen on tahdistava sen päälle tulevalle pinnoitteelle tai lattiatasoitteelle. Kololaattaan tulevan reunavalu ei ole rakenneteknisesti kriittinen, jonka vuoksi valun paksuutta pystytään pienentämään, jolloin kuivumisaika on pienempi. Sisävaiheessa märkätilaelementti vaatii ulkopuolisen levytyksen, joka pitää sisällään mineraalivillaeristyksen asennuksen, 2 kertainen toisen puolisen kipsilevytyksen ja levyjen sekä betonipintojen saumauksen, eli katon tai seinän liitoskohtien saumat saumataan elastisella saumamassalla.

4.3 Tutkimuksien toteutukset ja niiden liittyminen toisiinsa

Tutkimuksen suorituskykyvertailun aineisto on kerätty toteutuneiden esimerkkihankkeiden datasta, kuten hankkeiden aikatauluista, toteutuneista kustannuksista ja hankkeiden rakentamisprosessien raporteista. Määrällinen aineisto on vertailtavissa keskenään. Määrällistä aineistoa on muun muassa esimerkkihankkeiden kustannusdata, toimittajien arviointipalautteet, hankinta- ja sopimustiedot sekä jäteraporttien data. Laadullinen aineisto tulee pyrkiä muuttamaan määrälliseen muotoon tai muuten vertailtavaan muotoon, jotta se on helpommin vertailtavissa esimerkkikohteiden kesken.

Suorituskykyvertailussa tuotantonopeuksia ja resurssitarpeita, pystytään analysoimaan ja vertailemaan kohdeyrityksessä käytettävällä aikataulun laadintatyökalun Control Schedule Planner -ohjelman avulla. Control -tiedostot pitävät sisällään projektin aikataulun, resurssisuunnitelman ja määräluettelon. Kun projektien aikataulut ovat laadittu ohjelmalla oikein, eli määrät ja resurssit ovat päivitetty vastaamaan todellisuutta, ohjelmasta saadaan kuhunkin työvaiheeseen kulunut työaika, tarvittu resurssimäärä ja yksikökohtainen työmenekki. Jos projektin aikataulutiedostossa (Control -tiedostossa tai muussa aikataulutiedostossa) on vain aikataulukaavio, eikä siitä selviä esimerkiksi tarvittuja resursseja tai työvaiheen työmenekkejä. Työtehtävien keston ja resurssitarpeiden arviointi voidaan tehdä myös joko oletetuilla arvoilla esimerkiksi aikataulukirjan (Talorakennusteollisuus ja Rakennustietosäätiö 2015) antamilla arvoilla tai mahdollisesti aikaisemman kokemuksen perusteella arvioituilla arvoilla.

Arviointitavasta riippumatta arvioidessa työmenekkiä on hyvä huomioida eri työryhmien ammattitaito ja tehokkuus, sillä eri työryhmien tai henkilöiden välillä voi olla suuriakin eroja. Lisäksi on hyvä huomioida, että tehollinen aika on usein eri kuin projektissa käytävissä oleva kokonaisaika, koska projektin kuluessa tulee kaikenlaisia ennakoitavissa olevia ja ennakoimattomia keskeytyksiä, kuten sairauksia, lomaa, kokouksia, koulutuksia, siirtymiä paikasta toiseen, puheluita ynnä muuta sellaista, joiden vuoksi henkilöstön keskimääräiseksi todelliseksi työtehoksi kokonaistyöajasta voidaan arvioida noin 70 %. (Artto, Martinsuo, ja Kujala 2006). Näin ollen voidaan olettaa, että työryhmän työtehon ollessa yli 80 %, työtehtävä on projektin yksi pullonkauloista ja riski projektin viivästyisestä työtehtävän viivästyminen takia on suuri (Stevenson 2018).

Laatua, erityisesti kovaa laatua analysoidessa keskitytään arvioimaan valmiin märkätilan virheettömyyttä, eli estetiikkaa, toimivuutta sekä luotettavuutta. Valmiin märkätilan turvallisuutta ei ole pystytty saatavilla lähtötiedoilla vertailemaan. Oletuksena on, että valmis märkätila on käyttäjälle aina turvallinen. Rakennusaikaista turvallisuutta pystytään arvioimaan turvallisuusraporttien avulla, joita käsitellään sosiaalisen vaikutuksen yhteydessä.

Virheettömyyttä pystytään arvioimaan esimerkiksi reklamaatioiden, jälkikorjauksien sekä vika- ja puutelistojen virheiden määrästä. Valitettavasti näitä lähtötietoja ei ole saatavilla esimerkkikohteisiin. Esimerkkikohteet ovat tehty vanhaan järjestelmään ja kyseisten lähtötietojen saaminen uudesta järjestelmästä ei onnistunut. Tästä syystä reklamaatioiden ja virheiden määrät ja erot kohteiden välillä tulee selvittää haastattelututkimuksen kautta. Edellä mainitut havainnot ja reklamaatiot tehdään henkilöstön toimesta, jolloin niiden luonnissa ja kynnyksessä luoda havaintoja on selkeitä eroja. Myös tästä syystä havaintojen määrää ja laatua tulee arvioida havaintokohtaisesti haastattelututkimuksen avulla. Tarkoituksena on suodattaa tutkimuksen tuloksien kannalta epäolennaiset havainnot pois, jotta vältetään virheellisiltä tulkinnoilta.

Toimittajien (materiaalitoimittajien ja aliurakoitsijoiden) tuotteiden ja toiminnan laatua pystytään arvioimaan tutkimustyön tilaajan teettämän palautearvioiden avulla. Toimittajien palvelujen ja tuotteiden laatua on arvioitu 4:lla eri laatumittarilla, jotka ovat: (1) toimittajien tuotteiden ja toiminnan laatu, (2) työnjohto, (3) reklamaatioihin reagointi sekä (4) työturvallisuusmääräyksien ja ohjeiden noudattaminen. Toimittajien palautearviot ovat kerätty useammasta hankkeesta, eikä niitä ole mahdollista järjestelmässä suodattaa kohdistumaan juuri esimerkkikohteisiin. Tästä syystä toimittajien arviot tulee todentaa vielä erikseen haastattelututkimuksessa.

Märkätilaan liittyvien asennuksen haasteellisuutta tai häiriöiden tuottavuutta, ei pystytä yksiselitteisillä mittareilla mittaamaan, joten nämä ominaisuudet selvitetään haastattelututkimuksessa. Pehmeää laatua pystytään tarkastelemaan pääasiassa vain toimittajien vuorovaikutuksien kautta, jotka on myös selvitettävä haastattelututkimuksessa. Pehmeää laatua ovat muun muassa: toimittajien avuliaisuus (miten toimittaja jakoi osaamistaan ja tukea työmaaorganisaatiota); tarkkaavaisuus (huomauttiko toimittaja, jos suunnit-

telmissä oli puutteita sekä miten toimittaja reagoi suunnitelmissa oleviin virheisiin); viestintä (oliko toimittaja helposti tavoiteltavissa ja vastasivatko toimittajat nopeasti viesteihin); ystävällisyys sekä kohteliaisuus (eli yhteistyön yleistä toimivuutta).

Luotettavuutta (toimituslupauksien pitämistä), eli asiakkaalle annetun toimitusajan kunnioittamista ja toimitusnopeutta on haastava mitata määrällisillä mittareilla niin, että se on yleistettävissä, koska toimitukseen liittyy monta muuttujaa. Tästä syystä haastattelututkimusta tulee hyödyntää täydentämään sekä todentamaan suorituskykyvertailun tuloksia, jolloin tuloksista saadaan yleistettävämpiä.

Toimittajien (sekä materiaalitoimittajien että aliurakoitsijoiden) toimitusajan kunnioittamista pystytään arvioimaan tutkimustyön tilaajan teettämistä palautearviosta. Aikataulujen noudattaminen on yksi palautteissa arvioiduista osuuksista. Tässä on hyvä huomioida, että palautearviot ovat kerätty useammasta hankkeesta, eikä niitä ole mahdollista järjestelmässä suodattaa kohdistumaan juuri esimerkkikohteisiin. Myös tästäkin syystä palautearviot tulee todentaa haastattelututkimuksessa.

Toimitusnopeutta pystytään arvioimaan kahdesta eri näkökulmasta. Toinen näkökulma on materiaalin toimitusaika, joka määräytyy pitkälti materiaalin saatavuudesta. Perustuotteiden saatavuus on paljon nopeampi kuin joidenkin erikoistuotteiden, joka pitää ottaa huomioon aina tilausta tehdessä. Toimitusajan lisäksi on otettava huomioon myös hankintaprosessin viemä aika, joka vaihtelee hankittavasta tuotteesta. Toinen näkökulma on toimittajan nopeus, joka määräytyy toimittajan resurssien saatavuudesta ja joustavuudesta sekä palvelun luonteesta. Myös tässä on otettava huomioon hankintaprosessin viemä aika. Joissakin tapauksissa toimitukseen kuuluu sekä materiaali (tuote) että työ (palvelu), jolloin pitää ottaa molemmat näkökulmat huomioon ja niiden muuttujat.

Joustavuutta, eli muutosmahdollisuuden helppoutta, nopeutta ja kustannustehokkuutta pystytään analysoimaan ja vertailemaan aikataulujen perusteella. Joustavuus heikkenee sitä myöden, kun työvaiheet valmistuvat. Tästä voidaan tehdä oletus, että märkätilan joustavuus on yhtä huono paikallarakennettuna kuin tilaelementillä tehtynä, kun tila on valmis. Tämä oletus tulee todentaa haastattelututkimuksessa.

Työmenetelmien taloudellisia vaikutuksia, eli hankkeen kustannuksia pystytään analysoimaan ja vertailemaan litteroista, tavoitemääristä ja sopimusasiakirjoista saaduista lähtötiedoista. Hankkeissa on käytetty työnositteluita helpottamaan projektien talouden hallintaa. Yhtenä ositteluna on käytetty tehtäväpohjaista jaottelua "WBS" (Work Breakdown Structure), jossa ositetaan rakennusprosessin toiminnot työtehtäväkokonaisuuksiksi. Tehtäväkokonaisuuksille kohdistuvat kustannukset ositellaan myös kustannuspohjaisella jaotuksella. Kustannuspohjaisen osituksen, eli "CBS":n (Cost Breakdown Structure) avulla työtehtävälle kohdistuvat kustannukset voidaan jakaa omille "litteroille" ja litteroiden sisällä esimerkiksi materiaali- ja työkustannuksiin. (Yoon, Tamer, ja Hastak 2015.) Tällä tavoin pystytään vertailemaan kustannusdataa hankkeiden välillä. Kustannus- tai tehtäväpohjaiset ositukset voivat sisältää alueellisia eroja. Tästä syystä on hyvä, että osa vertailtavista kohteista ovat samalta alueelta. Lisäksi kustannukset tulee suhteuttaa rakennuksen kokoon esimerkiksi bruttoneliöiden perusteella, jolloin ne ovat keskenään vertailukelpoisia.

Sosiaalista vaikutusta, eli työntekijöiden terveyttä ja turvallisuutta pystytään analysoidaan ja vertailemaan, esimerkiksi turvallisuusraporttien avulla. Raporteista löytyy turvallisuushavaintoja, tapahtuneet tapaturmat ja vaaralliset läheltä piti tilanteet. Märkätilan turvallisuushavainnot tulee arvioida havaintokohtaisesti, jotta tutkimuksen kannalta epärelevantit havainnot saadaan suodatettua pois ja tuloksia pystytään vertailemaan keskenään. Myös työturvallisuus litterat antavat suuntaa, paljonko turvallisuuteen on kyseisellä työmaalla käytetty rahaa. Raporteista märkätilojen turvallisuutta ei pystytä täysin arvioimaan, vaan haastattelututkimuksessa tulee selvittää tarkemmin, mitä toimenpiteitä turvallisuuden varmistamisessa on käytetty ja mitä turvallisuuteen liittyviä muita huomioita projekteissa oli.

Ympäristövaikutuksia, eli jätteen, saasteen, melun ja hukan määrä pystytään määrällisesti vertailemaan esimerkiksi jätehuollosta vastaavan osapuolen raporteista, joista nähdään projektilla kertyneiden jätteiden määrät. Alhaisempi jätteen määrä, viittaa myös alhaisempaan jätteiden käsittely kustannuksiin ja hukkaan. Jätehuollon kustannukset pystytään analysoimaan tarkemmin litteroista. Hukkaa taas pystytään tarkemmin analysoidaan määräluetteloa ja tilauksia vertailemalla. Logistiikan kustannukset ja toimituksien määrät löytyvät tilauksista.

Haastattelututkimuksen tarkoituksena, eli tutkimustehtävänä on kerätä tietoa haastateltavien asiantuntijoiden ajatuksista, kokemuksista ja toimintatavoista. Haastattelututkimuksessa keskitytään laajemman analyysiin tekemiseen, kuten selittämään syvällisemmin tutkimuksessa käsiteltäviä havaintoja ja havaintojen yleistettävyyttä. Haastattelututkimukset toteutettiin asiantuntijahaastatteluina, jotka noudattivat haastattelumenetelmänä osittain teemahaastattelua ja puolistrukturoitua haastattelua (Hirsjärvi ja Hurme 2008). Haastattelujen kysymyksien aihealueet, eli teemat ja kysymykset olivat ennalta määriteltäviä, jotka ohjasivat haastattelua haluttuun suuntaan.

Haastatteluissa käytettiin lähestymistapana aktiivista vuorovaikutusta, jossa sekä haastateltava että haastattelija keskustelivat aiheesta aktiivisesti. Tällä tavoin pystyttiin kannustamaan haastateltavaa selittämään tutkituttavaa asiaa syvällisemmin. Aktiivinen vuorovaikutus lähestymistapana vaati aiheeseen syventymistä ennen haastatteluja, jotta haastateltavilta osattiin kysyä täsmentäviä kysymyksiä, kyseenalaistamaan toimintatapoja ja kannustamaan haastateltavaa esittämään perusteluja vastauksiin. (Alastalo, Åkerman, ja Vaittinen 2017.)

Haastattelututkimuksen lopullinen suunnittelu ja toteuttaminen vasta tutkimuksen lopussa tukee myös tavoitetta täydentää tutkimuskysymyksiä, johon tarvittiin kirjallisuuskatsauksen ja suorituskykyvertailun jälkeen enemmän täydentävää ja tarkentavaa tietoa. Haastattelututkimusta käytetään tarkentamaan suorituskykyvertailun teemoja, kuten laatuhavaintojen määrät ja luonteet; toimittajien palautearvioiden luotettavuus ja yleistettävyyt; toimittajien palvelun laatu; joustavuuden ja turvallisuuden todentamiset.

Haastateltavien valinta toteutetaan harkinnanvaraisella tarkoituksenmukaisella valinnalla, koska haastattelututkimuksessa halutaan saada täydentäviä, monipuolisia ja syvällisiä näkemyksiä tutkittavista esimerkkikohteista ja tutkimuksen havainnoista. Tutkimukseen valitaan asiantuntijoita, joilla on kokemusta jostakin esimerkkikohteesta ja/tai saman tyyppisistä muista kohteista, jotka sijaitsevat esimerkkihankkeiden alueilla. Tällöin varmistetaan, että haastateltavien asiantuntijoiden toimintatavat vastaavat esimerkkihankkeiden toimintatapoja ja ovat keskenään vertailtavissa. Toinen valintakriteeri asiantuntijoista on, että valittujen asiantuntijoiden tulee olla monipuolisesti eri työtehtävistä. Kriteerillä varmistetaan, että saadaan riittävän kattavasti ja monipuolisesti näkemyksiä tutkittavasta aiheesta.

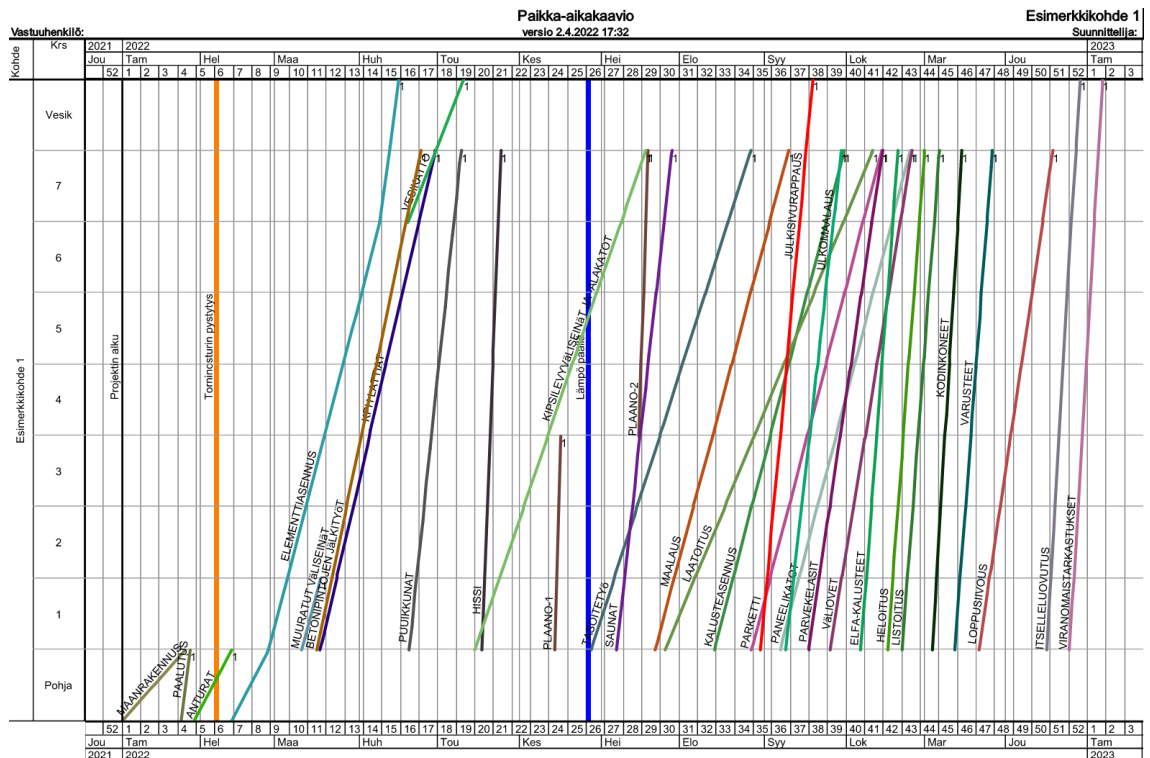
Osa asiantuntijoiden haastatteluista toteutetaan yksin ja osa ryhmähaastatteluna. Ryhmähaastattelut valitaan tutkimukseen mukaan, koska ryhmähaastattelulla säästetään haastateltavien kiireistä aikataulua sekä ryhmähaastattelu on hyvä mahdollisuus saada vaikutuksia samasta esimerkkitilanteesta vuorovaikutuksellisesti ja moniäänisesti, jolloin saadaan laajempi kuva esimerkkitilanteesta. Onnistuneessa ryhmähaastattelussa saadaan rikasta aineistoa eri tehtäväkuvan näkökulmista monipuolisesti esimerkkitilanteesta. Ryhmähaastattelu tehdään 2 henkilön pienryhmähaastatteluna, jolloin vältetään ryhmähaastattelun yleiseltä haasteelta, jotka ovat saada kaikkien osallistujien näkökulmat tasa-arvoisesti esiin ilman liiallisia vinoumia. (Pietilä 2017.)

Haastateltavien henkilöllisyys ja titteli pidetään salaisena, jotta haastattelujen kynnys on pienempi, eikä henkilöllisyystiedot ole relevantteja tämän tutkimuksen kannalta. Ryhmähaastatteluiden puheenvuoroja ja yksittäisten haastattelujen vastauksia käsitellään samassa kontekstissa, koska ryhmähaastattelu toteutettiin pienessä ryhmässä, eikä ryhmähaastattelu tilanne eronnut merkittäväällä tavalla yksittäisen henkilön haastattelusta (Koskinen, Alasuutari, ja Peltonen 2005). Haastattelututkimus ei ole primääridatana tässä tutkimuksessa, joten tutkimustuloksien laadun kannalta ei ole tarvetta toteuttaa syvällistä keskustelun analysointia. Litteraation tasoksi riittää haastatteluiden yleiskuvan (faktojen, näkemysten ja tulkintojen) käyttäminen tutkimuksessa. (Koskinen, Alasuutari, ja Peltonen 2005.)

5. SUORITUSKYKYVERTAILU

5.1 Tuotantonopeus ja resurssitehokkuus

Esimerkkikohte 1 on toteutettu kuvan 1. yleisaikataulun mukaisesti. Aikataulun aloitus- ja lopetusajankohta on muutettu, mutta työtehtävät ja niiden kestot ovat samat. Aikataulutiedosto ei pitänyt sisällä resurssisuunnitelmaa, joten myös tarvittavat resurssit arvioidaan tässä kappaleessa aikataulukirjan (Talonrakennusteollisuus ja Rakennustietosäätiö 2015) työmenekkien mukaan. Aikataulukirjan menekit löytyvät liitteestä A.



Kuva 1. Esimerkkikohte 1. yleisaikataulu

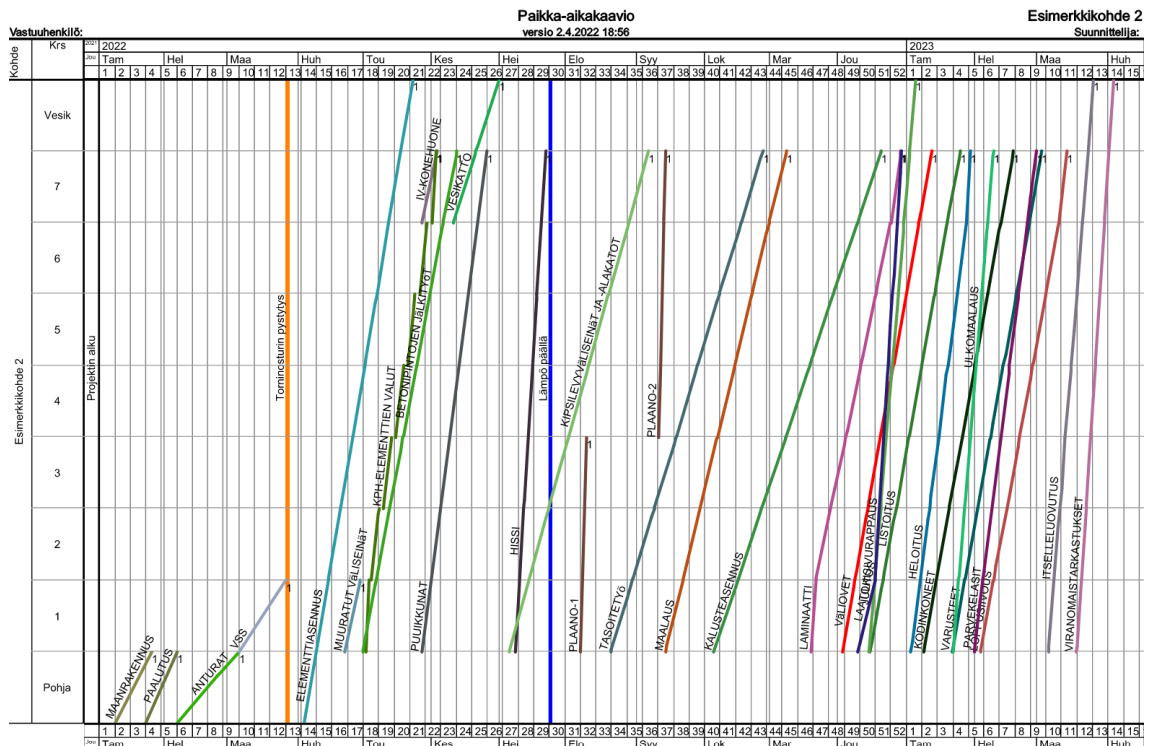
Esimerkkikohteen runkoviheelle (1. kerros–vesikatto) on varattu 10,5 viikkoa, eli 52,5 työvuoroa. Elementtien asennustyöt on suunniteltu 1 viikko per kerros tahdilla (7 viikkoa), jonka lisäksi vesikatolle on suunniteltu 3,5 viikkoa. Esimerkkikohteen sisävaihe, vesikaton valmistumisesta viranomaistarkastuksiin, on suunniteltu kestävän 34,5 viikkoa, eli 172,5 työvuoroa.

Märkätilojen kaatolattiat tehdään samaan aikaan elementtiasennuksen kanssa runkovaiheessa. Märkätilojen kaatolattiat tehdään 6 työvuoron puskurilla kerroksen elementtiasennukseen nähden, eli suurin piirtein samoihin aikoihin betonipintojen jälkityön kanssa. Vesikaton kanssa samaan aikaan tehdään puuikkunoiden asennukset, jolloin puuikkunoiden asennukset eivät ole tahdistavana työvaiheena. Betonipintojen jälkitöitä arvioidaan vain märkätilojen osalta, joten työ sisältää hionnan lisäksi myös yli tasoituksen. Levyväliseinä ja -alakattotyöt alkavat heti vesikaton valmistuttua, joka jättää 4 viikon välin rungon valmistumisesta. Märkätilakalusteille ja varusteluiden asennuksille ei yleis-aikataulussa ole tehty tehtäväkokonaisuutta, mutta työntekijätunnit ovat laskettu suunnitelmien perusteella. Taulukossa 5. on laskettu kohteen lähtötiedoilla resurssitehokkuuden arviointia varten rakennusvaiheiden työntekijätunnit, joita verrataan lopussa muihin esimerkkikohteisiin.

Taulukko 5. Esimerkkikohteen 1. resurssitarpeet työntekijätunteina

Esimerkkikohteen 1				
Märkätilat	31 kpl			
Lattian ka. pinta-ala	4,9 m ²			
Seinän ka. pinta-ala	23,1 m ²			
Betoseinän ka. ala	5,1 m ²			
Levyseinän ka. ala	18,0 m ²			
Työvaihe:	1 kph	kaikki kph		
1	0,77 tth	24 tth		
2	8,02 tth	249 tth		
3	1,14 tth	35 tth		
4	3,09 tth	96 tth		
5	15,18 tth	471 tth		
6	3,02 tth	94 tth		
7	1,78 tth	55 tth		
YHT:	32,99 tth/kph	1023 tth/kohde		
Betonipintojen jälkityöt kph:n	24 tth			
Levyväliseinät	959 tth			
Levyalakatot ja kotelot	296 tth			
laatoitus- ja vedeneristystyö	531 tth			
paneelikatot	94 tth			
kalustus	55 tth			
yht:	1959 tth	0,75 tth/bm²		
		määrä/krs	menekki asennus	menekki lisätyöt
ulkoseinäelementti	20	26 tth/krs	11,4 tth/krs	
väliseinäelementti	25	36,25 tth/krs	14,25 tth/krs	
porras-elementti	2	2,7 tth/krs	26 tth/krs	
porras-/massivilaatta	3	1,65 tth/krs	1,95 tth/krs	
parvekelaat	7	9,45 tth/krs	5,95 tth/krs	
parvekepielet	4	2,2 tth/krs	3 tth/krs	
ontelolaat	44	12,32 tth/krs	19,8 tth/krs	
hormielementit	9	13,5 tth/krs	5,85 tth/krs	
tth yht		104,1 tth/krs	82,4 tth/krs	
tv yht		4,3 tv/krs	5,1 tv/krs	
yht		tv/krs	tv/krs	
krs lkm	7	728,49 tth	576,45 tth	
yht		1304,94 tth		

Esimerkkikohde 2 on toteutettu kuvan 2. yleisaikataulun mukaisesti. Aikataulun aloitus- ja lopetusajankohta on muutettu, mutta työtehtävät ja niiden kestot ovat samat. Aikataulutiedosto ei pitänyt sisällä resurssisuunnitelmaa, joten myös tarvittavat resurssit arvioidaan tässä kappaleessa aikataulukirjan (Talonrakennusteollisuus ja Rakennustietosäätiö 2015) työmenekkien mukaan. Aikataulukirjan menekit löytyvät liitteestä A.



Kuva 2. Esimerkkikohteen 2. yleisaikataulu

Esimerkkikohteen runkovaiheelle (1. kerros–vesikatto) on varattu 12 viikkoa, eli 60 työvuorua. Elementtien asennustyöt on suunniteltu 1 viikko per kerros tahdilla (7 viikkoa), jonka lisäksi vesikatolle on suunniteltu 3 viikkoa. Esimerkkikohteen sisävaihe, vesikaton valmistumisesta viranomaistarkastukseen, on suunniteltu kestävän 40 viikkoa, eli 200 työvuorua.

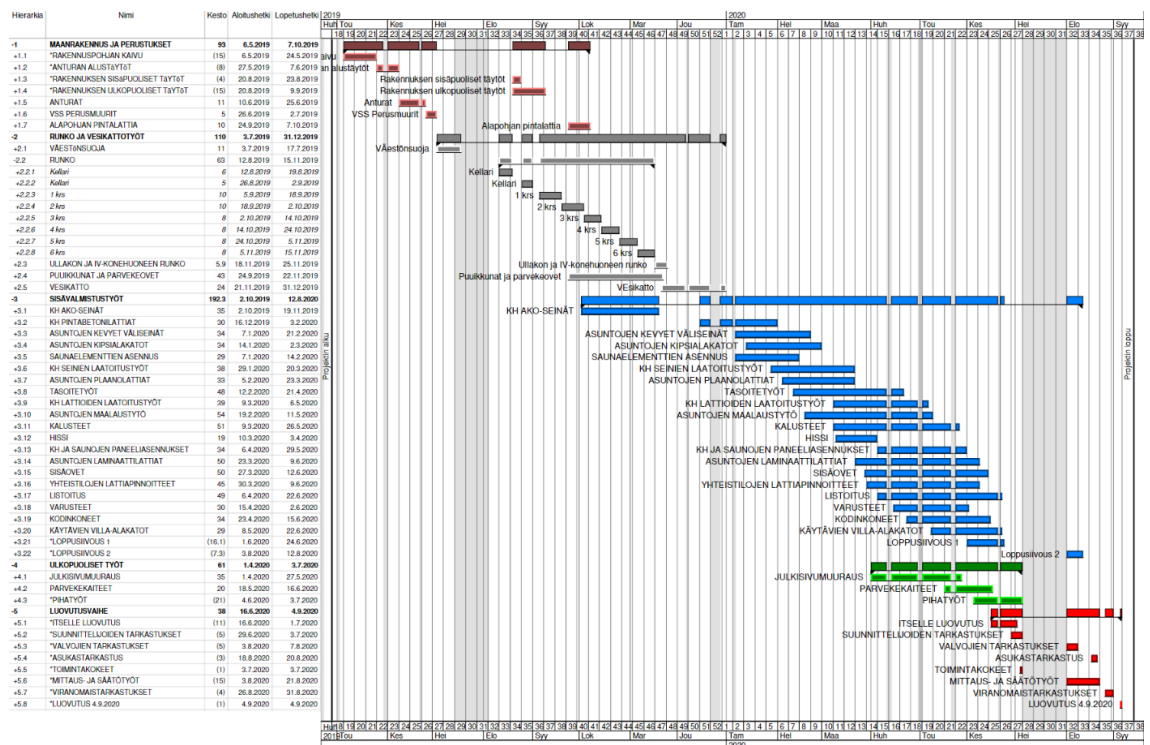
Märkätilaelementin vaikutus elementiasennukseen työmenekiltään on 8 työntekijätuntia per kerros eli 3 henkilön asennusryhmältä 0,3 työvuorua. Kun asennukseen lisätään elementtien vastaanotto, mittaus ja juotos, jotka ovat yhteensä 0,5 työvuorua per kerros 2 henkilön apuryhmältä. Voidaan todeta, että märkätilaelementtien asennus, ei ole merkittävä lisäkuormitus työryhmän työkokonaisuuteen ja se pystytään toteuttamaan samankokoisella työryhmällä kuin esimerkkikohde 1:ssä. Betonipintojen jälkityöt voidaan jättää

tekemättä märkätilaelementtien kohdalta, jolloin sitä ei tarvitse huomioida resurssitarpeissa. Levyseinien tekeminen aloitetaan 5 viikkoa rungon valmistumisesta. Märkätilaelementtien ulkopuolisen levytystyön laskennallinen työmenekki on 0,355 tth/m². Ulkopuolinen levytyö pitää sisällään mineraalivillaeristys k400 + 2-kertainen toisen puolinen kipsilevytyö + siivous ja suojaus. Lisäksi levyjen ja betonipintojen sauman (eli katon tai seinän liitoskohdat) saumataan elastisella saumamassalla. Taulukossa 6. on laskettu kohteen tiedoilla resurssitehokkuuden arviointia varten rakennusvaiheiden työntekijätunnit, joita verrataan lopussa muihin esimerkkikohteisiin.

Taulukko 6. Esimerkkikohteen 2. resurssitarpeet työntekijätunteina

Esimerkkikohte 2			määrä/krs menekki asennus			menekki lisätyöt		
Märkätilat	47 kpl		Ulko.elem.	17	22,1 tth/krs	9,69 tth/krs		
Reunavali	0,8 m ²		väli.elem.	22	31,9 tth/krs	12,54 tth/krs		
Seinän ka. pinta-ala	21,0 m ²		porraselem.	1	1,35 tth/krs	0,65 tth/krs		
Betoseinän ka. ala	6,8 m ²		porrastaso/mass.	3	1,65 tth/krs	1,95 tth/krs		
Levyseinän ka. ala	14,2 m ²		parvekeläät	7	9,45 tth/krs	5,95 tth/krs		
Työvaihe:	1 kph	kaikki kph	parvekepiel	3	1,65 tth/krs	2,25 tth/krs		
1	1,20 tth	56 tth	ontelolaat	51	14,28 tth/krs	22,95 tth/krs		
2	5,03 tth	237 tth	Hormielem.	6	9 tth/krs	3,9 tth/krs		
3	0,18 tth	8 tth						
YHT:	6,41 tth/kph	301 tth/kohde	yht	91,4 tth/krs	59,9 tth/krs	3,8 tv/krs	3,7 tv/krs	
				(3+0+1)		(2+0)		
Levyväliseinät kph:n ulkopuol.	261 tth		KPH	8	8 tth/krs	11,7 tth/krs		
Levyväliseinät	308 tth				0,3 tv/krs	0,5 tv/krs		
Levyalakatot ja kotelot	292 tth		yht	4,1 tv/krs	4,2 tv/krs			
			krs lkm	7	639,66 tth	419,16 tth		
yht:		862 tth 0,30 tth/bm ²	yht	1058,82				

Esimerkkikohde 3 on toteutettu kuvan 3. yleisaikataulun mukaisesti. Aikataulun aloitus- ja lopetusajankohta on muutettu, mutta työtehtävät ja niiden kestot ovat samat. Aikataulutiedosto ei pitänyt sisällä resurssisuunnitelmaa, joten myös tarvittavat resurssit arvioidaan tässä kappaleessa aikataulukirjan (Talonrakennusteollisuus ja Rakennustietosäätiö 2015) työmenekkin mukaan. Aikataulukirjan menekit löytyvät liitteestä A.



Kuva 3. Esimerkkikohteen 3. yleisaikataulu

Esimerkkikohteen runkovaiheelle (1. kerros–vesikatto) on varattu 17,4 viikkoa, eli 87 työvuorua. Elementtien asennustyöt on suunniteltu 8–10 työvuorua per kerros tahdilla (n. 2 viikkoa per kerros), jonka lisäksi vesikatolle on suunniteltu noin 5 viikkoa (24 työvuorua.) Esimerkkikohteen sisävaihe, vesikaton valmistumisesta viranomaistarkastuksiin, on suunniteltu kestävän 40 viikkoa, eli 200 työvuorua.

Ako-seinien asennustyöt (Ako-seinät tarkoittavat märkätilojen kevytsorabetonielementti väliseiniä) aloitetaan jo runkovaiheessa samaan aikaan, kun 4 kerroksen runko. Tämä tarkoittaa, että märkätilaseiniä päästään tekemään 13 viikkoa ennen kuin vesikatto on valmis. Verrattuna esimerkkikohteisiin 1 ja 2 ero märkätilaseinien aloitukselle on 17 viikkoa. Märkätilojen osalta betonipintojen jälkityöhön kuuluu hionta ja yli tasoitus märkätila-

tasoitteella. Ako-seinät ovat myös betonisia, joten märkätilan kaikki seinät ovat betoni-seiniä. Huonoimmassa skenaariossa kaikki seinät joudutaan hiomaan ja ylitasoittamaan. Märkätilakalusteille ei ole tehty aikataulutehtävää, mutta käytetään samaa työmenekkiä kuin esimerkikohde 1:ssä. Taulukossa 7. on laskettu kohteen tiedoilla resurssitehokkuuden arviointia varten rakennusvaiheiden työntekijätunnit, joita verrataan lopussa muihin esimerkikohteisiin.

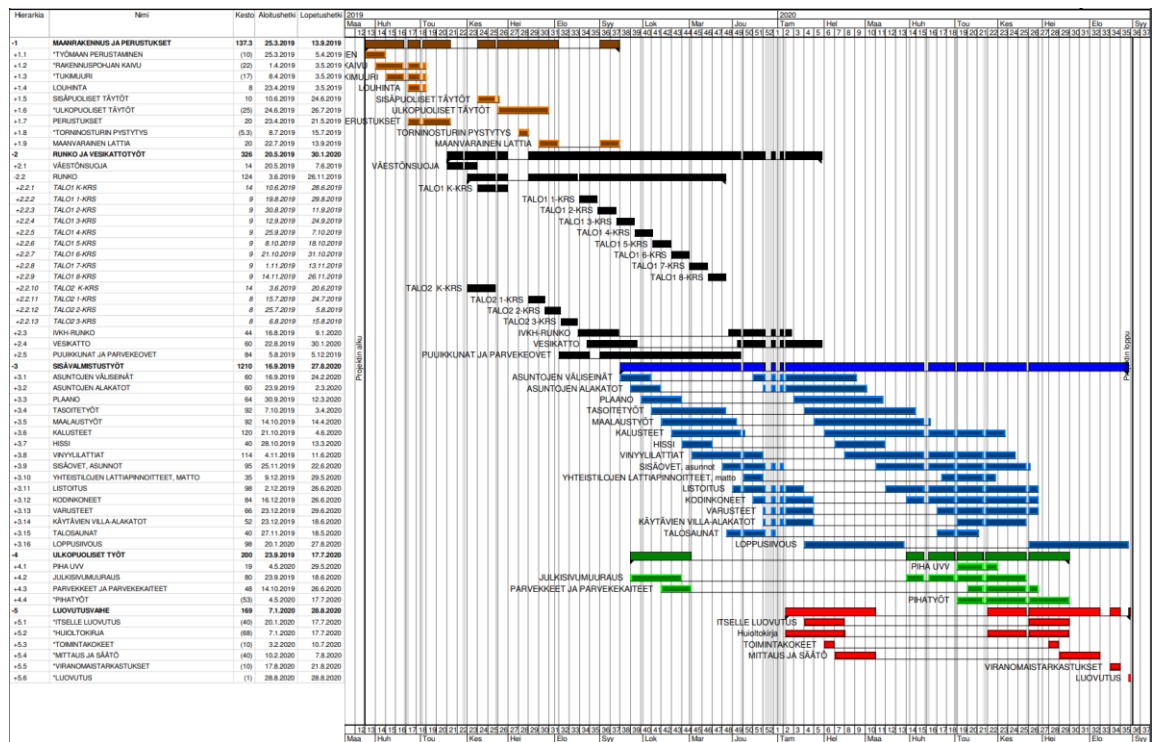
Taulukko 7. Esimerkkikohteen 3. resurssitarpeet työntekijätunteina

Esimerkkikohteen 3		
Märkätilat		46 kpl
Lattian ka. pinta-ala		4,3 m ²
Seinän ka. pinta-ala		20,5 m ²
Betoseinän ka. ala		8,6 m ²
Ako-seinän ka. ala		11,9 m ²
Työvaihe:	1 kph	kaikki kph
1	3,08 tth	142 tth
2	5,94 tth	273 tth
3	1,00 tth	46 tth
4	2,73 tth	126 tth
5	13,43 tth	618 tth
6	2,65 tth	122 tth
7	1,78 tth	82 tth
YHT:	30,62 tth/kph	1408 tth/kohde

Betonipintojen jälkityöt kph:n	141,6 tth
levyrakentaminen	712 tth
Ako asennukset	280 tth
laatoitus- ja vedeneristystyö	768,6 tth
paneelikatot	122 tth
kalustus	82 tth
	2106 tth
	0,56 tth/bm ²

	määrä/krs	menekki asennus	menekki lisätyöt
Ulko.elem.	12	15,6 tth/krs	6,84 tth/krs
väli.elem.	22	31,9 tth/krs	12,54 tth/krs
porraselem.	1	1,35 tth/krs	0,65 tth/krs
porrastaso/mass.	4	2,2 tth/krs	2,6 tth/krs
parvekelaat	6	8,1 tth/krs	5,1 tth/krs
parvekepiel	5	2,75 tth/krs	3,75 tth/krs
ontelolaat	53	14,84 tth/krs	23,85 tth/krs
Hormielem.	12	18 tth/krs	7,8 tth/krs
		0	
yht		94,7 tth/krs	55,3 tth/krs
		3,9 tv/krs	3,5 tv/krs
		(3+0+1)	(2+0)
yht		3,9 tv/krs	3,5 tv/krs
krs lkm	8	757,92 tth	442,64 tth
yht		1200,56 tth	

Esimerkkikohte 4 on toteutettu kuvan 4. yleisaikataulun mukaisesti. Aikataulun aloitus- ja lopetusajankohta on muutettu, mutta työtehtävät ja niiden kestot ovat samat. Aikataulutiedosto ei pitänyt sisällä resurssisuunnitelmaa, joten myös tarvittavat resurssit arvioidaan tässä kappaleessa aikataulukirjan (Talonrakennusteollisuus ja Rakennustietosäätiö 2015) työmenekien mukaan. Aikataulukirjan menekit löytyvät liitteestä A.



Kuva 4. Esimerkkikohteen 4. yleisaikataulu

Esimerkkikohteen talo 1 runkovaiheelle (1. kerros-vesikatto) on varattu 23 viikkoa, eli 115 työvuoroa. Elementtien asennustyöt on suunniteltu 9 työvuoroa per kerros tahdilla (n. 2 viikkoa per kerros), jonka lisäksi vesikatolle on suunniteltu noin 7 viikkoa (35 työvuoroa.) Esimerkkikohteen sisävaihe, vesikatton valmistumisesta viranomaistarkastukseen, on suunniteltu kestävän 37 viikkoa, eli 185 työvuoroa. Taulukossa 8. on laskettu kohteen tiedoilla resurssitehokkuuden arviointia varten rakennusvaiheiden työntekijätunnit, joita verrataan lopussa muihin esimerkkikohteisiin.

Taulukko 8. Esimerkkikohteen 4. resurssitarpeet työntekijätunteina

Esimerkkikohte 4		määrä/krs menekki asennus			menekki lisätyöt	
Märkätilat	103 kpl					
Reunavalu	0,8 m2					
Seinän ka. pinta-ala	19,6 m2					
Betoseinän ka ala	4,5 m2					
Levyseinän ka ala	15,2 m2					
Työvaihe:	1 kph	kaikki kph				
1	1,20 tth	124 tth				
2	5,38 tth	554 tth				
3	0,18 tth	18 tth				
YHT:	6,76 tth/kph	696 tth/kohde				
Levyväiseinät kph:n ulkopuol.		737 tth				
Levyväiseinät		579 tth				
Levyalakatot ja kotelot		360 tth				
yht:		1676 tth				
		0,21 tth				
			ulkoseinäelementti	19	24,7 tth/krs	10,83 tth/krs
			väliseinäelementti	29	42,05 tth/krs	16,53 tth/krs
			porraslementti	1	1,35 tth/krs	0,65 tth/krs
			porras-/massiivilaatta	10	5,5 tth/krs	6,5 tth/krs
			parvekealat	4	5,4 tth/krs	3,4 tth/krs
			parvekepielet	2	1,1 tth/krs	1,5 tth/krs
			ontelolaat	76	21,28 tth/krs	34,2 tth/krs
			hormielementit	12	18 tth/krs	7,8 tth/krs
			yht		119,4 tth/krs	81,4 tth/krs
					5,0 tv/krs	5,1 tv/krs
					(3+0+1)	(2+0)
			KPH	13	13 tth/krs	11,7 tth/krs
					0,5 tv/krs	0,5 tv/krs
			yht		5,5 tv/krs	5,6 tv/krs
			krs lkm	8	955,04 tth	651,28 tth
			yht		1606,32	

Märkätilaelementin vaikutus esimerkkikohteiden työvaiheiden nopeuteen alla taulukossa 9. Vertailusta voidaan todeta, että elementtien käyttö ei aina takaa nopeampaa tuotannonopeutta. Tähän voi vaikuttaa esimerkiksi organisaation kokemus ja osaaminen. Esimerkkikohteessa 4 päästään hyödyntämään mittakaava etua, joka voi olla osa syy märkätilaelementin positiiviseen vaikutukseen.

Taulukko 9. Märkätilaelementin vaikutus rakennusvaiheen nopeuteen

Vertailtavat aikataulut (tv/bm2)	Esimerkkikohte 1 (paikallarakennettu kph) Vertailukohde	Esimerkkikohte 2 (täyselementti)	Esimerkkikohte 3 (paikallarakennettu kph) Vertailukohde	Esimerkkikohte 4 (täyselementti)
Runkovaihe: 1 krs. – vesikatto		0 %		- 9 %
Sisävaihe: runkovaiheen jälkeen viimeisiin tarkastuksiin		+ 11 %		- 29 %
Yhteensä 1krs. – lopputarkastukset		+ 8 %		- 24 %

Märkätilaelementin vaikutus kohteiden työvaiheiden resurssitehokkuuteen taulukossa 10. Molemmista märkätilaelementtikohdeista huomataan, että hanke pystytään toteuttamaan huomattavasti vähemmällä resursseilla, joka on suora linkki resurssitehokkuuteen. Märkätilan ja sisävaiheen työvaiheiden resurssitehokkuus melko selkeä, koska valmis tilaelementti vähentää sisätyövaiheita, mutta resurssitehokkuus runkotyössä on yllättävä tulos.

Taulukko 10. Märkätilaelementin vaikutus henkilöresurssitehokkuuteen

Vertailtavat resurssit (tth)	Esimerkkikohde 1 (paikalla rakennettu kph) Vertailukohde	Esimerkkikohde 2 (täyselementti)	Esimerkkikohde 3 (paikallarakennettu kph) Vertailukohde	Esimerkkikohde 4 (täyselementti)
Märkätilat tth		- 81 %		-78 %
Runkotyöt tth/bm2 (elementtiasennukset)		- 25 %		- 36 %
Sisätyöt* tth/bm2		- 59 %		-62 %

Tutkimuksen tuloksista todettiin, että märkätilan asennukset lisäävät runkokiertoa 25 työntekijätuntia per kerros, mutta suunnitelmista löytyi vastaus myös vähentävään vaikutukseen. Nimittäin märkätilaelementtien asennuksessa, jos elementissä on kevythormi itsessään, ei tarvitse asentaa betonihormia erikseen. Lisäksi suunnitelmista huomataan, kun märkätilaelementti asennetaan kulmaan, elementin taakse asennetaan 2 väliseinäelementtiä molemmille sivuille. Paikalla rakennettavassa märkätilassa puolestaan asennetaan yhdelle seinälle hormi ja pahimmassa tapauksessa hormin molemmille puolille asennetaan pienet väliseinäelementit, jolloin paikalla rakennettavan märkätilan kulmaan asennetaan 3 väliseinäelementtiä ja 1 hormielementti. Laskennallisesti 2 väliseinäelementin ja yhden tilaelementin asennus on nopeampi kuin 3 väliseinäelementin ja 1 hormielementin. Yhden märkätilaelementin tuotantoaika nopeuttava vaikutus olisi tällöin 3,5 työntekijätuntia per märkätila. Esimerkkikohteessa 4 oli otettu kyseinen asia huomioon hormisuunnittelussa myös keittiöiden hormien kohdalla ja toteutettu 2 väliseinäelementillä, jonka kylkeen asennetaan hormi, jolloin pystyttiin säästämään yhden väliseinäelementin asennusaika. Esimerkkikohteen 4 kokoisessa hankkeessa tämä jokseenkin pieni tuottavuutta parantava tekijä vaikuttaa kokonaisuudessa paljon.

5.2 Toimittajien laatu ja luotettavuus

Esimerkkikohteessa 1 on arvioitu 6:ää eri toimittajaa ja esimerkkikohteessa 3 on arvioitu 7:ää eri toimittajaa, joiden työkokonaisuudesta osa tai työkokonaisuus on kokonaan märkätiloihin kohdistuvia töitä tai materiaalityöitä. Toimittajien nimiä tai toimitusten sisältöä ei paljasteta, koska ne eivät ole tutkimuksen kannalta relevantteja. Esimerkkikohteen 1 toimittajien palautearvioita on annettu keskimäärin 12 palautetta yhtä toimittajaa kohden. Palauteiden mukaan keskimäärin 91 % arvioitsijoista suosittelisi näitä toimittajia. Esimerkkikohteen 1 palautearviot ovat koottu taulukkoon 11. Esimerkkikohteen 3 toi-

mittajien palautearvioita on annettu 129 palautetta yhteensä. Palautteiden mukaan keskimäärin 93 % arvioitsijoista suosittelisi näitä toimittajia. Esimerkkikohteen 3 palautearviot ovat koottu taulukkoon 12.

Taulukko 11. Esimerkkikohteen 1. toimittajien palautearviot

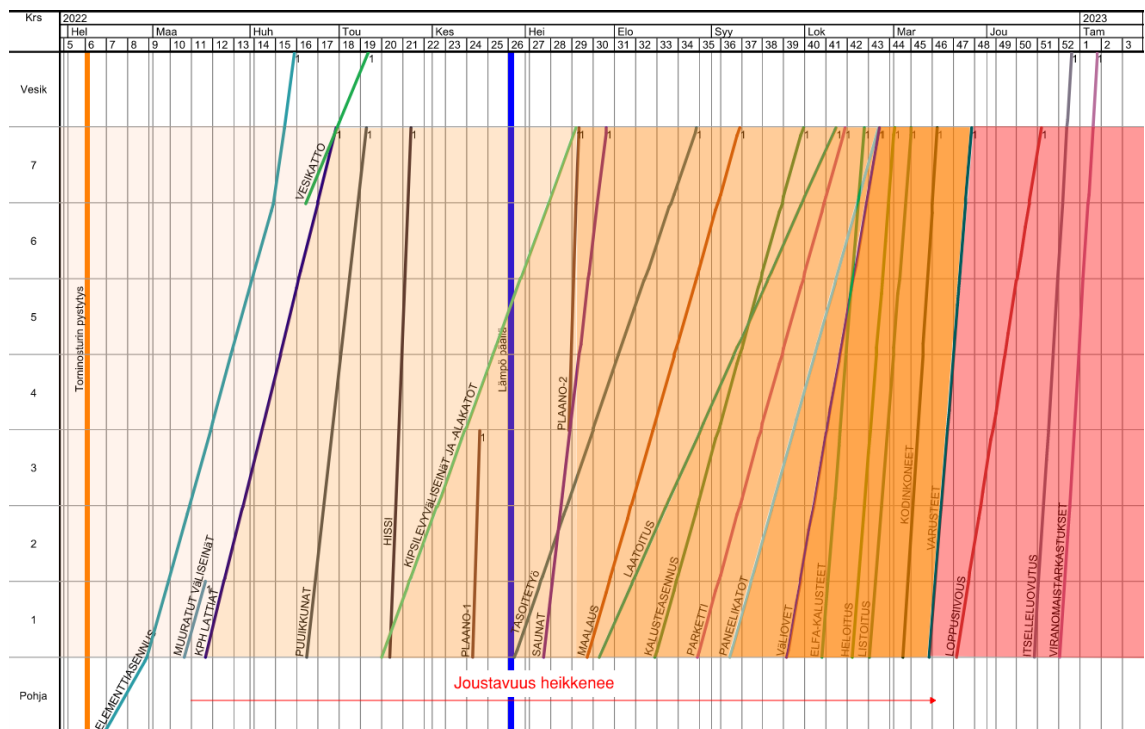
Esimerkkikohde 1	Toimittaja 1	Toimittaja 2	Toimittaja 3	Toimittaja 4	Toimittaja 5	Toimittaja 6	KA
Kuinka toimittaja noudatti työturvallisuusmääräyksiä ja -ohjeita	3,3	3,5	3,7	4	3	4,1	3,6
Toimittajan työnjohto	4	3,5	3,3	5	3,9	4,5	4,0
Sovittujen aikataulujen noudattaminen	3,7	2,9	3,5	5	4	4,5	3,9
Tuotteen/toiminnan laatu	3,8	3,5	3,8	4,5	3,8	4,2	3,9
Mahdollisiin reklamaatioihin reagointi	3,8	3,4	3,4	5	4,3	4,3	4,0
Palautteiden keskiarvo	3,7	3,5	3,7	4,5	3,7	4,4	3,9
							yhhteensä
Tilaukset	35	24	89	35	14	25	222
Reklamaatiot	9	8	4	0	6	0	27
reklamaatioiden suhdesuhde tilauksiin							12,16 %
Tehdyt arviot	20	8	37	2	8	10	85
Suosittelut	18	6	34	2	7	10	77
Suhde suositukset / palautteet	90 %	75 %	92 %	100 %	88 %	100 %	91 %

Taulukko 12. Esimerkkikohteen 3. toimittajien palautearviot

Esimerkkikohde 3	Toimittaja 1	Toimittaja 2	Toimittaja 3	Toimittaja 4	Toimittaja 5	Toimittaja 6	Toimittaja 7	KA
Kuinka toimittaja noudatti työturvallisuusmääräyksiä ja -ohjeita	3,4	3,8	4,3	4	4,1	4,5	3,5	3,9
Toimittajan työnjohto	3,5	3,6	4,5	4,1	4,2	4,5	3,7	4,0
Sovittujen aikataulujen noudattaminen	3,3	3,5	4,3	4,4	4	4,5	3,8	4,0
Tuotteen/toiminnan laatu	3,3	3,6	4,3	4,1	3,8	4,5	3,6	3,9
Mahdollisiin reklamaatioihin reagointi	3,3	3,7	4,4	4,3	4,2	4,5	3,8	4,0
Palautteiden keskiarvo	3,4	3,6	4,4	4,2	4,1	4,5	3,7	4,0
								yhhteensä
Tilaukset	30	76	29	14	36	5	20	210
Reklamaatiot	3	9	0	0	4	0	1	17
reklamaatioiden suhdesuhde tilauksiin								8,10 %
Tehdyt arviot	14	49	19	8	20	2	17	129
Suosittelut	12	44	19	8	19	2	16	120
Suhde suositukset / palautteet	86 %	90 %	100 %	100 %	95 %	100 %	94 %	93 %

Toimitusnopeus esimerkkikohteissa 1 ja 3 paikallarakennetussa märkätilassa on sama ja ne pystytään suunnittelemaan, tilaamaan käytettävät materiaalit ja toteuttamaan työt porrastetusti, materiaalivalmistajien ja työn toteuttajien antamissa toimitusaikojen rajoissa. Esimerkiksi, jos yleistetään materiaalien ja työn toimitusajoiksi sama 8 viikkoa. Esimerkkikohteessa 1 levyrakenteiset suunnitelmat ja päätökset tulee olla aikaisemmin valmiit, kuin laatoitustyön. Laatoitustyön aloitus on viikolla 30, jolloin sopimus toimittajan kanssa tulee olla tehty viikolla 21, jotta 8 viikon hankinta-aika täyttyy. Kun taas levytoimittajan kanssa tulee tehdä sopimus jo viikolla 11, jne.

Joustavuus esimerkkikohteiden 1 ja 3 paikallarakenneissa märkätiloissa heikkenee samalla periaatteella. Paikallarakenne märkätilan joustavuus heikkenee porrastetusti, kun yksittäiset työvaiheet valmistuvat kuvan 5. mukaisesti. Erona esimerkkikohteiden 1 ja 3 välillä on työvaiheiden tekojärjestyksestä aiheutuva ero. Esimerkkikohteessa 1 tehdään kaatolattiat ennen väliseiniä ja esimerkkikohteessa 3 toisinpäin. Jos kohteisiin haluttaisiin muutoksia märkätilojen seinien siirtoon, on esimerkkikohteessa 1 se tehtävissä myöhempään kuin esimerkkikohteessa 3. Kaatolattian teko ei vaikuta märkätilan joustavuuteen yhtä merkittävästi kuin kevytsorabetonielementti. Ero on kuitenkin vain muutamia viikkoja.



Kuva 5. Paikallarakenne märkätilan joustavuuden heikkeneminen

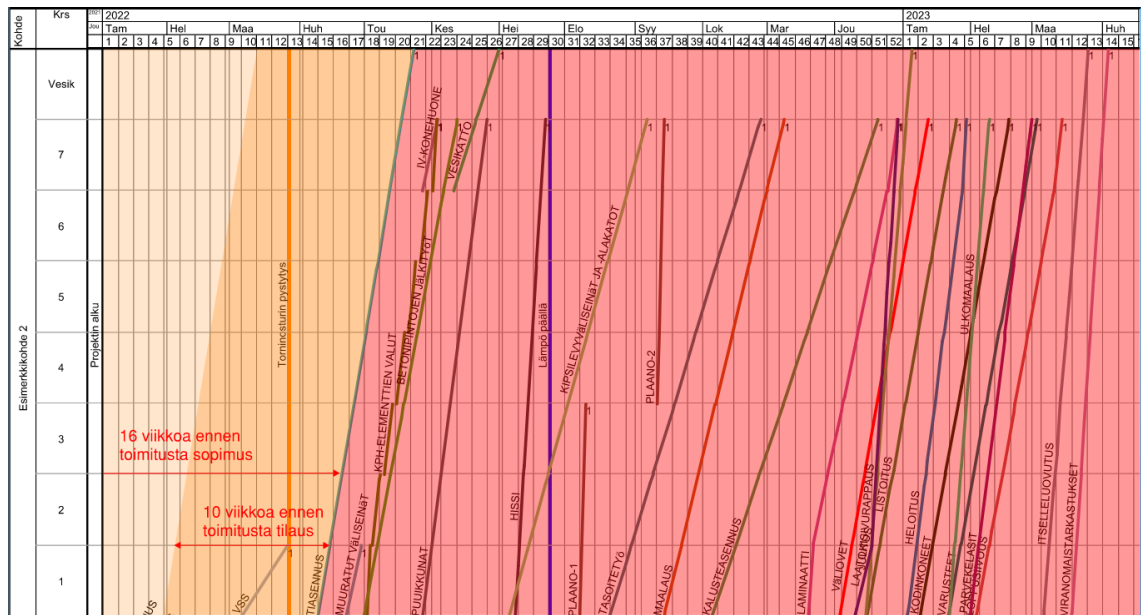
Esimerkkikohteessa 2 ja 4 on sama märkätilaelementtitoimittaja. Toimittajan nimeä ei paljasteta, koska se ei ole tutkimuksen kannalta relevanttia. Toimittajan palautearvioita on annettu 22 palautetta yhteensä. Palautteiden mukaan keskimäärin 91 % arvioitsijoista suosittelisi tätä toimittajaa. Reklamaatioiden suhde tilauksiin on 26 %. Tässä on hyvä ottaa huomioon, että materiaalitoimittajia reklamoidaan järjestelmän kautta enemmän, kuin työvoiman toimittajia. Tästä syystä reklamaatiot ja laatu tulee tarkentaa haastattelututkimuksen avulla. Esimerkkikohteiden 2. ja 4. palautearviot ovat koottu taulukkoon 13.

Taulukko 13. Esimerkkikohteiden 2. ja 4. toimittajien palautearviot

Esimerkkikohte 2 ja 4	Toimittaja 1
Kuinka toimittaja noudatti työturvallisuusmääräyksiä ja -ohjeita	4
Toimittajan työnjohto	4
Sovittujen aikataulujen noudattaminen	4
Tuotteen/toiminnan laatu	3,9
Mahdollisiin reklamaatioihin reagointi	4,1
Palautteiden keskiarvo	4
Tilaukset	35
Reklamaatiot	9
reklamaatioiden suhdesuhde tilauksiin	26 %
Tehdyt arviot	22
Suosittelut	20
Suhde suositukset / palautteet	91 %

Toimitusnopeus esimerkkikohteiden 2 ja 4 tilaelementtien tilauksessa on vähintään 10 viikkoa. Eli siitä, kun suunnitelmat ovat toimitettu toimittajalle, tilaelementit toimitetaan aikaisintaan 10 viikon päästä työmaalle. Elementtien toimituksen ajankohta riippuu asennustavasta, jolloin elementin asennustavalla pystytään hieman saamaan pelivaraa toimitukseen. Sopimuksen teosta toimitukseen on vähintään 16 viikkoa.

Toisin kuin paikallarakennetuissa märkätiloissa, tilaelementillä joustavuus heikkenee kerralla kokonaan kuvan 6. mukaisesti, kun tilaelementtien suunnitelmat tulevat olla lähetettynä tehtaalle 10 viikkoa ennen toimitusta. Tämän jälkeen tilan joustavuus rajautuu vain pintamateriaaleihin. Pintamateriaalien muutosmahdollisuus on olemassa tilauksenkin jälkeen tilaelementeissä, mutta oletetusti kustannustehokkuudeltaan ei ole samaa tasoa paikallarakennettuihin verrattuna. Valmiissa märkätilaelementissä on helpommin vaihdettavissa jälkikäteen laatat kuin paikallarakennettavassa, koska elementeissä ei käytetä sivellettävää vesieristystä seinissä, eikä tällöin vesieristys vaurioidu yhtä helposti, kun laatta irrotetaan seinästä.



Kuva 6. Märkätilaelementin joustavuuden heikkeneminen

Yhteenvedosta (taulukko 14.) huomataan, että märkätilaelementillä ei ole esimerkkikohteissa vaikutusta toimittajan palveluun. Yhteenvedosta huomataan myös pieni ero paikalla rakennettavissa märkätilakohteissa. Esimerkkikohteessa 3 on paremmat suositukset ja vähemmän reklamaatioita, kuin esimerkkikohteessa 1. Palautearvioita ei kuitenkaan voida pitää täysin yleistävänä tuloksena, koska palautearviot ovat kerätty kaikista toimittajalle annetuista palautteista, eikä niitä ole kohdistettu juuri kyseiseen hankkeeseen. Palautteiden pohjalta toimittajien laatua tulee tarkentaa haastattelututkimuksessa.

Taulukko 14. Yhteenvedo esimerkkikohteiden toimittajien palautearvioista

	Esimerkkikohte 1	Esimerkkikohte 3	Esimerkkikohte 2 ja 4
Kuinka toimittaja noudatti työturvallisuusmääräyksiä ja -ohjeita	3,6	3,9	4
Toimittajan työnjohto	4,0	4,0	4
Sovittujen aikataulujen noudattaminen	3,9	4,0	4
Tuotteen/toiminnan laatu	3,9	3,9	3,9
Mahdollisiin reklamaatioihin reagointi	4,0	4,0	4,1
Palautteiden keskiarvo	3,9	4,0	4
	yhteensä	yhteensä	
Tilaukset	222	210	35
Reklamaatiot	27	17	9
reklamaatioiden suhdesuhte tilauksiin	12,16 %	8,10 %	26 %
Tehdyt arviot	85	129	22
Suosittelut	77	120	20
Suhde suositukset / palautteet	91 %	93 %	91 %

5.3 Taloudelliset, sosiaaliset ja ympäristövaikutukset

Märkätilaelementin taloudellinen vaikutus esimerkkihankkeen kustannuksiin on esitetty taulukossa 15. Vertailun lähtötiedot ovat hankkeiden litteroista. Vertailun tarkoitus on saada ymmärrys toteutustapojen kustannustehokkuudesta. Tästä syystä taulukon 15. vertailu toteutettiin suhteutettuna brutto neliöihin.

Taulukko 15. Märkätilaelementin taloudellinen vaikutus hankkeen kustannuksiin

Vertailtavat kustannukset	Esimerkkikohde 1 (vertailukohde)	Esimerkkikohde 2 (täysielementti)	Esimerkkikohde 3 (vertailukohde)	Esimerkkikohde 4 (täysielementti)
Elementti asennus € /bm ²	+0,03 % (0,0 %)**		+6,90 % (+0,1 %)	
Elementit (ei sis. Kph) € /bm ²	- 15,24 % (-2,2 %)		- 10,85 % (-1,9 %)	
Elementit yhteensä € /bm ²	+23,82 % (+5,2 %)		+28,59 % (+7,8 %)	
Kuljetukset (logistiikka) € /bm ²	-24,68 % (-0,2 %)		-45,05 % (-0,3 %)	
Talotekniikka + aputyöt € /bm ²	-18,60 % (-2,6 %)		-2,65 % (-0,4 %)	
Märkätiloihin liittyvät sisätyövaiheet*€/bm ²	-60,18 % (-5,8 %)		-41,81 % (-2,8 %)	
työnjohto € /bm ²	-19,43 % (-1,3 %)		+1,24 % (+0,1 %)	
Työturvallisuus € /bm ²	+3,05 % (0,0 %)		-29,69 % (-0,2 %)	
Jätehuolto € /bm ²	-25,31 % (-0,1 %)		-44,10 % (-0,2 %)	
Edut ja lisät +/-	-36,35 % (-6,6 %)		-225,24 % (1,8 %)	

* Työt: väliseinät, laatoitus, saunat ja paneelityöt, kalusteet ja varusteet; **Suluissa olevat %-luvut ovat suhteutettu kokonaiskustannuksiin

Vertailusta huomataan, että märkätilaelementillä on samat vaikutukset molemmissa vertailtavissa kohteissa. Esimerkiksi elementtien kustannukset kasvavat n. 40 % (24+15 % ja 29+11 %) märkätilaelementtien takia. Hintavaikutus kokonaiskustannuksiin on 5–10 % luokkaa, joka kuitenkin kompensoituu märkätilaelementin tuomilla eduilla, kuten vähentyneillä sisätöiden kustannuksilla. Työvaiheet, joilla on suora vaikutus märkätilan kustannuksiin, eivät välttämättä lisää kohteen kokonaiskustannuksia, vaan esimerkkikohteiden 1 ja 2 vertailussa märkätilaelementillä on 6,6 % kustannuksia alentava vaikutus kokonaiskustannuksiin. Esimerkkikohteen 4 märkätilaelementillä on vain vajaan 2 % kustannuksia kasvattava vaikutus.

Kirjallisuuskatsauksessa mainitaan tilaelementtien mittakaavaedun olevan yksi tekijä kompensoimaan valmiin elementin tuomia suoria kustannuksia. Taulukossa 16. on verrattu täyselementti kohteita keskenään. Vertailusta huomataan, että mittakaavaedulla on merkittävä vaikutus näiden esimerkkikohteiden välillä. Kokonaiskustannuksiin 9 % kustannussäästövaikutus.

Taulukko 16. Mittakaavaedun taloudellinen vaikutus hankkeen kustannuksiin

Vertailtavat kustannukset	Esimerkkikohde 2 Täyselementti (vertailukohde)	Esimerkkikohde 4 täyselementti
Elementti asennus € /bm2		- 58,43 % (- 1,6 %) **
Elementit (ei sis. Kph) € /bm2		- 8,23 % (- 1,2 %)
Elementit yhteensä € /bm2		- 5,83 % (- 1,3 %)
Kuljetukset (logistiikka) € /bm2		- 14,89 % (- 0,1 %)
Talotekniikka + aputyöt € /bm2		- 13,22 % (- 1,5 %)
Märkätiloihin liittyvät sisätyövaiheet*€ /bm2		- 22,89 % (- 0,9 %)
työnjohto € /bm2		- 29,06 % (- 1,5 %)
Työturvallisuus € /bm2		- 41,51 % (- 0,3 %)
Jätehuolto € /bm2		- 32,96 % (- 0,1 %)
Edut ja lisät +/-		- 357,14 % (- 9,0 %)

* Työt: väliseinät, laatoitus, saunat ja paneelityöt, kalusteet ja varusteet; **Suluissa olevat %-luvut ovat suhteutettu kokonaiskustannuksiin

Tämän tutkimuksen kustannusvertailu keskittyy työvaiheisiin, joilla on suora vaikutus märkätilojen kustannuksiin. Kirjallisuuskatsauksessa kuitenkin ilmenee, että suunnittelu ajat ovat pidempiä ja suunnitteluprosessi on haastavampi tilaelementtikohteissa, kuin paikalla rakennettavissa kohteissa. Suunnittelun eroja pystytään lähtötiedoilla tarkastelemaan esimerkiksi vertaamalla suunnittelukustannuksia. Taulukossa 17. on avattu esimerkkikohteen 3 ja 4 suunnittelun kustannuseroja. Esimerkkikohteista 1 ja 2 ei ollut saatavilla vertailukelpoisia lähtötietoja.

Taulukko 17. Märkätilaelementin vaikutus suunnittelukustannuksiin

Vertailtavat kustannukset	Esimerkkikohde 3 (paikallarakennettu kph) vertailukohde	Esimerkkikohde 4 (täyselementti)
Arkkitehtisuunnittelu € /bm2		+5,58 % (0,07 %) **
Rakenne- ja elementtisuunnittelu€ /bm2		+2,61 % (+0,04 %)
LVI-suunnittelu € /bm2		-24,74 % (-0,13 %)
Sähkösuunnittelu € /bm2		+24,90 % (-0,14 %)
Edut ja lisät +/-		+8,35 % (0,12 %)

**Suluissa olevat %-luvut ovat suhteutettu kokonaiskustannuksiin

Märkätilaelementin sosiaalinen vaikutus, eli turvallisuus ja terveys, näkyy esimerkiksi työvaiheiden työn turvallisuusriskeissä. Märkätilaelementtien suurimmat turvallisuusriskit liittyvät elementtien nostotöihin. Elementtien nostotyöhön liittyy aina vakavia riskejä, jonka seurauksena nostotyöt vaativat aina tämän työn tilaajan yrityksessä nostotöihin liittyvän koulutuksen. Elementtien asennus kuuluu yrityksen lähes jokapäiväiseen työhön, joten yrityksessä halutaan pitää riskit itsellään ja käyttää riskienvähennysstrategiaa riskinriskintorjuntastrategiana. Tällä tavoin yrityksessä nostotöihin liittyvät riskit ovat helpommin hallittavissa. Muita yrityksessä käytössä olevia riskienvähennysstrategiaan kuuluvia menetelmiä, ovat muun muassa käytetään parhaimpia välineitä ja tarvikkeita sekä niiden viikoittainen kuntotarkastus; laaditaan kunnolliset turvallisuussuunnitelmat, kuten nostotyön ja elementtiasennuksen työturvallisuussuunnitelma; hyödynnetään hyviä menetelmiä ja jaetaan niitä koko yrityksen kesken; sekä henkilöiden ja omaisuuden oikeanlainen suojaus. Märkätilaelementtien rakentamiseen liittyvät työturvallisuusriskit puolestaan riskinsiirtostrategialla siirretään suoraan toimittajalle. Tämä ei todellisuudessa poista märkätilojen valmistamisessa piileviä riskejä, mutta lähtökohtaisesti voidaan olettaa, että tehdasoloissa rakentaminen on turvallisempaa ja ergonomisempaa, kuin rakennustyömaalla.

Märkätilaelementin turvallisuusriskit, jotka rakennusliikkeen on hallittava, sijoittuvat pitkälti runkovaiheeseen, jolloin riskit ovat helpommin hallittavissa. Eikä märkätilaelementin riskienvähennysmenetelmät lisää merkittäväällä tavalla siihen panostettuja resursseja, koska kyseiset toimenpiteet tehdään joka tapauksessa elementtiasennuksen takia. Toi-

sin kuin paikallarakennettavissa märkätiloissa työn riskit kohdistuvat pitkäaikaisesti sisä-
vaiheeseen, jossa riskipaikkoina ovat itse asennustyöt, asennustöiden tuottamat häiriöt
muille työmaallatyöskenteleville, työvaiheiden materiaalien ja koneiden haalaustyöt, ma-
teriaalien ja koneiden varastointiin liittyvät riskit ja uudelleen sijoittelut. Elementtiä käyt-
tämällä kyseisiin asennustöiden riskienhallintaan panostetut resurssit vähentyvät merkit-
tävästi.

Märkätilaelementin vaikutus ympäristöön jätteen määrällä pystytään vertailemaan jäte-
huolto- ja raportteista. Vertailun (taulukko 18.) lähtötiedot ovat jätehuolto- ja raportteista, jotka
ovat suoraan jätehuolto- ja palvelun toimittajalta. Toimittajalta saaduissa raporttien lähtötie-
doissa voi olla eroja kohteiden litteroiden kanssa, koska litterat ovat työmaaorganisaat-
ion kirjaamia jätehuoltokustannuksia. Esimerkkikohteiden 3 ja 4 ero on selkeä. 23 %
pienempi kokonaistonnimäärä jätettä, vaikka työmaan oli huomattavasti suurempi. Suh-
teutettuna rakennettuihin bruttoneliöihin eroa on jo yli 60 %. Bruttoneliöihin suhteutettuna
myös kustannusero oli yli 50 %. Se miksi jätteen ja kustannuksien ero eivät ole täysin
samat, voivat johtua useammasta tekijästä. Esimerkiksi vuokrien hinnat (mitä jätteen ke-
räysjakeita on), jätelajikkeiden hinnat (jokainen jätelajike kustantaa tonnilta eri verran),
jne. Valitettavasti esimerkkikohteiden 1 ja 2 jätehuolto- ja raportit ovat menneet sekaisin, jo-
ten esimerkkikohteet 1 ja 2 jäävät pois vertailusta.

Taulukko 18. Jätehuolto- ja raporttien vertailutaulukko

Vertailtavat kustannukset	Esimerkkikohte 1 (vertailukohde)	Esimerkkikohte 2 (täysilementti)	Esimerkkikohte 3 (paikallarakennettu)	Esimerkkikohte 4 (täysilementti)
Kokonaistonnimäärä (tn)	180,661	14,620	134,195	103,321 (-23 %)
kg/bm ²			35,6 kg/bm ²	13,2 kg/bm ² (-63 %)
Kokonaisuusmäärä			Vertailukohde	+2 %
€/bm ²			Vertailukohde	-51 %

Märkätilaelementin vaikutus saasteeseen ja meluun voidaan arvioida esimerkiksi logis-
tisesta näkökulmasta. Mitä enemmän toimituksia ja logistisia kuluja, sitä enemmän työ-
maalla on toimituksien aiheuttamaa saastetta ja melua. Märkätilaelementti toimitetaan
työmaalle yhdellä toimituksella, kun taas paikalla rakennettaessa jokainen työvaihe vaatii
oman materiaali toimituksensa ja hyvin useasti työvaihe vaatii myös useamman toimi-
tuksen, koska materiaali halutaan hankkeelle oikean aikaisesti, jolloin vältytään ylimää-

räiseltä välivarastoinnilta. Tällöin yhdellä toimituksella, ei pystytä kattamaan kaikkia työvaiheeseen kuuluvia märkätiloja. Myös kuljetuskustannukset puhuvat saman asian puolesta. Taulukosta 15 nähdään, että esimerkkikohteen 1 ja 2 välinen ero kuljetuksilla on n. 25 % (projektin kokonaiskuluista 0,2 %) sekä esimerkkikohteen 3 ja 4 välinen ero kuljetuksilla on n. 45 % (projektin kokonaiskuluista 0,3 %). Kustannuksien erot ovat todella suuria, kun puhutaan 25–45 %, vaikka kokonaiskustannukseen vaikutus on 0,2–0,3 % luokkaa.

Märkätilaelementin vaikutus hukan määrään, pystytään arvioimaan rakennusteollisuuden kirjallisuuden viite arvoista sekä jätehuollon ja siivouksen kustannuksista. Jätehuollon litteroidut kustannukset ovat vertailtu taulukossa 15. Elementillä on kustannuksia vähentävä vaikutus jätehuollon kustannuksiin esimerkkikohteissa 25–44 %. Kuitenkin esimerkkikohteiden 1 ja 2 jätehuoltoraportit ovat menneet sekaisin, joten tässä tutkimuksessa painotetaan enemmän esimerkkikohteiden 3 ja 4 eroa, joka on 44 %. Taulukossa 15. ei ole eritelty siivoukseen ositeltuja kustannuksia. Vaan niiden vertailu on toteutettu Taulukossa 18. Siivoukustannuksien vaikutus suhteutettuna esimerkkikohteiden bruttoneliöihin on noin 40 % ja vaikutus kokonaiskustannuksiin noin puolen prosentin luokkaa.

Taulukko 18. Märkätilaelementin vaikutus siivoukustannuksiin

Vertailtavat kustannukset	Esimerkkikohde 1 (paikalla rakennettu kph) Vertailukohde	Esimerkkikohde 2 (täyselementti)	Esimerkkikohde 3 (paikallarakennettu kph) Vertailukohde	Esimerkkikohde 4 (täyselementti)
Siivous € (ei sis. loppusiivousta)		-31 %		+ 26 %
Siivous €/bm ²		-36 %		- 40 %
Vaikutus kokonaiskustannuksiin		-0,45 %		-0,54 %

Märkätilaelementin vaikutus hukan määrään pystytään arvioimaan laskennallisesti rakennusteollisuuden viitearvoilla. Taulukosta 19. nähdään, että paikalla rakentaessa tulee monipuolisesti rakennusjätettä kaikista paikalla tehtävistä työvaiheista, kun märkätilaelementtikohhteessa vain levytystyön aiheuttamaa kipsilevyjätettä ja eristevillaa. Tässä on hyvä huomioida, että jätteiden lajittelu ja poisvienti rakennusjätelavoille lisää työmaalla materiaalivirtoja ja häiriöitä, jotka eivät näy suoraan kustannuksissa.

Taulukko 19. Märkätilaelementin vaikutus hukkaan (Talonrakennusteollisuus ja Rakennustietosäätiö 2015)

Materiaali	Hukka -%	E1	E2	E3	E4
Kipsilevy	8...15 %	X	X		X
Teräsranka	1,5...4 %	X			
Eristevilla	0...8 %	X	X		X
Kevytsosebetoni-elementti	10 %			X	
Betoni/kivi	1...8 %	X		X	
Laatat	3...8 %	X		X	
Puu	5...30 %	X		X	

5.4 Tulokset ja johtopäätökset

Märkätilaelementin vahvuudet, jotka havaittiin esimerkkikohteita suorituskykyvertailussa:

- Nopeutunut rakennusaika näkyi esimerkkikohteiden 3 ja 4 välillä. Ero suhteutettuna bruttoneliöihin oli runkovaiheessa 9 % ja sisävaiheessa 29 % nopeampi. Samaa eroa ei kuitenkaan havaittu esimerkkikohteiden 1 ja 2 välillä, vaikka resurssitarpeet viittaisivat nopeampaan rakennusaikaan. Syy voi olla esimerkiksi varmuuspuskurit tai tekniset ongelmat. Tämä tulee vielä haastattelututkimuksessa varmentaa.
- Parantunut resurssitehokkuus näkyi rakennusvaiheiden tarvittavista työntekijätunneista suhteutettuna bruttoneliöihin sekä osittain työnjohdon kustannuksissa. Märkätilat vaativat n. 80 %, sisävaihe n. 60 % ja runko n. 30 % vähemmän työntekijätunteja. Työnjohdon kustannukset olivat 20 % vähemmän esimerkkikohteessa 1 kuin 2. Esimerkkikohteissa 3 ja 4 ei työnjohdon kustannuksissa ollut eroa juurikaan.
- Märkätilaelementillä todettiin olevan vähentävä vaikutusta hankkeen sopimussuhteiden, ristiriitojen, ja häiriöiden määrään. Vähentyneillä työvaiheilla on vaikutus sopimussuhteiden määrään, joilla on suora vaikutus myös tarvittaviin henkilöresursseihin. Vähentyneillä työvaiheilla ja resurssimäärillä on vaikutus häiriöiden tuottamiseen ja ristiriitojen aiheutumiseen.
- Työmaan parantunut työturvallisuus näkyy epäergonomisten työvaiheiden vähentymisenä sekä vähentyneiden työvaiheiden vaikutuksesta häiriöiden herkkyyteen. Myös työturvallisuusriskien siirto toimittajalle luo suotuisamman tilanteen

työturvallisuusriskienhallinnasta rakennusliikkeelle, koska suurin osa märkätilaelementteihin liittyvistä riskeistä on rakennusliikkeessä hyvin hallittu.

- Logistiikan vähentyminen näkyi kuljetuskustannuksissa, joka ovat suoraan verrannollisia vähentyneeseen varastointitarpeeseen ja uudelleen sijoitteluun. Kuljetuskustannukset todettiin alentuneen 25–45 %, jossa on myös havaittavissa mittakaavaetuuden tuoma 15 % kustannussäästö.
- Materiaalien resurssitehokkuus todettiin vähentyneestä hukan määrästä, joka näkyy jätehuollon raporteista sekä litteroista. Jätehuoltokustannukset vähenivät suhteutettuna bruttoneliöihin 51 % ja siivouskustannukset 40 %. Jätehuollon raporteista todettiin, että jätteiden käsittelykustannukset vähenevät 63 % materiaalihukan vähentyessä.
- Ympäristöystävällisyys todettiin parantuneen vähentyneen materiaalihukan ja työmaalogistiikan ansiosta. Materiaalihukalla on vaikutus työmaalta tulevan jätteen määrään ja logistiikalla ympäristöön meluun ja saasteen määrään.

Kirjallisuuskatsauksessa esiin tullutta märkätilaelementin vaikutusta parantuneeseen laatuun ei ollut suoraan havaittavissa vertailussa käytössä olevilla lähtötiedoilla. Laatu pystyttiin arvioimaan vain toimittajista annetuista palautearvioista, joilla mitattiin toimittajien palvelun laatua eli märkätilan pehmeää laatua. Märkätilan laatua tuotteena, eli kovaa laatua ei pystytty todentamaan, koska käytössä olevissa lähtötiedoissa ei ollut korjauskuluja tai -raportteja saatavilla. Molemmista menetelmistä oli yli 90 % suosittelu toimittajia kohtaan, joka viittaa onnistuneisiin toimittajakokemuksiin ja hyvään pehmeään laatuun.

Järjestelmän kautta tehtyjen reklamaatioiden suhteutettu määrä tilauksiin oli märkätilaelementissä suurempi. Tätä kuvaa väärin märkätilaelementtien pieni tilausmäärä. Märkätilaelementtitoimittajalta tehtyjä tilauksia oli noin 15 prosenttia muista tilauksien määristä, jolloin vähäinenkin reklamaatiomäärä saa prosentuaalisen tuloksen pomppaamaan. Esimerkiksi märkätilatoimittajaa on reklamoitu kolmannes esimerkkikohteen 1 toimittajien reklamaatioiden kokonaismääristä. Reklamaatioiden vertailujen yleistettävyyttä heikentää myös se, että reklamaatioiden määriä kyseisissä esimerkkikohteissa ei ollut saatavilla, vaan reklamaatiot ovat koko tarkastelun ajalta monista kohteista. Näistä syistä märkätilaelementin vaikutusta lopputuotteen laatuun on tarkasteltava asiantuntijoiden kokemusten kautta haastattelututkimuksessa.

Märkätilaelementin heikkoudet, jotka havaittiin esimerkkikohteita suorituskykyvertailussa:

- Suunnittelukustannukset kasvoivat märkätilaelementtikohhteessa suhteutettuna bruttoneliöihin 8,4 %, jolla vaikutus kokonaiskustannuksiin on 0,12 %. Kustannuksien kasvulla voi olla yhteys suunnittelutyön haasteellisuuteen ja/tai suunnittelutyön suuruuteen, jotka molemmat tunnistettiin kirjallisuuskatsauksessa.
- Korkeampia rakennuskustannuksia ei pystytty todentamaan, koska märkätilojen kustannusvertailussa huomattiin vaikutukset kokonaiskustannuksiin vaihtelevan -6,6 % ja +1,8 % välillä. Korkeammat rakennuskustannukset voidaan todeta vain, kun pelkästään märkätilaelementtien kustannuksia verrataan märkätiloihin liittyvien työvaiheiden kustannuksiin. Tällöin kustannuserojen vaikutus hankkeen kokonaiskustannuksiin on 7–2 %, mutta tällä vertailulla, ei oteta huomioon muita vähentyneitä kustannuksia, kuten talotekniikan vähentyneet kustannukset.
- Märkätilaelementtien joustavuus todettiin heikompana, koska sopimukset ja tilaukset tulee olla tehtynä aikaisemmassa vaiheessa, jolloin myös päätökset tulee olla varhaisemmassa vaiheessa tehty.

Märkätilaelementin heikkoudet, joita ei pystytty todentamaan suorituskykyvertailulla, pyritään todentamaan haastattelututkimuksessa. Tällaisia heikkouksia ovat:

- Kokemuksen puutetta,
- Hankinta- ja suunnittelujärjestelmien muuttamista,
- Märkätilaelementin käytön vaatimaa laajaa koordinoitua ja suurta organisaatiota suunnittelusta rakentamiseen,
- Sidosryhmien välistä heikkoa viestintä ja koordinoitua kykyä,
- Ymmärryksestä märkätilaelementin eduista ja niiden luomasta lisäarvosta,
- Rajallisia olosuhteita ja
- Joustavuuden kanssa esiin tullut vähäiset muutosmahdollisuudet.

Märkätilaelementin mahdollisuudet, jotka havaittiin esimerkkikohteita suorituskykyvertailussa:

- Märkätilaelementin mahdollisuudet kehittää tuottavuutta kustannustehokkaampaan rakentamiseen ja suunnitteluun organisaatio-oppimisen ja mittakaavaedun kautta nähdään vähän viitteitä esimerkkikohteen 4 kohdalla. Esimerkkikohteen 4 resurssistehokkuus ja aikataulunopeus suhteutettuna bruttoneliöihin on huomattavasti parempi, kuin esimerkkikohteessa 2, jossa on myös käytössä märkätilaelementit, mutta on kooltaan lähes kolmannes. Täyselementtikohteita verrattaessa keskenään, huomataan selkeitä mittakaavaedun tuomia kustannussäästöjä, jopa 9 % säästö kokonaiskustannuksissa. Kustannuksien arviointia kuitenkin heikentää ristiriita kustannuksien vertailussa, jossa esimerkkikohteesta 4 ei saada yhtä hyviä kustannussäästöjä verrattuna paikallarakennettuun kuin esimerkkikohteesta 2.
- Mittakaavaetuutta tavoiteltavissa yhteistyökumppanuus on hyvä mahdollisuus. Yhteistyökumppanuuden avulla on mahdollista hyödyntää molempien osapuolien osaamista, jolloin pystytään kehittämään prosessia ja tuotetta, joten yhteistyökumppanuus ja tuottavuuden kehittäminen ovat hyvin sidoksissa.
- Märkätilaelementin käytöllä on mahdollista kehittää kestävän rakentamisen kultuuria vähentyneillä ympäristövaikutuksilla.
- Märkätilaelementit voivat tulevaisuudessa olla mahdollisia EU:n kannustimia yritysten hiilineutraaliuteen vähentyneillä ympäristövaikutuksien ansiosta.

Märkätilaelementin uhkia, ei pystytty todentamaan esimerkkikohteita suorituskykyvertailussa, joten ne tulee todentaa haastattelututkimuksessa. Tällaisia heikkouksia ovat:

- Markkinoiden yleistä negatiivista mielipidettä tilaelementtien laadusta ja yksilöllisyydestä ei pystytty todentamaan.
- Märkätilaelementti toimittajien pientä määrää ei pystytty todentamaan.
- Immateriaalioikeuksien, standardien ja käytäntöjen vaikutus markkinoihin tulee todentaa haastattelututkimuksessa.
- Haluttomuutta kehittää prosesseja vaatii laajemman kyselytutkimuksen kuin haastattelututkimuksen, jotta pystyttäisiin koko organisaation tasolla asia todentamaan. Tämän tutkimuksen tilaus viittaa siihen, että organisaatiossa on halua kehittää prosesseja, mutta tämän tutkimuksen kannalta ei ole relevanttia tutkia

asiaa tarkemmin. Kehittämiskustannuksista ei ole saatavilla lähtötietoa, eikä kehittämiskustannuksetkaan ole relevantteja tämän tutkimuksen kannalta.

Kuvioon 11. on koottu SWOT-analyysin nelikentän kaikki tekijät. Vihreällä on merkitty ne kirjallisuuskatsauksessa esiin tullut tekijä, jotka suorituskykyvertailussa todennettiin. Oranssi merkkäus tarkoittaa, että tekijää ei pystytty täysin todentamaan ja yliviivattu tarkoittaa, että tekijä ei ole tutkimuksen kannalta relevantti tai ajankohtainen, jolloin sen tarkastelu ei ole tarpeen tässä tutkimuksessa.

	Positiiviset tekijät	Negatiiviset tekijät
Sisäiset tekijät	<p>Vahvuudet (S)</p> <p>S1 = Nopeutunut rakennusaika S2 = Parantunut resurssitehokkuus S3 = Parantunut laatu S4 = Vähemmän sopimussuhteita S5 = Parantunut työturvallisuus S6 = Vähentynyt työmaalogistiikka S7 = Vähemmän ympäristövaikutuksia</p>	<p>Heikkoudet (W)</p> <p>W1 = Kokemuksen puute W2 = Enemmän suunnittelutyötä W3 = Korkeammat rakennuskustannukset W4 = Huono joustavuus W5 = Toimintamallien muuttaminen W6 = Laaja koordinointi ja organisaatio W7 = Sidosryhmien heikko viestintä W8 = Eduista ei selkeää ymmärrystä W9 = Rajalliset olosuhteet</p>
Ulkoiset tekijät	<p>Mahdollisuudet (O)</p> <p>O1 = Tuottavuuden kehitys O2 = Kestävä rakentaminen O3 = Yhteistyökumppanuus O4 = Kannustinjärjestelmät</p>	<p>Uhat (T)</p> <p>T1 = Hyväksynnän puute T2 = Toimittajien pieni määrä T3 = Standardit ja yleiset käytännöt T4 = Immateriaalioikeudet T5 = Haluttomuus kehittää prosesseja</p>

Kuvio 11. Suorituskykyvertailun SWOT-analyysin nelikenttä

6. HAASTATTELUTUTKIMUS

6.1 Tulokset ja johtopäätökset

Haastattelututkimus toteutettiin 4 erillisellä haastattelulla, joissa haastateltiin 5 asiantuntijaa. Haastateltavien joukosta löytyi tietämystä tutkimuksen esimerkkihankkeiden tuotannosta, hankekehityksestä ja hankinnoista. Tällä tavoin haastattelututkimus pystyttiin hyödyntämään osana laajempaa analyysiä.

Haastattelututkimuksen asiantuntijahaastatteluissa arvioitiin märkätilaelementin vaikutus rakennushankkeen tuotantoaikaan ja resurssitehokkuuteen seuraavasti: Märkätilaelementin asennuksella on lisäävä vaikutus runkokiertoon noin 4–6 tuntia per kerros. Tuntien määrä riippuu asennettavien elementtien määrästä. Märkätilaelementillä on myös vähentävä vaikutus elementtien asennuksessa, joka kompensoi lisäävää vaikutusta. Märkätilaelementtiin voidaan sisällyttää kevythormi, jolloin ei tarvitse erikseen asentaa betonihormia. Tämä sama huomattiin myös suorituskykyvertailussa, jossa todettiin elementtikohteen runkotyön olevan resurssitehokkaampaa, kuin perinteisessä kohteessa. Suorituskykyvertailussa esiin tullut esimerkkikohteiden 1 ja 2 aikataulun riskiä verrattuna resurssitehokkuuteen todennettiin haastattelussa seuraavalla tavalla: Esimerkkikohteessa 1 oli käytetty varmuuspuskureita, jotka pidensivät hankkeen rakennusaikaa, kuten suorituskykyvertailussa pohdittiin. Varmuuspuskureilla varmistettiin sujuva eteneminen ja näin minimoitiin mahdollisten teknisien ongelmien tuomat lisäkustannukset. Käytettyjen puskurien ajallinen vaikutus, voidaan todeta olevan kokemattomuuden tuoma lisä, joka oppimisen kautta saadaan pienennettyä.

Työkokonaisuutta lisääviä töitä ei ole niin paljoa, etteikö samalla työryhmällä pystyttäisiin toteuttamaan runkovaihe täyselementtitalossa sekä talossa, jossa on paikalla tehtävät märkätilat. Työkokonaisuutta lisääviä töitä runkovaiheessa olivat muun muassa märkätilaelementin pohjan tarkastus ja putsaus; mittahenkilö tarkastaa märkätilaelementtien korot samalla, kun mittaa muutkin elementtien paikat; alahenkilö muuraa betoniharkot mitattuun korkoon ja lisää eristekaistat harkkojen päälle. Edellä mainittujen lisäksi elementin taakse jäävät pysty- ja vaakaauumat tukitaan peltikulmalla, jotta pystysauma pystytään toteuttamaan laadukkaammin. Märkätilaelementtien reunavalut toteutetaan

suurin piirtein samoihin aikoihin kuin kaatolattiat paikalla rakennettavissa märkätiloissa. Tällöin reunavalulla ei ole negatiivisia vaikutuksia työkokonaisuuteen. Reunavalu on helppompi toteuttaa kuin kaatolattianvalu, eikä vaadi erikoisosaamista, jolloin se pystytään toteuttamaan omilla resursseilla. Reunavalua voidaan pohjasta niin sanotusti keventää, esimerkiksi vaahtolasimurskalla, jolloin valin paksuus on vain 60–100 mm, eikä betonivalun kuivuminen jää tahdistavaksi tekijäksi (vrt. 170 mm kaatolattian paksuus).

Märkätilaelementillä on vähentävä vaikutus sisävaiheen tuotantoaikaan sekä positiivinen vaikutus resurssien tehokkuuteen. Tämä on perusteltu sillä, että sisävaiheessa ei ole juurikaan työvaiheita, jotka liittyvät märkätiloihin. Märkätilaelementtikohteissa työnjohtajalla ei ole yhtä monta työvaihetta samanaikaisesti käynnissä, joka vähentää työnjohdon resurssitarpeita. Lisäksi märkätilaelementtien käytöllä vähennetään materiaalien haa-laustöitä (eli siirtoja ja välivarastointia) niin materiaalin vientiä kohteeseen sisään kuin hukkamateriaalin vientiä pois. Märkätilaelementin vaikutukset arvioitiin myös tukevan tahtituotantoa, jossa tarkoitus on minimoida hukka ja kehittää tuottavuutta sisävaiheessa, koska märkätila ei tällöin toimi kohteissa pullonkaulana. Märkätilat eivät toimi hankkeissa pullonkaulana, niin kauan kuin märkätilassa pysytään tahdissa, mutta myöhästymiset aiheuttavat koko sisävaiheelle haasteita ja kustannuslisiä. Nämä näkökulmat tukevat ajatusta, että märkätilan käyttö olisi mahdollisuutena tuottavuuden kehitykseen.

Haastattelututkimuksen asiantuntija haastatteluissa arvioitiin märkätilaelementin vaikutusta märkätilan laatuun sekä hankkeen kokonaisuuden laatuun seuraavasti: Toimittajien reklamaatioita (eli huomautuksia laadusta tai aikataulusta) tehdään enemmän paikalla rakennettavissa märkätiloissa, koska paikalla rakennettavissa märkätiloissa toimittaja on enemmän, kuin märkätilaelementeissä. Tällöin myös herkemmin joudutaan huomauttamaan, eikä huomautuksia aina kirjata järjestelmiin. Tästä syystä suorituskykyvertailussa käytetyt järjestelmän näyttämät reklamaatioiden määrät eivät anna täyttä totuutta. Märkätilaelementin valmiin tuotekokonaisuuden virheettömyys koettiin parempana, kuin paikalla tehty kokonaisuus. Virheiden suhde arvioitiin olevan jotain 1:5 luokkaa.

Märkätilaelementillä arvioitiin olevan positiivisia vaikutusta myös yleiseen laatuun, koska sisävaiheen työnjohtajalla vähemmän työvaiheita saman aikaisesti valvottavan ja on enemmän aikaa käytettävissä laadun varmistamiseen sekä valvontaan märkätilaelementtikohteessa kuin paikalla rakennettavassa märkätilakohteessa. Laatuun vaikuttaa

oleellisesti myös toimittajan valinta. Hyväksi todetun toimittajan palvelun sekä tuotteen laatuun voidaan luottaa enemmän, jolloin työtä ei tarvitse valvoa ja kontrolloida yhtä paljon, kuin tuntemattoman toimittajan. Esimerkiksi tämä voi olla yksi syy miksi esimerkkikohteella 3 on toimittajien palautearviot parempia kuin muissa esimerkkikohteissa. Tämä tukee ajatusta pidemmän aikavälin yhteistyöstä ja jopa mahdollisesti yhteistyökumppanuudesta perinteisen kilpailutuksen sijaan. Laatuun vaikuttaa positiivisesti myös se, että märkätilaelementtihankkeen lopussa on enemmän aikaa itselle luovutukseen ja toimintakokeisiin, koska työvaiheiden myöhästymisherkkyys on pienempi.

Märkätilaelementin vaikutus asennustöiden haasteellisuuteen liittyy oleellisesti kokemattomuuteen. Märkätilaelementti on koettu hyväksi ja toimivaksi ratkaisuksi. Toteutus taas voi mennä pieleen monesta eri syystä ilman aikaisempaa kokemusta. Esimerkiksi märkätilaelementin korkomaailma voi helposti tuottaa paljon lisäkustannuksia myöhäisessä lattiatasoitusvaiheessa, jos ei ole tietoa märkätilaelementin pohjassa olevasta viemärin vahvikevalun vaatimista syvennyksestä kololaatoissa.

Haastattelututkimuksen asiantuntija haastatteluissa arvioitiin märkätilaelementin vaikutusta märkätilan joustavuuteen ja luotettavuuteen seuraavasti: Suunnitelmat tulee olla 10 viikkoa ennen toimitusta tehtaassa, joka sitoo pitkälti kustannustehokkaan joustavuuden. Jälkikäteen märkätilaelementin joustavuus/korjausmahdollisuus, esimerkiksi rikkinäisen seinälaatan irrotus, on helpompaa, halvempaa ja aiheuttaa vähemmän häiriöitä työmaalle, koska märkätilaelementtien seinissä ei käytetä siveltävää vedeneristettä, joka voisi rikkoutua ja laatan korjaajalla ei ole muuta työvaihetta kesken kyseisellä rakennustyömaalla. Tällöin korjaustöiden takia, ei tarvitse keskeyttää laatoitustöitä, jos korjaus on tehtävä heti. Toimittajan luotettavuuteen vaikuttaa toimittajavalinnat. Kuten laadussakin, luotettavuudella on mahdollisuus heikentyä, jos toimittaja on uusi, eikä täysin tunne tilaajan toimintatapoja. Märkätilaelementtien toimittajia on vähän, joten suuremmalla todennäköisyydellä toimittajan kanssa työskentelystä on aikaisempaa kokemusta, jolla on vaikutus luotettavuuteen. Myös yhteistyökumppanuus voisi olla parantava vaikutus luotettavuuteen.

Haastattelututkimuksen asiantuntija haastatteluissa arvioitiin märkätilaelementin vaikutusta yhteiskuntavastuullisuuteen seuraavasti: Taloudellista vaikutusta on vaikea mitata monestakin syystä. Suurin syy on se, että kustannuksien laskennassa on monta muut-

tujaa, jotka vaikuttavat suoraan kustannuksiin. Tällaisia muuttujia ovat esimerkiksi talotekniset asiat. Lisäksi ei tunnisteta märkätilaelementin tuomia hyötyjä, jolloin ei myöskään osata mitata näitä hyötyjä, eikä näin ollen pystytä hyödyntämään märkätilaelementin tuomia hyötyjä. Tunnistamisen lisäksi märkätilaelementin käyttö vaatii jokaiselta hankkeesta mukana olevalta tiimiltä erikoisosaamista, jotta hyötyjä osataan hyödyntää. Märkätilaelementin tuomat hyödyt työmaalla kuitenkin koettiin kompensoivan rakennusvaiheessa märkätilaelementin tuomat kustannuslisät.

Jotta märkätilaelementistä saadaan kaikki edut hyödynnettyä kohteessa, tulee märkätilaelementin käytöstä olla päätös jo hankesuunnittelussa. Tämä sama vaikutus tunnistettiin myös kirjallisuuskatsauksessa. Kun päätös tehdään jo hankesuunnitteluvaiheessa, pystytään suunnittelutoimistoiden tarjouspyyntöihin sisällyttämään märkätilaelementin vaatimat rakennetekniset asiat ja vältytään suunnitelmien lisäkustannuksilta. Päätös märkätilaelementtien käytöstä ei vielä sido täysin rakennusliikettä käyttämään märkätilaelementtiä, koska paikalla rakennettu pystytään toteuttamaan samoilla rekenne teknisillä suunnitelmilla, mutta toisinpäin tämä ei ole mahdollista, jolloin aikaisella päätöksellä ei ole pysyvää vaikutusta joustavuuteen.

Märkätilaelementillä pystytään mittakaavaedun avulla luomaan kustannussäästöjä, joilla pystytään kompensoimaan kustannuslisiä. Esimerkiksi tilausmäärää pystytään kasvattamaan ja näin ollen yksikköhintaa alentamaan, kun useampaan kohteeseen tilataan samalla sopimuksella tai saman aikaisesti märkätilaelementit samalta toimittajalta. Yhteistyökumppanuudestakin arvioitiin olevan myös vaikutusta kustannustehokkuuteen. Yhteistyökumppanuudella voidaan märkätilatoimittaja sitouttaa hankkeeseen jo ennen hankesuunnitteluvaihetta, jolloin pystytään hyödyntämään jo tarjousvaiheessa kaikki kustannussäästöjä tuovat tekniset asiat.

Yhteistyökumppanuudella ja mittakaavaetuuden tavoittelemisella arvioitiin olevan synergiaetuuksia: Mitä suurempi tilaus elementtitoimittajan tehdaskapasiteetista on yhteistyökumppanilla, sitä enemmän yhteistyökumppanilla on mahdollisuutta vaikuttaa tuotantoteknisiin asioihin tehtaalla. Tätä vaikuttamismahdollisuutta hyödyntämällä pystytään vaikuttamaan niin kustannustehokkuuteen ja joustavampaan märkätilaelementtien käyttöön, joita voidaan hyödyntää haastavimmissa omaperustaisissa kohteissa.

Sosiaalisina vaikutuksina märkätilaelementillä ei koettu olevan turvallisuustoimia lisääviä, eli kustannuksia lisääviä vaikutuksia elementtien asennusvaiheessa. Samat turvallisuuteen liittyvät riskit pätevät koko elementtien asennusvaiheessa. Sen sijaan märkätilaelementillä koettiin olevan positiivisia vaikutuksia turvallisuuteen sisävaiheessa. Paikalla rakennettavissa märkätiloissa materiaalien haalauksia on enemmän, jätteen määrä on isompi ja työvaiheet aiheuttavat enemmän häiriöitä. Tästä syystä paikalla tehtävissä märkätilahankkeissa suuremmalla logistiikalla on negatiivisia vaikutuksia työturvallisuuteen, työergonomiaan ja yleisesti toiminnan häiriöihin.

Märkätilaelementillä ei ole negatiivista vaikutusta työn tilaajan omien työntekijöiden työllistämiseen, koska työvaiheet, jotka jäävät pois märkätilaelementtien takia, ovat toimittajien työkokonaisuuksia. Materiaalien ja jätteiden siirtelyt ovat työtehtäviä, jotka jäävät omien työntekijöiden osalta pois. Painavien materiaalien ja jätteiden siirtely ei ole kovin ergonomista työtä, jolloin sen pois jääminen voidaan katsoa positiiviseksi sosiaalisesti vaikutukseksi työturvallisuuden näkökulmasta. Toimittajien työkokonaisuuden vähentymisellä arvioitiin olevan seuraavia vaikutuksia: Vähemmän tarjoajia, koska kaikki eivät suostu tarjoamaan täyselementtikohdetta, eikä kaikilla ole samoja linjattuja yksikköhintoja märkätilaelementtitoimittajien kanssa, jolloin ne eivät ole kilpailukykyisiä. Lisäksi toimittajan työkokonaisuus pienenee, jolloin myös hankkeesta saatava liikevaihto pienenee. Liikevaihdon pienentyessä menetetty kate pyritään saamaan jollakin muulla tavalla ja helpoin tapa toimittajalle on kateprosentin nostaminen, jolla voi olla vaikutusta yksikköhintoihin täyselementti kohteessa.

Suorituskykyvertailussa todettiin, että märkätilaelementillä on pienentävä vaikutus ympäristöön. Haastatteluissa oltiin yksimielisesti samaa mieltä, että märkätilaelementtikohdeissa jätettä syntyy vähemmän, kuin paikalla tehtävissä märkätilakohteissa. Myös logistiikan tuomat saasteet ja melut työmaalla ovat pienemmät, koska toimituksia työmaalle on vähemmän, kun märkätilaelementit toimitetaan valmiina työmaalle.

Kirjallisuuskatsauksessa esiin tulleita vaikuttavia tekijöitä märkätilaelementin suorituskykyyn todennettiin haastattelututkimuksessa seuraavanlaisesti: Suunnittelijoiden osaamattomuus todettiin kirjallisuuskatsauksessa yhdeksi heikkoudeksi. Suunnittelijoiden ”osaamattomuus” tai pikemminkin tietämättömyys, johtuu siitä, että märkätilaelementtejä voidaan toteuttaa monellakin tapaa oikein, jolloin suunnittelijoilla ei ole tietämystä min-

käläisillä detaljeilla tai ulkomitoilla toimittajan elementti toteutetaan. Suunnittelijat osavat suunnitella kohteen märkätilaelementeille sekä osaa kysyä oikeat kysymykset, mutta vastaukset tulee saada märkätilaelementtitoimittajalta. Joten kysymys ei ole osaamattomuudesta vaan suunnittelijoilla pitää olla varhaisessa vaiheessa käytettävien märkätilaelementtien tekniset tiedot.

Työmaiden rajalliset olosuhteet todettiin myös kirjallisuuskatsauksessa vaikuttavan tekniisiin ongelmiin ja kustannuslisiin. Märkätilaelementin käyttöön liittyvä suurin rajoittava tekijä on välipohjaratkaisut. Tällä hetkellä märkätilaelementtiä käytetään vain ontelovälipohjaisissa hankkeissa, mutta osa tuotannosta tehdään paikalla valettavalla holvilla siitä saatavien hyötyjen takia. Paikalla valettavaan holviin valmistaa tällä hetkellä vain yksi toimittaja märkätilaelementtiratkaisuja, eikä paikallavalettavaan holviin asennetuista märkätilaelementeistä ole vielä kokemusta.

Kirjallisuuskatsauksessa todettiin märkätilaelementtien vaativan laajaa koordinoitua ja suurta organisaatiota läpi prosessin, joka myös vahvistettiin haastattelututkimuksessa. Tätä ei koettu tilaajan organisaatiossa heikkoudeksi, koska tilaajalla on iso ja moniosaava organisaatio, joka täyttää märkätilaelementin kriteerit. Sidosryhmien välistä heikkoa viestintää ei koettu varsinaiseksi heikkoudeksi, mutta viestinnässä heikkoutena koettiin olevan viestinnän oikea-aikaisuus, johon vaikuttavat monet tekijät, joista osaa ei voida edes hallita, kuten tilaajan valinnat ja ohjeet, viranomaiskäsittelyt ja kaavavaateet. Viestintä tarvitsee todella aktiivista koordinoitua rakennuttajan puolelta, jotta oikea-aikainen viestintä toteutuu.

Markkinoiden yleinen mielipide märkätilaelementtien laadusta on epäilevä, eikä vastaanotto ehdotuksesta käyttää märkätilaelementtiä ole positiivinen. Yleinen mielikuva tulee 1970-luvun märkätilaelementeistä, joiden laadussa oli heikkouksia, kuten tutkimuksessa aikaisemminkin käsiteltiin. Tilaajalle tulee pystyä perustelemaan lisäarvoa tuovat edut märkätilaelementeistä, jotta tilaaja kiinnostuu tuotteesta. Tällaista lisäarvoa voi olla esimerkiksi laadukkaammat ja kestävämmät materiaalit, alhaisempi hinta tai nopeampi rakennusaika. Myös erityisesti tästä syystä on tärkeää tutkia märkätilaelementtien käyttöä ja löytää ne lisäarvoa tuovat edut, jotta pystytään asiakkaalle ne lupaamaan.

Kirjallisuuskatsauksessa tunnistettu vähäiset muutosmahdollisuudet asukasvalinnoissa perusteltiin haastattelussa sillä, että tilaaja määrittelee elementeissä käytettävät pinta-materiaalit ja kalusteet yhdessä elementtitehtaan kanssa. Kustannustehokkain ratkaisu kohteen kaikissa elementeissä on samat materiaalit (esim. laatat) ja tuotteet. Asuntokohtaiset räätälöinnit ovat hankalia ja kalliimpia ratkaisuja kuin paikalla tehdyissä kylpyhuoneissa, jolloin niiden käyttö jää vähäiseksi. Tuotannon näkökulmasta asukasvalintojen muutosmahdollisuudet eivät ole ongelma, mutta kaupan perushintaan kuuluvat asukasvalinnat tulisi rajata mahdollisimman pieneksi taloudellisista syistä, ja muutoksista aiheutuvat kustannukset tulisi kompensoida ostajan lisähinnalla. Tämä sama käytäntö on myös autoteollisuudessa, jossa käytössä on massaräätälöinti.

Märkätilaelementtitoimittajia ei ole montaa, joka vaikuttaa suoraan perinteiseen kilpailutukseen vähentyneellä kilpailun tuomalla hintapaineella. Immateriaalioikeudet ei koettu olevan merkittävä tekijä märkätilaelementin markkinassa, koska märkätilaelementin tekotapoja on monia, jotka ovat toimivia. Valinta perustuu pitkälti toimittajien märkätilaelementin ominaisuuksiin ja niiden soveltumista hankkeen ominaisuuksiin. Toimittajat eivät suoraan pysty hyödyntämään työn tilaajan standardoituja konsepteja, koska niiden tuotanto ei ole riittävän joustava, jotta se pystyisi palvelemaan kaikkien suurien asiakkaiden omia konsepteja. Tästä päästäänkin komppaamaan aikaisemmin todettuun yhteistyökumppanuuden synergiaetua tehtaan kapasiteetin käyttöasteen kanssa.

6.2 Tuloksien yhteenveto

Märkätilaelementin vahvuudet, jotka todennettiin haastattelututkimuksessa:

- Tulokset todensivat kirjallisuuskatsauksessa esiin tulleen parantuneen laadun. Laatu arvioitiin parantuneen niin märkätilan kohdalla kuin yleisesti kohteessa, parantuneen laadun valvonnan myötä, joka näkyy muun muassa vähentyneissä reklamaatioiden ja korjauksien määrässä. Märkätilaelementtien asennuksien haastavuus riippuu asennustiimin kokemuksesta ja osaamisesta.
- Tulokset todensivat rakennusaikaisen nopeuden olevan parempi märkätilaelementtikohteissa. Tuloksissa kumottiin esimerkkikohteiden 1 ja 2 poikkeavuuden rakennusajan nopeudessa varmuuspuskureilla.

- Tulokset todensivat parantuneen resurssitehokkuuden vähentyneillä sisätyötehtävillä ja hukalla. Elementtien asennusvaiheessa märkätilaelementin tuomat lisätyöt ei koettu vaikuttavan merkittävästi asennusporukan työmäärään.
- Tuloksissa arvioitiin sopimussuhteiden, ristiriitojen, ja häiriöiden määrään vähentyneen työvaiheiden vähentymisen myötä.
- Tuloksissa arvioitiin yleisesti työturvallisuuden ja työergonomisuuden parantuneen työmaalla vähentyneillä sisätyövaiheilla sekä häiriöiden vähentymisellä. Elementtien asennusvaiheessa vaikutus koettiin neutraalina.
- Tulokset todensivat märkätilaelementin positiivisen vaikutuksen ympäristöön vähentyneen jätteen ja logistiikan määrän ansiosta.

Märkätilaelementin heikkoudet, jotka todennettiin haastattelututkimuksessa:

- Tulokset todensivat, että kokemuksen puute asennusorganisaatiossa vaikuttaa olennaisesti märkätilaelementin käyttöön ja siitä saataviin etuihin. Kokemuksen puutteella koettiin olevan vaikutusta teknisiin ongelmiin ja lisäkustannuksiin, kuten kirjallisuuskatsauksessa tunnistettiin, joiden vaikutusta pystytään pienentämään aikataulussa olevilla varmuuspuskureilla.
- Tuloksissa todettiin, että heikkoutena ei ole suunnittelijoiden osaamattomuus (kokemuksen puute), vaan suunnittelijoiden tietämättömyys käytettävästä märkätilaelementistä, joka ei ole suunnittelijoista aiheutuvaa.
- Tuloksissa arvioitiin, että suunnittelu-aika pysyy samana, mutta suunnitteluprosessiin tulee ottaa mukaan märkätilaelementtitoimittaja, jotta pystytään minimoimaan suunnitteluun liittyvät kustannuslisät. Tämä todentaa kirjallisuuskatsauksessa tunnistetun suunnittelun toimintamallin muuttamisen, kun suunnitteluvaiheessa tulee yksi toimija lisää.
- Tuloksissa todettiin, että märkätilaelementtejä käytettävissä kohteissa vaaditaan jokaiselta hankkeeseen osallistuvan tiimiltä erikoisosaamista, joka myös tukee kirjallisuuskatsauksen väitettä hankinta- ja liiketoimintamallin muuttamisesta.
- Tuloksissa arvioitiin, että hankkeissa, joissa käytetään märkätilaelementtiä, on korkeammat rakennuskustannukset, jos ei osata hyödyntää märkätilaelementtien etuja suunnittelu- ja toteutusvaiheessa (sis. mittakaavaetu). Rakennuskustannuksien laskenta todettiin haastavaksi, jolloin myös sen kustannuksien lisän todentaminen ei ole täysin varmistettavissa.

- Tuloksissa todettiin, että märkätilaelementtien joustavuus on heikompaa tilausten aikaisemman ajankohdan takia, mutta märkätilaelementissä on parempi joustavuus valmiissa tuotekokonaisuudessa.
- Tuloksissa todettiin, että märkätilaelementin eduista ja niiden tuomasta lisäarvosta ei ole selvää ymmärrystä, koska todellisen arvonluonnin mittaaminen on todella haastavaa.
- Vaikka tuloksissa todettiin, että märkätilaelementin käytöllä ei ole vaikutusta negatiivisesti sosiaaliin vaikutuksiin tilaajalle, haastatteluissa arvioitiin, että toimittajien työsuorituksen vähentymisen vaikutukset näkyvät niin tarjoajien määrässä kuin yksikköhinnoissa, joka arvioitiin heikentävän perinteisen kilpailutuksen tuomaa kustannuspainetta tarjouksissa.
- Tuloksissa todettiin, että työmaiden rajalliset olosuhteet näkyvät osalta kokemattomuudessa (mahdollisina teknisinä ongelmina ja kustannuslisinä), koska lukittu runkotyyppi ei ole kaikille tiimeille luontevin. Myös paikalla valettavaan holviin on ratkaisuja, mutta niistä ei ole kokemusta.
- Tuloksissa todettiin, että märkätilaelementin käyttö vaatii laajaa koordinoitua ja suurta organisaatiota, mutta sitä ei koettu tilaajaorganisaatiossa heikkoudeksi. Tilaajan organisaatio on iso ja moniosaava, joka täyttää märkätilaelementin käytön vaatiman laajan koordinoinnin ja ison organisaation tarpeen.
- Tuloksissa todettiin, että sidosryhmien kanssa viestintä ei ole heikkoa, mutta viestinnän oikea-aikaisuus vaatii proaktiivisuutta ja hyvää koordinoitua rakennusliikkeeltä läpi koko prosessin.
- Asukasmuutokset todettiin vaikeammiksi ja kalliimmiksi vaihtoehtoiksi, joka ei suoraan vaikuta muutosmahdollisuuteen vaan muutosmahdollisuuden kustannustehokkuuteen, joten sitä voidaan pitää märkätilaelementin heikkoutena verrattuna paikallarakennettavaan tapaan.

Märkätilaelementin mahdollisuudet, jotka todennettiin haastattelututkimuksessa:

- Tuloksissa arvioitiin, että märkätilaelementin käytöllä on mahdollista kehittää työmaan tuottavuutta, kustannustehokkuutta ja laatua organisaatio-oppimisen sekä mittakaavaedun kautta. Märkätilaelementin käytöllä pystytään poistamaan märkätilan tuottamat pullonkaulat, kuten kaatolattioiden kuivumisajat.

- Tuloksissa arvioitiin, että yhteistyökumppanuudella on vaikutusta mittakaava-etuun ja niillä on yhdessä mahdollisia synergisiä etuja, kuten kustannustehokkuus ja muutosmahdollisuus. Yhteistyökumppanuudella arvioitiin olevan vaikutusta myös laatuun ja luotettavuuteen.
- Tuloksissa arvioitiin, että märkätilaelementin käytöllä on mahdollista myös kehittää kestävän rakentamisen kulttuuria vähentyneillä ympäristövaikutuksilla.

Märkätilaelementin uhkia, jotka todennettiin haastattelututkimuksessa:

- Tuloksissa todettiin, että markkinoiden yleinen mielipide on uhka märkätilaelementin käyttöön, koska vastaanotto märkätilaelementille on epäilevä.
- Tuloksissa todettiin, että toimittajia ei ole montaa, jolla on suora vaikutus perinteiseen kilpailuttamiseen.
- Tuloksissa todettiin, että toimittajat eivät pysty hyödyntämään työn tilaajan standardeja, koska toimittajien tehtaan joustavuus ei ole riittävä, eikä tilausmäärät ole riittävän isoja, jotta niiden takia olisi kannattavaa muuttaa tehtaan toimintaa.
- Tuloksissa todettiin, että immateriaalioikeudet eivät ole merkittävä tekijä markkinoilla, koska on monia toimivia tapoja toteuttaa märkätilaelementti.

Kuvioon 12. on koottu SWOT-analyysin nelikentän kaikki tekijät ja päivitetty vastaamaan haastattelututkimuksen jälkeistä tilannetta. Kaikki vihreällä ja punaisella värillä olevat tekijät ovat tutkittu tutkimuksessa. Vihreä väri tarkoittaa, että tekijä on todennettu / vahvistettu. Punainen tarkoittaa, että tekijä on todennettu vääräksi. Yliviivatut mustat ovat rajattu tutkimukset pois, koska ei koettu olevan relevantteja tämän tutkimuksen tuloksien kannalta.

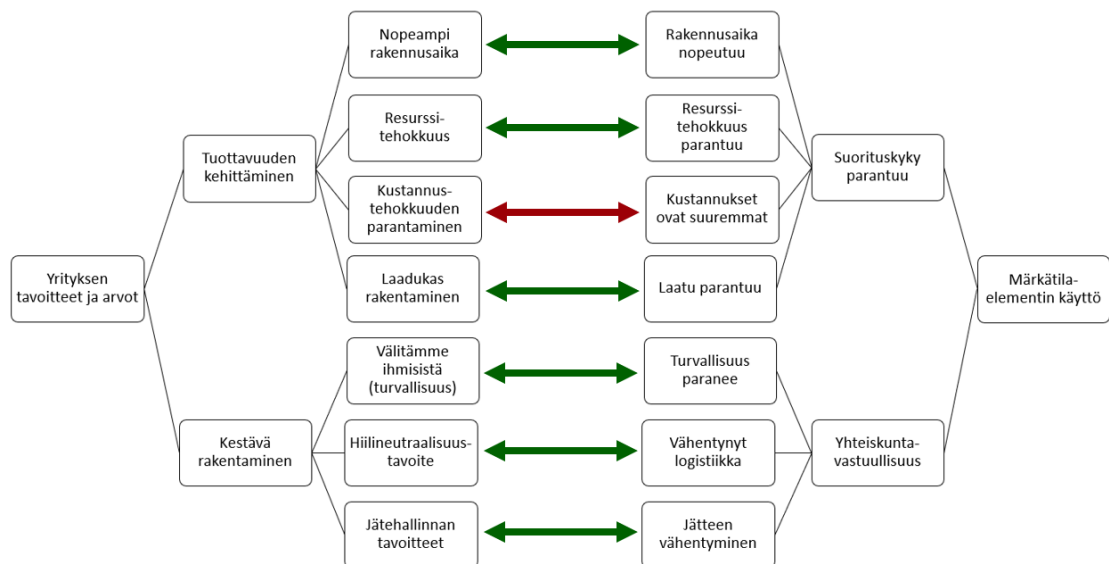
	Positiiviset tekijät	Negatiiviset tekijät
Sisäiset tekijät	<p>Vahvuudet (S)</p> <p>S1 = Nopeutunut rakennusaika S2 = Parantunut resurssitehokkuus S3 = Parantunut laatu S4 = Vähemmän sopimussuhteita S5 = Parantunut työturvallisuus S6 = Vähentynyt työmaalogistiikka S7 = Vähemmän ympäristövaikutuksia</p>	<p>Heikkoudet (W)</p> <p>W1 = Kokemuksen puute W2 = Enemmän suunnittelutyötä W3 = Korkeammat rakennuskustannukset W4 = Huono joustavuus W5 = Toimintamallien muuttaminen W6 = Laaja koordinointi ja organisaatio W7 = Sidosryhmien heikko viestintä W8 = Eduista ei selkeää ymmärrystä W9 = Rajalliset olosuhteet</p>
Ulkoiset tekijät	<p>Mahdollisuudet (O)</p> <p>O1 = Tuottavuuden kehitys O2 = Kestävä rakentaminen O3 = Yhteistyökumppanuus O4 = Kannustinjärjestelmät</p>	<p>Uhat (T)</p> <p>T1 = Hyväksynnän puute T2 = Toimittajien pieni määrä T3 = Standardit ja yleiset käytännöt T4 = Immateriaalioikeudet T5 = Haluttomuus kehittää prosesseja</p>

Kuvio 12. Haastattelututkimuksen SWOT-analyysin nelikenttä

7. POHDINTA

7.1 TOWS-analyysi ja strategiaehdotukset

SWOT-analyysin vaikutukset verrataan alussa esitettyihin yrityksen arvoihin ja tavoitteisiin kuviossa 13. Vaikutuksien vertailusta nähdään, että vaikutukset suurimmalta osin tukevat työn tilaajan tavoitteita ja arvoja. Ainoa tekijä, joka on punaisella, on korkeammat rakennuskustannukset, ilman mittakaava etua. Korkeammat rakennuskustannukset arvioitiin olevan kompensoitavissa muilla eduilla, kun tuottavuutta parantavia tekijöitä osataan hyödyntää. Edellä mainituista syistä märkätilaelementin käyttö tässä tutkimuksessa koetaan hyväksi vaihtoehdokseksi tavaksi, jolloin tässä tutkimuksessa on järkevää lähteä kehittämään märkätilaelementin käyttöä tuotantostrategisilla toimintasuosituksilla. Toimintasuositukset luodaan SWOT-analyysin pohjalta käyttäen TOWS-analyysiä strategioiden luonnin analyysityökaluna. TOWS-analyysin strategioiden tarkoitus on vahvistaa vahvuuksia entisestään, hyödyntää mahdollisuuksia, neutralisoida tai minimoidaan heikkouksia ja uhkia. TOWS-analyysin nelikenttä on kuvattu kuviossa 14.



Kuvio 13. Tilaajan tavoitteet ja märkätilaelementin suorituskyky

	Ulkoiset tekijät	Mahdollisuudet (O)	Uhat (T)
Sisäiset tekijät		O1 = Tuottavuuden kehitys O2 = Kestävä rakentaminen O3 = Yhteistyökumppanuus	T1 = Hyväksynnän puute T2 = Toimittajien pieni määrä T3 = Standardit ja yleiset käytännöt
Vahvuudet (S)	S1 = Nopeutunut rakennusaika S2 = Parantunut resurssitehokkuus S3 = Parantunut laatu S4 = Vähemmän sopimussuhteita S5 = Parantunut työturvallisuus S6 = Vähentynyt työmaalogistiikka S7 = Vähemmän ympäristövaikutuksia	SO Strategia S1+S2+S3&O1 Tuottavuuden kehitystiimi S5+S6+S7&O2 Kestävän rakentamisen kulttuurin vahvistus S4&O3 Yhteistyökumppanuuden hyödyntäminen	ST Strategia S1+S2+S3+S7&T1 Muutetaan markkinoiden yleistä mielipidettä S4&T2+T3 Hyödynnetään toimittajien pientä määrää yhteistyöllä
Heikkoudet (W)	W1 = Kokemuksen puute W2 = Enemmän suunnittelutyötä W3 = Korkeammat rakennuskustannukset W4 = Huono joustavuus W5 = Toimintamallien muuttaminen W6 = Laaja koordinointi ja organisaatio W7 = Sidosryhmien heikko viestintä W8 = Eduista ei selkeää ymmärrystä W9 = Rajalliset olosuhteet	WO Strategia W1&O1 Kokemuksien ja hyvien käytäntöjen jakaminen W8&O1 Tutkimustyötä etujen hyödyntämiseen W5&O1 Toimintamallien kehittäminen W3&O1+O3 Kustannustehokkuus mittakaavaedulla W9&O1+O3 Poistetaan työmaan rajoittavat tekijät W2&O3 Suunnitteluvaiheeseen panostaminen etujen hyödyntämiseen W4&O3 Yhteistyöllä joustavampi tuotanto	WT Strategia W3&T2 Korkeampien rakennuskustannuksien kompensoiminen laadullisilla eduilla W4&T1 Huonon joustavuuden hyväksynnän puute W9&T2+T3 Rajalliset olosuhteet sekä standardien puute ja toimittajien pieni määrä

Kuvio 14. TOWS-analyysin strategiakentät

Ensimmäinen strategiakenttä on vahvuudet ja mahdollisuudet (SO). SO-strategiat kertovat sen, miten sisäisiä vahvuuksia voidaan hyödyntää eri tilanteissa mahdollisuuksien saavuttamiseksi ja mahdollisuuksien muuttamista tilaajan kilpailueduksi.

S1+S2+S3&O1-strategia: Tuottavuuden kehitystiimi

Nopeutunut rakennusaika, parantunut resurssitehokkuus ja laatu ovat hyviä syitä jatkaa märkätilaelementtien käyttämistä kohtuuhintaisissa asuinrakennuksissa. Pelkän käyttämisen rinnalle suositellaan nimeämään vastuu henkilö, joka luo kehitystiimin kokeneista ja kiinnostuneista henkilöistä, jotka yhdessä jakavat käyttökokemuksia ja hyviä käytäntöjä märkätilaelementtien käytön kehittämiseksi. Lisäksi suositellaan hyödynnettäväksi opiskelijoiden päättötöitä kehitys- ja tutkimustöinä. Näin pystytään hyödyntämään tilaajaorganisaation isoa ja moniosaavaa henkilöstöä tuottavamman toiminnan kehittämiseksi.

S5+S6+S7&O2 -strategia: Kestävän rakentamisen kulttuurin vahvistus

Märkätilaelementtien käytön avulla parantunut työmaanturvallisuus, vähentynyt logistiikka ja ympäristövaikutukset parantavat yhteiskuntavastuullisuutta ja kestävän rakentamisen kulttuuria. Kestävän rakentamisen kulttuuri tukee tilaajayrityksen strategisia hiilineutraalisuus tavoitteita ja voi luoda kilpailuetuutta ”vihreämmällä” rakentamisella. Parantunut

ympäristöystävällisyys ja työturvallisuus tukeutuu tilaajayrityksen vihreään arvoon, eli ”välitämme ihmisistä ja ympäristöstä” sekä Skanska-konsernin tavoitteeseen nolla tapaturmaa.

S4&O3 -strategia: Yhteistyökumppanuuden hyödyntäminen

Märkätilaelementin vahvuudeksi koettiin yhden sopimussuhteen tuomat monet hyödyt kuten vähentyneet häiriöt ja ristiriidat, joilla oli vaikutuksia työturvallisuuteen sekä resursien tehokkuuteen. Tämän vahvuuden täyttä potentiaalia pystytään hyödyntämään pitkä aikaisella yhteistyöllä ja yhteistyökumppanuudella. Märkätilaelementti on kriittinen tuotekokonaisuus, jolloin strategisesta hankinnasta, eli yhteistyökumppanuudesta olisi hyötyä laatuun ja luotettavuuteen, kuten tutkimuksessa arvioitiin. Tutkimuksessa arvioitiin myös, että yhteistyökumppanuudesta on etuuksia, kun tavoitellaan mittakaavaetua, kuten joustavampi ja kustannustehokkaampi tuotanto.

Toisessa kentässä ovat heikkoudet ja mahdollisuudet (WO). WO-strategioiden tarkoitus on kääntää märkätilaelementtien käytön heikkoudet mahdollisuuksien kautta vahvuudeksi.

W1&O1 -strategia: Kokemusten ja hyvien käytäntöjen jakaminen

Kokemuksen puute arvioitiin tekijäksi, jolla on negatiivisia vaikutuksia aikatauluun ja kustannustehokkuuteen. Organisaation kokemuksen puutetta pystytään parantamaan jakamalla jo opittuja asioita ja keräämällä kokemusta. Tässä suositellaan hyödynnettäväksi S&O strategiassa perustettua kehitystiimiä ja kerätään yhteen kokemuksista yleisistä ongelmista ja niihin hyvistä menetelmistä, jotta jokaisen työmaaorganisaation ei tarvitse kohdata samoja ongelmia omissa hankkeissaan. Suositellaan hyödynnettäväksi opiskelijoiden päättöitä kehitys- ja tutkimustöinä, erityisesti ongelmien ratkomiseen ja hyvien käytäntöjen jakamiseen. Lisäksi on hyvä huomioida, että kokemusta ei kerry kuin tekemällä, eli kehitystiimin kehittymisen takia, tulee myös etsiä sopivia kohteita märkätilaelementin toiminnan kehittämiseksi. Tässä tutkimuksessa arvioitiin, että sopivimmat kohteet ovat kohtuuhintaiset asuintalot, jossa pystytään hyödyntämään mittakaavaetua.

W8&O1 -strategia: Tutkimustyötä etujen hyödyntämiseen

Märkätilaelementin arvoa tuottavista ominaisuuksista sekä siitä, miten ominaisuuksia pystytään hyödyntämään, on haasteellista mitata. Mitattaessa, tulee pystyä hyödyntämään useamman kohteen tuloksia, jotta tuloksista pystytään tekemään selkeitä johdonmukaisia johtopäätöksiä. Tämä on yksi suurimmista syistä, miksi ei ole selkeää ymmärrystä eduista tai etujen luomasta lisäarvosta. Suositellaan hyödynnettäväksi S&O strategiassa perustettua kehitystiimiä ja opiskelijoiden päättöitä tutkimuksina, etujen mittaamiseen ja niiden hyödyntämiseen.

W5&O1 -strategia: Toimintamallien kehittäminen

Märkätilaelementtejä käytettävissä kohteissa vaaditaan jokaiselta hankkeeseen osallistuvan tiimiltä erikoisosaamista, joka ei tarkoita suoraan toimintamallien muuttamista, vaan ennemminkin osaamisen kehittämistä, josta voidaan puhua jopa erikoistumisesta. Kuten muissakin O1 strategioissa hyödynnetään tässäkin S&O strategiassa perustettua kehitystiimiä ja opiskelijoiden päättöitä kehitystöinä ja tutkimuksina. Toimintamallit pitää sisällään hankesuunnittelun ja hankintatoimen, joten kehitystiimissä olisi hyvä olla henkilöitä, jotka pystyvät näitä näkökohtia tuomaan ja kehittämään yhdessä tiimin kanssa.

W3&O1+O3 -strategia: Kustannustehokkuus mittakaavaedulla

Tutkimuksessa todennettiin, että märkätilaelementeillä on vaikutuksia korkeampiin rakennuskustannuksiin, jos ei pystytäkään hyödyntämään mittakaavaetua. Kustannustehokkuutta arvioitiin pystyvän parantamaan mittakaavaetua hyödyntämällä. Tällaisia tekijöitä arvioitiin olevan esimerkiksi elementtien toistettavuus. Toistettavuutta pystytään kasvattamaan, kun tilataan useampaan hankkeeseen saman aikaisesti saman tyyppiset elementit. Yhteistyökumppanuudella arvioitiin olevan mahdollista vaikuttaa kustannustehokkuuteen sitouttamalla toimittaja jo hankesuunnitteluvaiheessa projektiin, jolloin pystytään hyödyntämään edut tehokkaammin ja vältytään suunnittelun lisäkustannuksilta. Kustannustehokkuus paranee myös tuottavuuden parantuessa, joten myös kehitystiimillä on iso vaikutus märkätilaelementin kustannustehokkaaseen käyttämiseen.

W9&O1+O3 -strategia: Poistetaan työmaan rajoittavat tekijät

Märkätilaelementin käyttöön rajoittava tekijä on välipohjaratkaisut. Tällä hetkellä märkätilaelementtiä käytetään vain ontelovälipohjaisissa hankkeissa, mutta osa tuotannosta tehdään paikalla valettavalla holvilla siitä saatavien hyötyjen takia. Märkätilaelementtejä pystytään käyttämään monella tavalla eri välipohjaratkaisuissa, mutta näistä ei ole kokemusta. Haasteena paikalla valettavaan holviin asennetuissa märkätilaelementeissä on, että vain yksi toimittaja tällä hetkellä valmistaa märkätilaelementtiratkaisuja paikalla valettavaan holviin, eikä paikalla valettavan holvin kanssa ole vielä märkätilaelementeillä kokemusta. Suositellaan hyödynnettäväksi yhteistyökumppanuutta, jotta saadaan kokemusta ja pystytään kehitystiimin ja yhteistyökumppanin kanssa kehittää asennustapojen toimivuutta, jotta välipohjaratkaisut eivät ole enää rajoittava tekijä.

W2&O3 -strategia: Suunnitteluvaiheeseen panostaminen etujen hyödyntämiseen

Märkätilaelementtien potentiaalisten hyötyjen käyttäminen vaatii enemmän suunnittelutyötä, koska märkätilaelementtitoimittajan tekniset tiedot (hanke)suunnitteluvaiheessa ovat ratkaisevia tekijöitä. Hankekehitysvaiheessa panostamalla suunnitteluun enemmän, luodaan paremmat edellytykset toteutusvaiheessa märkätilaelementin hyödyille, joka näkyy muun muassa kustannustehokkuutena. Arvioitiin, että yhteistyökumppanuudella voidaan märkätilatoimittaja sitouttaa hankkeeseen jo hankesuunnitteluvaiheessa, joka voi olla 3–5 vuotta ennen toteutusta, jolloin pystytään hyödyntämään tarjousvaiheessa kaikki kustannussäästöjä tuovat tekniset asiat.

W4&O3 -strategia: Yhteistyöllä joustavampi tuotanto

Märkätilaelementin huono joustavuus ja vähäiset muutosmahdollisuudet koettiin yhtenä heikkoutena. Yhteistyökumppanuudella ja mittakaavaedun tavoittelemisella arvioitiin olevan synergiaetuuksia. Mitä suurempi tilaus elementtitoimittajan tehdaskapasiteetista on yhteistyökumppanilla, sitä enemmän yhteistyökumppanilla on mahdollisuutta vaikuttaa tuotantoteknisiin asioihin tehtaalla. Tätä vaikuttamismahdollisuutta hyödyntämällä pystytään vaikuttamaan kustannustehokkuuteen ja joustavampaan märkätilaelementtien käyttöön, joita voidaan hyödyntää tulevaisuudessa haastavimmissa omaperustaisissa kohteissa. Yhteistyökumppanin kanssa pystytään tulevaisuudessa kehittämään tehdas-tuotantoa muistuttamaan enemmän massaräätälöintiä, joka vastaa autoteollisuuden tuotantotapaa, jolloin muutosmahdollisuudet ovat kustannustehokkaampia.

Kolmas laatikko on vahvuudet ja uhat (ST). ST-strategioiden avulla pyritään poistamaan tai neutralisoimaan märkätilaelementin käytössä piileviä uhkia.

S1+S2+S3+S7&T1 -strategia: Muutetaan markkinoiden yleistä mielipidettä

Markkinoiden yleiseen epäilevään mielipiteeseen ja hyväksynnän epäroimiseen pystytään vastaamaan märkätilaelementin tuomilla eduilla. Herätetään hankkeen tilaajan mielenkiinto märkätilaelementtiin lisäarvoa tuovilla ominaisuuksilla, kuten nopeammalla rakennusajalla, parantuneella laadulla ja vähentyneellä jätteen määrällä. Voidaan myös pyrkiä markkinoimaan märkätilaelementtiä ympäristöystävällisenä sekä kestävän rakentamisen tuotteena.

S4&T2+T3 -strategia: Hyödynnetään toimittajien pientä määrää yhteistyöllä

Märkätilaelementtitoimittajia ei ole montaa, joka vaikuttaa perinteiseen tarjouskilpailuun, vähentäen perinteisen kilpailun luomaa hintapainetta. Kuten todettiin, immateriaalioikeudet ei koettu olevan merkittävä tekijä märkätilaelementin markkinassa, koska märkätilaelementin tekotapoja on monia, jotka ovat toimivia. Näin ollen valinta perustuu pitkälti toimittajien märkätilaelementin ominaisuuksiin ja niiden soveltumista hankkeessa oleviin tarpeisiin. Jokaisella toimijalla on himan eri tekniset vaatimukset märkätilaelementin käytöstä eikä vakituista standardia ole olemassa. Eivätkä tavallisessa tilanteessa toimittajat eivät pysty täysin hyödyntämään tilaajan standardoituja konsepteja, koska niiden tuotanto ei ole riittävän joustava, jotta se pystyisi palvelemaan kaikkien suurien asiakkaiden omia konsepteja. Suosituksena on hyödyntää sopimussuhteiden vähäistä määrää, luomalla yhteistyötä yhden toimijan kanssa, märkätilaelementtien hankintastrategiassa, koska hinta paineen puuttumisen takia kilpailutuksella ei juurikaan ole vaikutuksia tarjouksien sisältöihin. Tietyn toimijan kanssa toimiminen poistaa hankesuunnittelusta käytettävän märkätilaelementin teknisien vaatimuksien tietämättömyyden pois, kun käytetään yhtä toimijaa, jolla on tietty tapa.

Neljäs laatikko on heikkoudet ja uhat (WT). Jos heikkoudet tai uhat ovatkin pysyviä, WT-strategioilla pyritään se huomioimaan toiminnassa ja neutralisoimaan tai minimoimaan tällaiset tekijät.

W3&T2: Korkeampien rakennuskustannuksien kompensoiminen laadullisilla eduilla

Jos korkeampia rakennuskustannuksia ei pystytä kompensoimaan eduilla, eikä toimittajien kilpailutuksella ole vaikutusta hankintakustannuksiin, tulee muiden laadullisten, eli ei rahallisesti mitattavien etujen hyödyt olla riittävän hyviä, jotta on kannattavaa maksaa märkätilaelementistä hieman enemmän. Laadullisten (ei rahallisesti mitattavien) etujen tunnistaminen, mittaaminen ja hyödyntäminen tulee olla tällöin hyvin hallinnassa.

W4&T1: Huonon joustavuuden hyväksynnän puute

Jos huonoa joustavuutta ei pystytä parantamaan eikä huonoa joustavuutta hyväksyttyä kuluttajamarkkinoilla. Suositellaan märkätilaelementin käyttöä jatkaa vain kohtuuhintaisissa asuinrakennuksissa, jossa ei tarvita joustavuutta. Tällöin märkätilaelementin käyttöä pystytään kehittämään ja tulevaisuudessa kun teknologian kehitys tekee mahdolliseksi joustavamman märkätilaelementin käytön, tilaajan organisaatio on valmis, vaikka tarvittaessa omalla tuotannolla luomaan kilpailu etuutta muihin.

W9&T2+T3: Rajalliset olosuhteet sekä standardien puute ja toimittajien pieni määrä

Jos työmaan rajallisia olosuhteita ei pystytä poistamaan markkinoiden pienen toimittajamäärän takia, suositellaan märkätilaelementin käyttöä jatkaa vain kohteissa, joissa käytetään ontelolaattavälipohjaa ja tulevaisuudessa kun märkätilaelementtien kehitys tekee mahdolliseksi muiden välipohjien käytön, tilaajan organisaatio on valmis.

7.2 Tutkimuksen laadun arviointi

Reliabiliteetin avulla voidaan arvioida tutkimuksessa käytetyn määrällisen analyysimenetelmän luotettavuutta (Vilpas luettu: 26.4.2022). Tämän tutkimuksen määrällisien (eli kvantitatiivisten) analyysien laatua (eli reliabiliteettia) pyrittiin parantamaan käyttämällä suurta näytekokoja. Esimerkiksi palautearvioissa valitsemalla kaikki tehdyt toimittajat palautteet kasvatettiin näytekokoja, jolloin se paransi palautearvioiden vertailun laatua. Palautearvioissa pystyttiin vertailemaan toimittajien palvelun laatua, joka kuitenkin on vain pieni osa suorituskykyvertailua. Muita kvalitatiivisia analyysijä oli kustannuksien vertailu, mutta vertailussa otettiin vain esimerkkikohteet tarkasteluun, jotta vertailua pystyttiin tekemään syvällisemmin.

Valitsemalla keskenään vertailtavat esimerkkikohteet (esimerkkikohteet 1 ja 2) samalta alueelta, pyrittiin parantamaan esimerkkikohteiden keskenään vertailtavuutta, koska saman organisaation toteuttamat kohteet ovat niin lähellä optimivertailtavuutta kuin pystytään. Samalla kuitenkin haluttiin parantaa tutkimuksen luotettavuutta valitsemalla ei keskenään vertailtavat kohteet eri toimintayksiköiden alueilta.

Kvalitatiivisten analyysien pätevyyttä arvioidaan validiteetin avulla. Validiteetti ilmaisee yksinkertaistettuna, onko tutkimuksessa mitattu ja tarkasteltu asiaa oikeilla menetelmillä. Analyysien pätevyyttä voidaan tarkastella sekä sisäisenä että ulkoisena pätevyytenä. (Vilpas luettu: 26.4.2022.) Tätä tutkimusta voidaan pitää sisäisesti pätevänä, koska tutkimustulokset perustellusti ovat tämän tutkimusprosessin tuloksia. Tämän tutkimuksen ulkoinen validiteetti, eli tutkimustuloksien yleistettävyyttä pyrittiin parantamaan kahdella eri vertailuparilla ja niiden eroja vertailtiin keskenään. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan yleistää koskemaan muitakin tutkintaryhmän kaltaisia kohteita, kuin vain tutkimuksessa olevia neljää esimerkkikohdetta.

Vaikka monet kriitikot eivät haluisi arvioida laadullisten (eli kvantitatiivisten) tutkimusten luotettavuutta, useat ovat kuitenkin hyväksyneet Guban analyysin rakenteen, jota tässä tutkimuksessa käytetään analyysien laadun arviointiin (Shenton 2004). Tutkimuksen uskottavuutta arvioidaan vertaamalla tutkimuksesta saatuja havaintoja todellisten havaintojen kanssa. Tutkimuksessa itsessään todennetaan havainnot todellisten havaintojen kanssa, joka parantaa tutkimuksen uskottavuutta. Tutkimustuloksien uskottavuutta pyrit-

tiin parantamaan vielä asiantuntijoiden haastattelussa, keskustelemalla tuloksien yleistettävyydestä ja käytettävyydestä rakennustuotannossa. Siirtokelpoisuudella tarkoitetaan samaa kuin ulkoisella pätevyydellä. Aikaisemmin todettiin, että tämän tutkimuksen tulokset ovat yleistettävissä ja soveltuvat muihin vastaaviin kohteisiin.

Laadullisessa tutkimuksen luotettavuutta on hankalampi arvioida kuin määrällisessä tutkimuksessa (Shenton 2004). Tässä tutkimuksessa käytettyjen menetelmien luotettavuutta pyrittiin parantamaan käyttämällä ”päällekkäisiä menetelmiä”, eli kirjallisuuskatsauksen tulokset todennettiin sekä suorituskykyvertailussa että haastattelututkimuksessa. Laadullisessa tutkimuksessa vahvistettavuudelle kriteerinä voidaan käyttää josain määrin tutkija myöntää omat taipumuksensa sekä tehtyihin päätöksiin että käytettyihin menetelmiin (Shenton 2004). Tämän tutkimuksen vahvistettavuutta pyrittiin parantamaan perustelemalla lähestymistapojen valinnat ja päätökset käytettyihin menetelmiin.

8. TOIMINTASUUNNITELMA (SUOSITUKSET)

Työn tavoitteena oli luoda lyhyen (1–5 vuotta) ja pitkän (5–15 vuotta) aikavälin toimintasuunnitelma, jonka avulla tilaajayritys pystyisi lähteä kehittämään märkätilaelementin käyttöä rakennustuotannossaan ja luoda mahdollisuus tuottavampaan ja kestävämpään rakentamiseen. Tämän tutkimuksen toimintasuunnitelma on eräänlainen esimerkki siitä, minkälainen toimintasuunnitelmaa voisi olla toimiva tilaaja yrityksessä. On kuitenkin hyvä ottaa huomioon, että toimintasuunnitelma on vain tämän tutkimuksen pohjalta pohdittu suositus, jossa käytetään TOWS-analyysin strategiaehdotuksia.

Toimintasuunnitelman lyhyen aikavälin tarkastelussa käytetään SO-strategiaehdotuksia, koska jo olemassa olevien vahvuuksien avulla voidaan luoda mahdollisuuksista jopa yrityksen kilpailuetuja. Ensimmäinen toimintasuunnitelman askel on tuottavuuden kehitystiimin perustaminen, jossa suositellaan nimeämään vastuu henkilö, joka luo kehitystiimin kokeneista ja kiinnostuneista henkilöistä, jotka yhdessä jakavat käyttökokemuksia ja hyviä käytäntöjä märkätilaelementtien käytön kehittämiseksi. Lisäksi kehitystiimille on hyvä antaa mahdollisuuksia käyttää opiskelijoiden päättöitä kehitys- ja tutkimustöinä kehityksen tukemiseen.

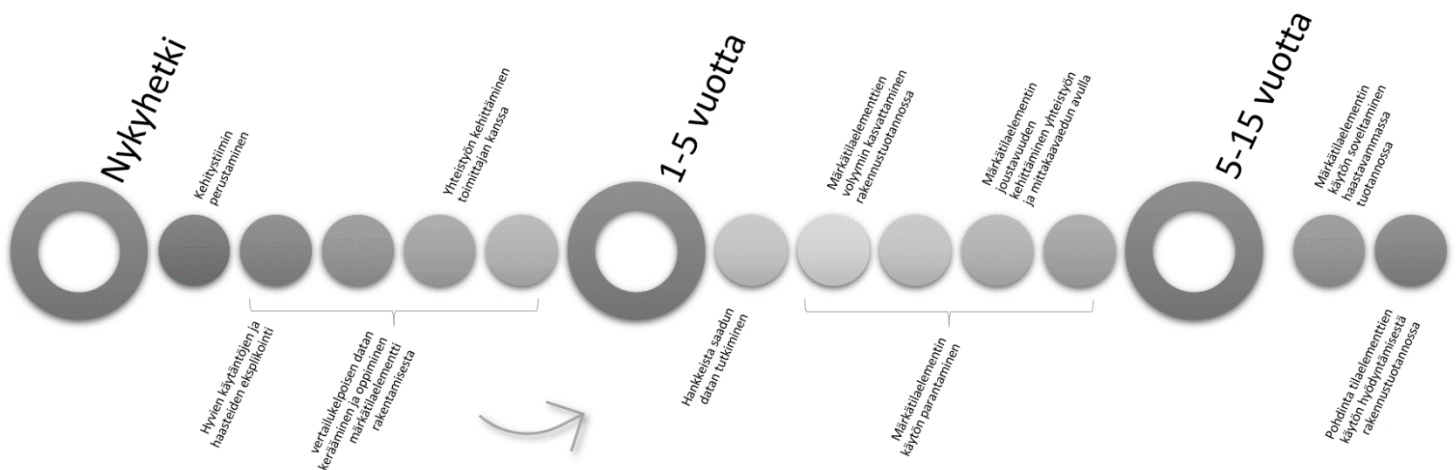
Toinen askel lyhyen aikavälin tarkastelussa on yhteistyön tai yhteistyökumppanin hyödyntäminen märkätilaelementin käytön kehittämisessä. Yhteistyökumppanuuden ensiaskel on aloittaa yhteistyöllä märkätilaelementti konseptien ja toteutuksen kehittäminen. Kun on löydetty sopiva kumppaniehdokas, voidaan yhteistyötä lähteä syventämään. Yhteistyökumppanuudella koettiin olevan paljon etuja, kuten kustannustehokkuus, laatu ja luotettavuus.

Lyhyen aikavälin tavoite on kerätä paljon dataa märkätilaelementtikohteista, joita pystytään tulevaisuudessa tutkimaan ja löytämään todellisia arvoa lisääviä etuja, jolloin pystytään hyödyntämään märkätilaelementin kaikki potentiaali. Toinen lyhyen aikavälin tavoite on kerätä kehitystiimin tunnistamia haasteita ja hyviä käytäntöjä kirjalliseen muotoon koko organisaation käyttöön, jolla vähennetään kokemuksen puutteesta aiheutuvia haasteita.

Pitkän aikaväli tarkastelussa käytetään WO-strategiaehdotuksia, koska lyhyellä aikavälillä käytettiin vahvuudet mahdollisuuksien hyödyntämiseen ja pitkällä aikavälillä on tarkoitus kääntää märkätilaelementtien käytön heikkoudet näiden mahdollisuuksien kautta vahvuuksiksi. Pitkän aikaväli ensimmäisiä askeleita ovat lyhyellä aikavälillä kerättyjen hankkeiden datan hyödyntäminen tutkimustoissa ja tutkimustuloksien hyödyntäminen märkätilaelementtien käyttövolyymin kasvattamisessa.

Käyttövolyymin kasvattamisella pyritään hyödyntämään mittakaavaetua ja sitä kautta parantaa kustannustehokkuutta. Samalla kun märkätilaelementin käyttöä lisätään rakennustuotannossa, pystytään keskittymään märkätilaelementin käytön kehittämiseen entisestään, esimerkiksi poistamalla työmaan rajoittavia tekijöitä, hyödyntämällä tutkimustuloksista saatuja etuja jo hankesuunnitteluvaiheessa ja mittakaavaetua joustavuuden sekä muutosmahdollisuuksien parantamiseksi.

Pitkän aikavälin jälkeen, kun kehitys avaa mahdollisuuksia, voidaan mahdollisesti hyödyntää märkätilaelementtejä haastavammassa omaperustaisissa hankkeissa ja jopa pohjata muidenkin tilaelementtien käyttöä kestävä rakentamisen edistämiseksi. Edellä mainitut suositukset ovat esitetty alla olevassa aikajanaa kuvastavassa kuviossa 15.



Kuvio 15. Toimintasuunnitelman suositukset aikajanalla

LÄHTEET

Aatsalo, Johanna. 2021. "Kirkkonummelle rakennetaan Lujabetonin "superlaatta"-hanke". *Rakennuslehti*. 10. kesäkuuta 2021. <https://www.rakennuslehti.fi/2021/06/kirkkonummelle-rakennetaan-toinen-lujabetonin-superlaatta-hanke/>.

Alastalo, Marja, Maria Åkerman, ja Tiina Vaittinen. 2017. "Asiantuntijahaastattelu". *Tutkimus-
haastattelun käsikirja*, 214–32.

Arto, K. A., Miia Martinsuo, ja Jaakko Kujala. 2006. *Projektiliiketoiminta*. Helsinki: WSOY.

Bertram, Nick, Steffen Fuchs, Jan Mischke, Rob Palter, Gernot Strube, ja Jonathan Woetzel. 2019. "Modular Construction: From Projects to Products". *McKinsey Insights*, 18. kesäkuuta 2019. <https://www.proquest.com/docview/2374214148/abstract/A15593DCC6D44510PQ/1>.

Boyd, Neville, Malik M. A. Khalfan, ja Tayyab Maqsood. 2013. "Off-Site Construction of Apartment Buildings". *Journal of Architectural Engineering* 19 (1): 51–57. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000091](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000091).

Chauhan, Krishna, Antti Peltokorpi, Rita Lavikka, ja Olli Seppänen. 2019. "Deciding Between Prefabrication and On-Site Construction: A Choosing-by-Advantage Approach". Teoksessa . <https://doi.org/10.24928/2019/0158>.

Ecofloor. ei pvm. "Maakostea betoni". *Ecofloor* (blog). Viitattu 24. huhtikuuta 2022. <https://ecofloor.fi/tuotteet/maakostea-betoni/>.

Elementtisuunnittelu. 2020. "Elementtirakentamisen historia | Valmisosarakentaminen | Elementtisuunnittelu". fi. 2020. <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>.

FINLEX. 2017. "FINLEX® - Säädökset alkuperäisinä: Ympäristöministeriön asetus rakennusten... 782/2017". Oikeusministeriö. 2017. <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170782>.

Hammad, Ahmed WA, Ali Akbarnezhad, Peng Wu, Xiangyu Wang, ja Assed Haddad. 2019. "Building Information Modelling-Based Framework to Contrast Conventional and Modular Construction Methods through Selected Sustainability Factors". *Journal of Cleaner Production* 228: 1264–81. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.150>.

Herrala, Olli. 2016a. "Asunnot voi rakentaa nykyistä halvemmalla". Tärkeimmät talousuutiset | Kauppalehti. 2. maaliskuuta 2016. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/asunnot-voi-rakentaa-nykyista-halvemmalla/cbefe6f1-39fb-3e4a-9b22-f7e1e54722e6>.

Herrala, Olli. 2016b. "Yksi rakentaja väantää suuria rakennusyhtiöitä kovempaa tulosta". Tärkeimmät talousuutiset | Kauppalehti. 9. maaliskuuta 2016. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/yksi-rakentaja-vaantaa-suuria-rakennusyhtioita-kovempaa-tulosta/5a05733d-792f-39e2-ab72-c7acc353437f>.

Herrala, Olli. 2018. "Moduulirakentaminen yleistyy työmailla - Rakentamisen parjattu laatu paranee". Tärkeimmät talousuutiset | Kauppalehti. 27. kesäkuuta 2018. <https://www.kauppalehti.fi/uutiset/moduulirakentaminen-yleistyy-tyomailla-rakentamisen-parjattu-laatu-paranee/0ddc8865-1ff1-3e45-ac58-313d7ec20ffb>.

"Hiilineutraaliustavoite". 2021. www.skanska.fi. 23. marraskuuta 2021. <https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/vastuullisuus/ymparisto/hiilineutraaliustavoite/>.

Hirsjärvi, Sirkka, ja Helena Hurme. 2008. *Tutkimushaastattelu: teemahaastattelun teoria ja käytäntö*. Helsinki: Gaudeamus Helsinki University Press.

Hong, Jingke, Geoffrey Qiping Shen, Zhengdao Li, Boyu Zhang, ja Wanqiu Zhang. 2018. "Barriers to Promoting Prefabricated Construction in China: A Cost-Benefit Analysis". *Journal of Cleaner Production* 172: 649–60. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.171>.

Jaillon, Lara, ja C. S. Poon. 2014. "Life Cycle Design and Prefabrication in Buildings: A Review and Case Studies in Hong Kong". *Automation in Construction* 39: 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.006>.

Jiang, Rui, Chao Mao, Lei Hou, Chengke Wu, ja Jiajuan Tan. 2018. "A SWOT Analysis for Promoting Off-Site Construction under the Backdrop of China's New Urbanisation". *Journal of Cleaner Production* 173: 225–34. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.147>.

Kamali, Mohammad, Kasun Hewage, ja Rehan Sadiq. 2019. "Conventional versus Modular Construction Methods: A Comparative Cradle-to-Gate LCA for Residential Buildings". *Energy and Buildings* 204: 109479-. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109479>.

Kankainen, Jouko, ja Juha-Matti Junnonen. 2001. *Laatuajattelu ja rakennustyömaan laatutoiminnot*. Helsinki: Rakennustieto.

Koskinen, Ilpo, Pertti Alasutari, ja Tuomo Peltonen. 2005. *Laadulliset menetelmät kauppatieteissä*. Tampere: Vastapaino.

Kotilainen, Sini. 2013. *Moduulirakentaminen. Ratkaisumalleja tulevaisuuden asuntorakentamisen haasteisiin*. Tampereen teknillinen yliopisto. Arkkitehtuurin laitos. <https://trepo.tuni.fi/handle/10024/116748>.

Lawson, R. Mark, Ray G. Ogden, ja Rory Bergin. 2012. "Application of Modular Construction in High-Rise Buildings". *Journal of Architectural Engineering* 18 (2): 148–54. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000057](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000057).

Lohilahti, Oona, ja Seppo Mölsä. 2017. "Rakennusalalla työn tuottavuus ei ole kasvanut 40 vuodessa - onko allianssista tai leanista apua?" *Rakennuslehti*. 4. syyskuuta 2017. <https://www.rakennuslehti.fi/2017/09/rakennusalalla-tyon-tuottavuus-ei-ole-kasvanut-40-vuodessa-onko-allianssista-tai-leanista-apua/>.

Lu, Weisheng, Ke Chen, Fan Xue, ja Wei Pan. 2018. "Searching for an Optimal Level of Prefabrication in Construction: An Analytical Framework". *Journal of Cleaner Production* 201 (marraskuuta): 236–45. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.319>.

Lu, Weisheng, ja Hongping Yuan. 2013. "Investigating Waste Reduction Potential in the Upstream Processes of Offshore Prefabrication Construction". *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 28: 804–11. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.048>.

Lättilä, Hannu. 2019. "YIT saattaa aloittaa oman moduulituotannon – "Olemme lisänneet jatkuvasti moduulien käyttöä"". *Rakennuslehti*. 26. syyskuuta 2019. <https://www.rakennuslehti.fi/2019/09/yit-saattaa-aloittaa-oman-moduulituotannon-edellyttaisi-700-800-moduuliasunnon-tuotantoa/>.

Mao, Chao, Qiping Shen, Wei Pan, ja Kunhui Ye. 2015. "Major Barriers to Off-Site Construction: The Developer's Perspective in China". *Journal of Management in Engineering* 31 (3): 4014043-. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000246](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000246).

Martinez, Santiago, Alberto Jardon, Jose Maria Navarro, ja Patricia Gonzalez. 2008. "Building industrialization: robotized assembly of modular products". *Toimittanut Mauro Onori. Assembly Automation* 28 (2): 134–42. <https://doi.org/10.1108/01445150810863716>.

"Menetelmäpolku — Jyväskylän yliopiston Koppa". 2015. 2015. <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku>.

Mölsä, Seppo. 2021. "Seppo Mölsän jäähyväisjuttu: Rakentamisen kehitysloikat ovat vaatineet sitkeyttä ja joskus onneakin". *Rakennuslehti*. 27. elokuuta 2021. <https://www.rakennuslehti.fi/2021/08/seppo-molsan-jaahyvaisjuttu-rakentamisen-kehitysloikat-ovat-vaatineet-sitkeytta-ja-joskus-onneakin/>.

Pietilä, Ilkka. 2017. "Ryhmäkeskustelu". *Tutkimushaastattelun käsikirja*, 111–30.

Rakennuslehti. 2020. "Skanska nousi toistamiseen Fortunen Change the World -listalle". *Rakennuslehti*. 13. lokakuuta 2020. <https://www.rakennuslehti.fi/2020/10/skanska-nousi-toistamiseen-fortunen-change-the-world-listalle/>.

Routio, Pentti. ei pvm. "Tuotetiede, Taideteollinen korkeakoulu / Virtuaaliyliopisto". Viitattu 21. huhtikuuta 2022. http://www2.uiah.fi/virtu/materiaalit/tuotetiede/html_files/132_empiir.html.

RT ry. 2022. "Kuinka Ukrainan sota vaikuttaa rakennusalaan?" *Rakennusteollisuus RT ry*. 2022. <https://www.rakennusteollisuus.fi/Ajankohtaista/Tiedotteet1/2022/kuinka-ukrainan-sota-vaikuttaa-rakennusalaan/>.

Saunders, M. N. K. 2019. *Research Methods for Business Students*. Eighth edition. Harlow, England: Pearson Education.

Shenton, Andrew. 2004. "Strategies for Ensuring Trustworthiness in Qualitative Research Projects". *Education for Information* 22 (heinäkuuta): 63–75. <https://doi.org/10.3233/EFI-2004-22201>.

"Skanskan arvot". 2019. www.skanska.fi. 11. helmikuuta 2019. <https://www.skanska.fi/tietoa-skanskasta/skanska-suomessa/arvot/>.

Slack, Nigel, ja Michael Lewis. 2020. *Operations Strategy*. Sixth edition. Harlow, England: Pearson.

Stevenson, William J. 2018. *Operations Management*. 13th edition. McGraw-Hill/Irwin Series Operations and Decision Sciences. New York, NY: McGraw Hill.

Talonrakennusteollisuus ja Rakennustietosäätiö. 2015. *Aikataulukirja 2016*. 13. uud. p. Ratu ; KI-6028. Tampere: Rakennustieto.

Taylor, M., A. Fisher, ja S. Wamuziri. 2009. "A Comparison of Modern Methods of Bathroom Construction: A Project Case Study." *Undefined*. <https://www.semanticscholar.org/paper/A-comparison-of-modern-methods-of-bathroom-a-case-Taylor-Fisher/59c50f2087a475246042c1c42dbf8d1b6942f6da>.

Tilastokeskus. 2021. "Suomen kasviuonekaasupäästöt 1990-2020", 111.

Traficom, Liikenne- ja viestintävirasto. 2022. "Hiilidioksidipäästöt". *Liikennefakta*. 2022. <https://liikennefakta.fi/fi/ymparisto/henkiloautot/hiilidioksidipaastot>.

Vilpas, Pertti. ei pvm. "1. KVANTITATIIVINEN TUTKIMUS", 30.

Xu, Zhao, Tarek Zayed, ja Yumin Niu. 2020. "Comparative Analysis of Modular Construction Practices in Mainland China, Hong Kong and Singapore". *Journal of Cleaner Production* 245 (helmikuuta): 118861. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118861>.

Yoon, Yoojung, Ziad Tamer, ja Makarand Hastak. 2015. "Protocol to Enhance Profitability by Managing Risks in Construction Projects". *Journal of Management in Engineering* 31 (5): 4014090-. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000339](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000339).

LIITE A: KÄYTETYT TYÖMENEKIT

Työtehtävät (lähde: Ratu 2015)	Työmenekki	Työmenekki	Työmenekki
1 Betonipintojen jälkityöt	0,15 tth/m2	2.3 Kevytsementtilaattien asennus	0,5 tth/m2
Työvälineiden ja koneiden siirrot	0,001	Materiaalien siirto	0,1
Materialien siirto	0,005	Mittaus	0,09
Tarkastus ja merkitseminen	0,003	Asennus	0,25
Elementtien hionta	0,008	Saumaus	0,04
Elementtien etuoikaisu ja paikkaus	0,03	Lopettavat työt	0,02
Välineiden puhdistus, jätteiden siivoaminen	0,003		
Betonipintojen osittain ja kokonaan tasoitus	0,1		
2.1 Levyväliseinät	0,445 tth/m2	2.2 Levyväliseinät kph elementti	0,355 tth/m2
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	0,005	Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	0,005
Mittaus	0,03	Mittaus	0,03
Metallirungon pystytys – k400	0,14	Metallirungon pystytys – k400	0,14
Levytyt – 1 levy/puoli	0,2	Levytyt – 1-puolinen levytyt x2	0,24
Eirstys	0,06	Eirstys	0,06
Suojaus ja siivous	0,01	Suojaus ja siivous	0,01
		Silikonisaumasu kaikki seinän liittymät	0,04
3.1 Kaatolattiat	0,23 tth/m3	3.2 Reunavalu	0,23 tth/m3
Aloittavat työt	0,02	Aloittavat työt	0,02
Pumppubetonointi, levitys ja tasoitus	0,15	Pumppubetonointi, levitys ja tasoitus	0,15
Käsin hiehto	0,03	Käsin hiehto	0,03
Lopettavat työt	0,03	Lopettavat työt	0,03
4 Vedeneristys	0,11 tth/m2	5.1 Laatoitus seinät	0,5 tth/m2
Työmenekki tilassa, jossa 25 m2 eristettävää, 8kpl läpivientejä ja 18,5jm vahvikenauhaa		Karkautettu menekki 200x200	
		5.2 Laatoitus lattiat	0,73 tth/m2
		Karkautettu menekki verkossa olevat laatat	
6 Paneelikatot	0,61 tth/m2	7 Kalusteet (Ratu + aikataulukirja)	1,78 tth/kph
tavaran vastaanotto ja välivarastointi	0,04	Pelikaapin asennus	0,47 tth/kpl
käsin siirrot, 20...50 m	0,04	Käsi pesuallaan asennuksen	0,47 tth/kpl
yksinkertainen koolaus	0,06	Suihkuverhokiskon/suihkuseinän asennus	0,5 tth/kpl
katon puuverho	0,45	Pyyhekoukkujen asennus	0,17 tth/kpl
suojaus ja siivous	0,02	WC-paperitelineenasennus	0,17 tth/kpl
1 Tilaelementti työ	1,9 tth/kpl	4 Parveke-elementtien asennus	3,15 tth/kpl
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	0,2	Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	0,2
Mittaus	0,2	Mittaus	0,15
Asennus	1	Asennus parveke-elementti	1,35
Juotos	0,5	Asennus parvekkeen piellelementti	0,55
		Juotos parvekelaatta	0,5
		Juotos piellelementti	0,4
2 Ulko- ja väliseinäelementtien asennus	3,32 tth/kpl	5 Ontelolaattojen asennus	1,09 tth/kpl
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	0,2	Mittaus	0,12
Mittaus	0,12	Asennus ontelolaatta, keskikoko 1,2 m x 7,2 m	0,28
Asennus väliseinäelementti	1,45	Asennus ontelolaatta, keskikoko 1,2 m x 14 m,	0,36
Asennus ulkoseinäelementti	1,3	Rauditus, laudoitus, ja laudoituksen purku	0,23
Juotos pystysaumapumpuksella	0,25	Juotos pumppubetonointi	0,1
3 Porrastaso- ja porraselementtien asennus	4,05 tth/kpl		
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	0,2		
Mittaus	0,15		
Asennus porraselementti	1,35		
Asennus porrastasoelementti	0,55		
Asennus Hissikuilin piellelementti	1,5		
Juotos	0,3		