

Jere Säyriö

Tilaelementtirakentamisen vertaaminen
paikalla rakentamiseen
Tuotannolliset näkökulmat

Opinnäytetyö
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Huhtikuu 2016

Tekijä/Tekijät	Tutkinto	Aika
Jere Säyriö	Rakennusinsinööri	Huhtikuu 2016
Opinnäytetyön nimi Tilaelementtirakentamisen vertaaminen paikallarakentamiseen Tuotannolliset näkökulmat		50 sivua
Toimeksiantaja Elementit-E Oy		
Ohjaaja Lehtori Sirpa Laakso Lehtori Anu Kuusela Tuotantotalousinsinööri Kimmo Katajisto		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli verrata Elementit-E Oy:n tilaelementtirakentamista perinteiseen paikalla rakentamiseen sen eri muodoissa. Vertailun näkökulmiksi valikoitui aikataulu, kivi- ja laatu, työturvallisuus sekä resurssitehokkuus ja ympäristövaikutukset. Lähtökohtana opinnäytetyölle oli, että ihmisten tietoisuus tilaelementtirakentamisesta on puutteellista. Opinnäytetyössä pyrin selvittämään tilaelementtirakentamisen heikkouksia, hyötyjä ja mahdollisuuksia.</p> <p>Tutkimus perustui eri lähdemateriaaleista saatuihin tietoihin, omaan rakennusalan työkokemukseen sekä Elementit-E Oy:n henkilökunnan kanssa käytyihin keskusteluihin. Teoriaosuus koostuu pääosin lähdemateriaaleista poimituista tiedoista. Vertailevassa tarkastelussa puolestaan olen hyödyntänyt omaa pohdintaa ja rakennusalalta saatua työkokemusta. Tulosten esitys ja analysointi on toteutettu sanallisesti.</p> <p>Tutkimuksessa kävi ilmi, että tilaelementtirakentamisen suurimmat hyödyt verrattuna paikalla rakentamiseen muodostuvat kiinteästä tuotantotilasta, jossa tilaelementtien teollinen esivalmistus suoritetaan. Tehdastuotanto mahdollistaa kiinteän sääsuojan, työolosuhteiden paremman hallittavuuden sekä ajallisesti nopeamman tuotantovaiheen sekä työmaavaiheen. Tilaelementtirakentamisen suurimpana heikkoutena voidaan pitää tilaelementtien siirtelystä aiheutuvia hetkellisiä muodonmuutoksia, jotka voivat johtaa laatuvirheisiin, kuten käytettyjen pintamateriaalien vaurioitumiseen. Nostokaluston sekä erikoiskuljetusten tarve on myös poikkeava taloudellinen rasite verrattuna paikalla rakentamiseen. Suuren kaluston käyttö asettaa myös vaatimuksia turvallisten työskentelyolosuhteiden toteuttamiselle.</p>		
Asiasanat elementtirakentaminen, paikalla rakentaminen, vertailu, rakennustuotanto		

Author (authors) Jere Säyriö	Degree Bachelor of Construction Engineering	Time April 2016
Thesis Title Prefabricated construction compared to on-site construction In aspect of production		50 pages
Commissioned by Elementit-E Oy		
Supervisor Sirpa Laakso, Senior Lecturer Anu Kuusela, Senior Lecturer Kimmo Katajisto, CE		
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to compare the technique of prefabricated construction used by Elementit-E LLC with the traditional on-site construction. The comparison focused on the following: schedule, moisture-controlled supply chain, quality, safety at work, resource efficiency and environmental effects. The baseline assumption for this thesis was that awareness for prefabricated construction technique is lacking. This thesis strives to examine the weaknesses and benefits and also the possibilities of prefabricated construction.</p> <p>The research was based on information gathered from different source materials, the author's own working experience in the field of construction and the conversations with the staff of Elementit-E LLC. The theory section consists primarily of information from source materials. The comparative analysis relied more on the author's deliberation and the work experience gained from working in construction. The presentation and analysis of the results are verbal.</p> <p>The research showed that the largest benefits of prefabricated construction technique in comparison with the traditional on-site construction techniques are composed of fixed production premise where the industrial prefabrication takes place. Factory production provides shelter from weather, more control over the working conditions and also speeds up the production and construction phases. The largest single weakness of prefabricated construction comes from the momentary transformations caused by moving the prefabricated elements which can then lead to quality defects such as the damage to surface materials being used. The need for diverse lifting equipment and special transports in comparison with on-site construction are an exceptional financial encumbrance. The use of massive machinery also sets requirements for providing the workers with a safe working conditions.</p>		
<p>Keywords construction with prefabricated units, on-site construction, comparison, construction industry</p>		

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Työn toimeksiantaja	6
1.2	Työn sisältö.....	6
1.3	Työn tavoitteet.....	6
2	PUU RAKENNUSMATERIAALINA	7
3	RAKENTAMISTAVAT PUULLA	8
3.1	Paikalla rakentaminen.....	9
3.1.1	Pitkästä tavarasta rakentaminen	9
3.1.2	Pre-cut-järjestelmällä rakentaminen.....	10
3.2	Elementtirakentaminen.....	11
3.2.1	Tilaelementtirakentaminen.....	12
4	TUOTANNOLLISTEN NÄKÖKULMIEN VERTAILU	15
4.1	Aikataulu	15
4.1.1	Näkökulman esittely ja valintaperusteet	15
4.1.2	Vertailu rakentamistapojen välillä	16
4.2	Kuivaketju	19
4.2.1	Näkökulman esittely ja valintaperusteet	19
4.2.2	Vertailu rakentamistapojen välillä	21
4.3	Laatu.....	25
4.3.1	Näkökulman esittely ja valintaperusteet	25
4.3.2	Vertailu rakentamistapojen välillä	26
4.4	Työturvallisuus	32
4.4.1	Näkökulman esittely ja valintaperusteet	32
4.4.2	Vertailu rakentamistapojen välillä	33
4.5	Resurssitehokkuus ja ympäristövaikutukset	38
4.5.1	Näkökulman esittely ja valintaperusteet	38
4.5.2	Vertailu rakentamistapojen välillä	39
5	YHTEENVETO VERTAILUN TULOKSISTA	43

6	TULOSTEN KELPOISUUDEN ANALYSOINTI	46
---	---	----

1 JOHDANTO

1.1 Työn toimeksiantaja

Opinnäytetyöni toimeksiantajana toimii Kouvolaan puutilaelementtitehdas Elementit-E Oy. Elementit-E Oy on kokenut KVR-urakoitsija, joka rakentaa pääasiassa kouluja, päiväkoteja, hoivakoteja sekä toimitiloja julkisen sektorin tarpeisiin. Elementit-E Oy rakentaa moduulirakenteisia puutilaelementtejä, jotka toteutetaan tilaajan edellyttämien tarpeiden mukaisesti. Elementit-E Oy on RALA-laatusertifikaatin vakuuttama luotettava kumppani, jonka toiminta perustuu asiakaslähtöiseen palveluun. (2.)

1.2 Työn sisältö

Opinnäytetyöni koostuu johdannosta, teoriaosuudesta, vertailusta sekä vertailun yhteenvedosta. Johdanto esittelee lyhyesti työn toimeksiantajan, työn sisällön sekä tavoitteen. Teoriaosuudessa tarkastelen paikallarakentamisen ja tilaelementtirakentamisen yleispiirteitä ja ominaisuuksia sekä esittelen valitsemiani vertailun näkökulmia eri lähdemateriaaleihin viitaten. Teoriaosuus toimii perehdytyksenä ja perusteluna, jonka pohjalta vertailu rakennustyylien välillä suoritetaan. Lisäksi teoriaosuudessa on esitetty syitä, miksi vertailu tilaelementtirakentamisen ja paikalla rakentamisen välillä on ajankohtainen.

Vertailussa tarkastelen vain puurakentamista. Tarkastelussa Elementit-E Oy:n puutilaelementtirakentamista verrataan paikalla rakentamiseen. Tarkastelu käydään teoriaosuudessa esiteltyjen tuotannollisten näkökulmien perusteella, hyödyntäen lähdemateriaaleista saatua tietoa, omaa rakennusalan työkokemusta sekä Elementit-E Oy:n henkilökunnan kanssa käytyjä keskusteluja. Tavoitteena on selvittää rakentamistyylien tuotantotapojen eroavaisuuksia ja ominaisuuksia sekä kertoa yksityiskohtaisemmin, mistä ne johtuvat. Tulosten yhteenvedossa pohditaan tilaelementtirakentamisen soveltumista markkinoille sekä sen mahdollistamia etuja ja haittoja paikalla rakentamiseen nähden.

1.3 Työn tavoitteet

Opinnäytetyön tavoitteena on saada profiloitua puutilaelementtirakentaminen vertaamalla sitä paikallarakentamiseen. Työn toimeksiantaja kokee, ettei tilaelementtirakentamisen etuja, hyötyjä ja mahdollisuuksia ole markkinoilla tie-

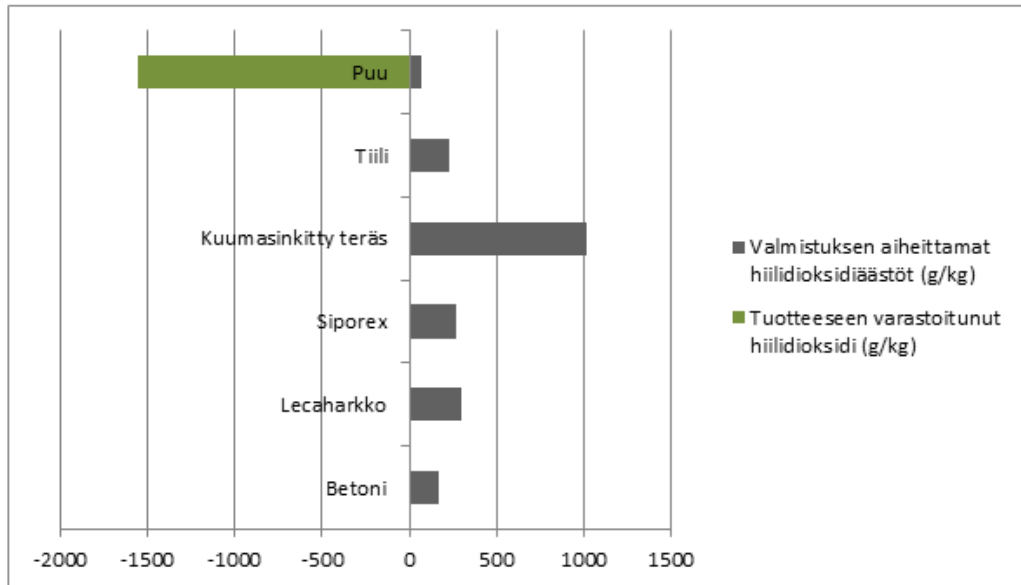
dostettu. Tilaelementtirakennuksia verrataan yleensä työmaakoppeihin ja väliaikaisiin väistötiloihin, jotka voivat myös olla tilaelementtejä. Todellisuudessa tilaelementtirakennus on mahdollista toteuttaa nykyisten rakennusmääräysten mukaan ja näin ollen se on vertailukelpoinen esimerkiksi paikalla rakennetun rakennuksen kanssa.

Vertailun näkökulmiksi opinnäytetyössä on valittu rakentamisen tuotannolliset näkökulmat: aikataulu, kuivaketju, laatu, työturvallisuus sekä resurssitehokkuus ja ympäristövaikutukset. Näkökulmiksi olen valinnut tällä hetkellä rakennustuotannossa yleisesti epäkohtia ja keskustelua herättäneitä aiheita, jotta opinnäytetyö olisi ajankohtainen ja työn toimeksiantajalle mahdollisimman hyödyllinen. Opinnäytetyö pyrkii profiloimaan tilaelementtirakentamisen mahdollisimman tarkasti, jotta esimerkiksi rakennuttajilla olisi enemmän tietoa tilaelementtirakentamisesta ja sen mahdollistamista eduista paikallarakentamiseen nähden.

2 PUU RAKENNUSMATERIAALINA

Puu on uusiutuva luonnonvara toisin kuin betoni, teräs tai tiili. Suomessa puuta kasvaa vuodessa huomattavasti enemmän kuin sitä hyödynnetään. Kuusikerroksisen puukerrostalon puumateriaalien on arveltu kasvavan Suomen metsissä noin puolessa minuutissa. Lisäksi puu on rakennusmateriaalina ainoa, jonka kestävä tuotanto ja laillinen alkuperä voidaan sertifioidusti osoittaa. (16.)

Puulla on kyky sitoa itseensä hiilidioksidia ja toimia pitkäaikaisena hiilivarastona (kuva 1). Suomalainen puusta valmistettu omakotitalo sitoo puurakenteisiinsa noin 30 tonnia hiilidioksidia, joka vastaa 10 vuoden hiilidioksidipäästöjä, jotka yksi ihminen on keskivertoautoilullaan aiheuttanut. Lisäksi puutuotteiden valmistus on mahdollista toteuttaa vähähiilisesti, verrattuna esimerkiksi betoniin, koska suurin osa puutuotteiden valmistuksessa tarvittavasta energiasta saadaan hyödyntämällä valmistusprosessin sivutuotteita kuten puun kuorta. Ilmastonmuutoksen torjumiseksi uusiutuvien luonnonvarojen käyttöä tulee lisätä sekä valmistusprosessia kehittää, jotta voidaan taata saasteeton ja luonnonvaroiltaan rikas elinympäristö myös tuleville sukupolville. (16)



Kuva 1: Eri rakennusmateriaalien valmistuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt

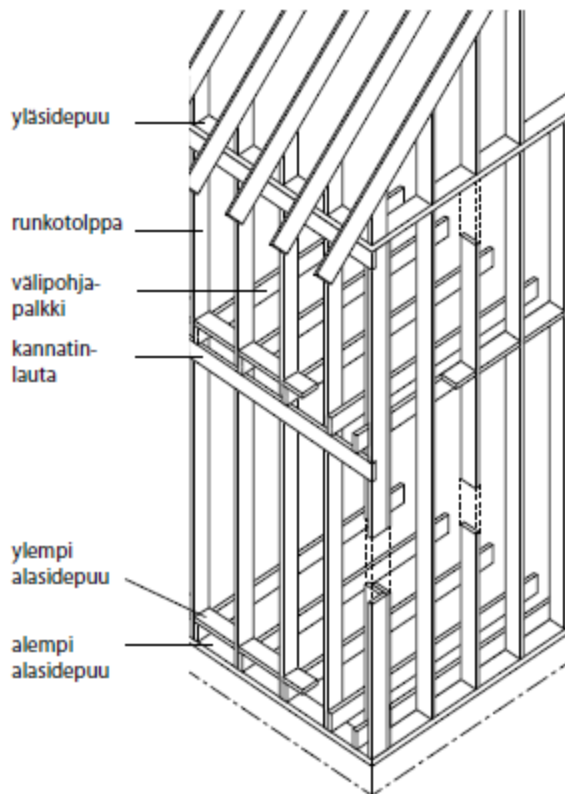
Rakennusmateriaalina puu on kevyt, helppo työstää, täysin kierrätettävä sekä miellyttävä käyttäjälle. Usein puupinta koetaan lämpimänä, esteettisesti kauniina sekä luonnonläheisenä verrattuna teolliseen betonipintaan. Puun käyttöä näkyvissä pinnoissa rakennusteollisuudessa rajoittavat kuitenkin vallitsevat palomääräykset, koska puu on palava rakennusmateriaali toisin kuin betoni. Puupinnat tulee suojata tai käsitellä, jotta luodaan edellytykset paloturvalliselle rakennukselle. Puun palo on kuitenkin hallittua, koska palaessaan puu hiiltyy, eikä romahda hallitsemattomasti kuin betoni, joka raudoitusterästen vaurioituessa on erittäin altis äkillisille muodonmuutoksille. Puun hiiltymisnopeus syttyessään on noin 0,8 millimetriä minuutissa. Hiiltymisestä puun pinnalle muodostunut hiilikerros suojaa puuta palotilanteessa ja hidastaa palon etenemistä. (22.)

3 RAKENTAMISTAVAT PUULLA

Puu rakennusmateriaalina mahdollistaa monta eri rakentamistapaa. Luku kolme esittelee paikallarakentamisen ja elementtirakentamisen tuotantoprosessia, yleispiirteitä ja ominaisuuksia, ottamatta kantaa rakentamistavan mahdollistamiin hyötyihin tai haittoihin, joita tarkastellaan luvussa neljä. Elementtirakentamisessa keskitytään tilaelementtirakentamiseen, koska Elementit-E Oy:n tuotanto on tilaelementtirakentamista.

3.1 Paikalla rakentaminen

Paikallarakentamisella tarkoitetaan, että rakennus rakennetaan työmaalla kokonaisuudessaan. Paikalla rakennettaessa voidaan hyödyntää esivalmistettuja tehdasvalmisteisia komponentteja, kuten esimerkiksi kattoristikoida tai valmiiksi mitoitettua runkoratkaisua. Vastaavasti komponentit voidaan valmistaa itse työmaalla. Menetelmiä paikalla rakentamiseen on rakentaminen pitkästä tavarasta tai pre-cut-järjestelmällä (kuva 2). (6.)



Kuva 2: Periaatekuva paikalla rakennetusta puurungosta

3.1.1 Pitkästä tavarasta rakentaminen

Pitkästä tavarasta rakentamisella tarkoitetaan, että rakennusmateriaalit saapuvat työmaalle ilman esivalmisteluja, valmistajan mitoituksen mukaisesti. Rakennusmateriaalit tilataan työmaalle, haetaan valmistajalta itse tai esimerkiksi rautakaupasta. Kun tavara on saapunut työmaalle, se työstetään suunnitelmien mukaisten dimensioiden edellyttämällä tavalla ja asennetaan paikoilleen. Perustus- ja maanrakennustöiden jälkeen siirrytään rakennuksen runkovaiheeseen. Ensin perustusten päälle rakennetaan alapohja. Seuraavaksi alapohjan

päälle rakennetaan kantavat pystylinjat, joina ulkoseinät yleensä toimivat. Lopuksi rakennetaan yläpohja vesikatteineen. Rungon ollessa valmis asennetaan ulkopuolinen levytys, jotta sisävalmistustyöt voidaan suorittaa säältä suojassa. (24.)

Rakentaminen pitkästä tavarasta on aikaa vievää, koska käytettävät rakennusmateriaalit eivät ole esivalmisteltuja lukuun ottamatta materiaalivalmistajan vakioimitoitusta. Rakennuskomponenttien esivalmiusasteen ollessa pieni materiaalien hukkameneikki kasvaa työvirheiden ja työmaalla tapahtuvan työstämisen myötä. Menetelmä soveltuu parhaiten pienten kohteiden rakentamiseen, kuten omakotitaloihin, koska tilaaja voi oman työn osuudella pienentää rakentamisen aikaisia työkustannuksia. (24.)

Paikalla rakentaminen pitkästä tavarasta ei edellytä käytettävältä kalustolta tai laitteistolta suuria vaatimuksia, koska puu rakennusmateriaalina on kevyt ja helppo työstää. Nostokoneistoa tarvitaan, jos yläpohjakannattimina käytetään esimerkiksi kattoristikoi- ta, koska kattoristikot tulee nostaa kokonaisu- na ristiko- den muodostamana nippuna katolle niiden hoikkuuden ja muodonmuutosalttiuden takia. Muuten rakennusmateriaalien asennus sekä työstö on mahdollista suorittaa miesvoimin, koska rakentaminen tapahtuu kappaletavarasta. (24.)

3.1.2 Pre-cut-järjestelmällä rakentaminen

Pre-cut-järjestelmä on kehittyneempi versio pitkästä tavarasta rakentamisesta, joka koostuu tehdasvalmistetuista komponenteista. Se sisältää kantavat rakenteet, kevyet väliseinät, ulkoverhouksen sekä kantarakennusosissa käytetyn levy materiaalin. Tehdasvalmisteiset komponentit ovat määrämittaan tai tasausvaraan katkottuja. Kantavan rungon osat ovat yleensä määrämittäisiä sekä valmiiksi lovettuja, kun taas väliseini- en runkotolpat sekä aukkojen sisäpuoliset listat ovat tasausvaraan katkottuja työmaalla työstettäviä rakennusosia. Ulkoverhous toimitetaan yleensä pohjamaalattuna. Työvaiheiden toteutusjärjestys on vastaava kuin pitkästä tavarasta rakentamalla. (5, 36-37; 6, 302-303.)

Pre-cut-järjestelmä perustuu suunnitelmien tarkkuuteen, koneistettuun työhön sekä tehokkaaseen asennustyöhön. Suunnitelmien perusteella rakennettavalle kohteelle lasketaan tarkka määräluettelo, jonka mukaan komponentit

valmistetaan tuotantotehtaassa. Komponenttien tehdasvalmistuksen ansiosta työmaan materiaalihukka on pienempi kuin pitkästä tavarasta rakennettaessa sekä asennustyö tehokkaampaa, koska tarvittavat katkaisut sekä loveukset, suurimpaan osaan käytettävistä rakennusmateriaaleista, on jo tehty. Käytettävän puutavaran materiaalisäästö on noin 10-20 % verrattuna rakentamiseen pitkästä tavarasta. (5, 36-37; 6, 302-303.)

Pre-cut-järjestelmällä rakentaminen on nopeampaa kuin paikallarakentaminen pitkästä tavarasta, koska työmaalla tapahtuva materiaalien työstö on osittain jo toteutettu tehdasvalmistusvaiheen aikana. Pre-cut-järjestelmän suurin kohderyhmä on pientalot. Vastaavasti kuin pitkästä tavarasta rakennettaessa, työn tilaajalla on mahdollista vaikuttaa kustannuksiin kasvattamalla oman työn osuutta. Rakentaminen ei myöskään edellytä käytettävältä kalustolta ja laitteistolta suuria vaatimuksia järjestelmän keveyden sekä esivalmiusasteen ansiosta. Järjestelmä soveltuu hyvin myös esimerkiksi rivitalo- ja toimitilarakentamiseen, jossa samanlaisia huoneistoja tai tiloja rakennetaan useampia, koska määrälaskentaa ei tarvitse suorittaa kuin kerran toisiaan vastaavien tilojen osalta. (5, 36-37; 6, 302-303.)

Pre-cut-järjestelmä mahdollistaa myös niin sanotun yhdistelmäarakentamisen, jossa kappaletavarasta valmistetaan työmaalla elementti, kuten esimerkiksi seinäelementti. Tasoelementti rakennetaan vaakatasossa maan pinnalla tai työtasoa avuksi käyttäen. Tehdasvalmisteiset esivalmistetut komponentit ovat yhteensopivia, joten elementin teko ei edellytä erillistä suunnittelua, käytettävien komponenttien osalta. Työmaalla tehdyt elementit asennetaan miesvoimin tai nostokalustoa käyttäen riippuen elementtien mitoista sekä painoista. (4, 36.)

3.2 Elementtirakentaminen

Elementtirakentamisella tarkoitetaan, että rakennus tai sen osa toteutetaan tehdasvalmisteisilla elementeillä. Elementtirakentaminen koostuu tehdastuotantovaiheesta sekä työmaavaiheesta. Tehdastuotantovaiheessa käytettävät elementit rakennetaan edellytetyn esivalmiusasteen mukaisesti. Työmaavaiheessa maanrakennus- ja perustustöiden valmistuttua elementit voidaan asentaa paikoilleen, jonka jälkeen jäljelle jääneet rakennus- sekä LVISA-tekniiset työt tehdään loppuun. Elementtirakentaminen voidaan jakaa kolmeen osaan: pienelementti-, suurelementti- ja tilaelementtirakentamiseen, jotka

poikkeavat toisistaan muun muassa kooltaan, esivalmiusasteeltaan sekä käytettävyydeltään. Opinnäytetyössä elementtirakentamisesta käsitellään vain tilaelementtirakentamista, koska vertailu käydään paikallarakentamisen ja tilaelementtirakentamisen välillä (kuva 3). (6, 301.)



Kuva 3: Periaatekuva tilaelementtijärjestelmällä rakentamisesta

3.2.1 Tilaelementtirakentaminen

Tilaelementti koostuu ala- ja yläpohjasta sekä vähintään päätyseinistä. Tilaelementti kasataan elementtitehtaalla tasoelementeistä, jotka muodostavat kasaamisen jälkeen tilaelementin. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä rakennus koostuu viipaleista, jotka saattavat olla kokonaisia tiloja tai tilojen osia. Tilaelementtijärjestelmä soveltuu parhaiten kohteisiin, joissa toistojen määrä on suuri, esimerkiksi elementtien rakenteiden, dimensioiden tai ominaisuuksien osalta. Tämä vähentää suunnittelun määrää ja tekee valmistusprosessista yksinkertaisemman, toistuvien ratkaisujen ansiosta. (1; 4, 48-49; 6, 305-306.)

Rakentaminen perustuu tehdastuotantoon, jossa tilat pyritään saamaan niin valmiiksi, että työmaalle ei jää kuin maanrakennustyöt, perustustyöt, elementtien asennus, elementtisaumojen viimeistely sekä talo-, sähkö- ja kunnallistekniset liitännät. Tehdasvalmisteininen tilaelementti voi sisältää muun muassa kantavan rungon, eristyksen, ulkoverhousmateriaalin, sisäpuolisen levytyksen, lattiamateriaalin, listoitukset, ovet ja ikkunat, pintakäsittelyt, kalusteet sekä

LVISA- tekniikan, mikä tekee siitä esivalmiusasteeltaan pisimmälle viedyn rakentamistavan. Tilaelementtijärjestelmällä rakennetun rakennuksen esivalmiusaste voi olla jopa 90 prosenttia. Tilaelementtityypit voidaan jakaa kahteen osaan: vakiomittaiset tilaelementit ja yksilöidyt tilaelementit. (1; 4, 48-49; 6, 305-306.)

Vakiomittaisilla tilaelementeillä tarkoitetaan pääasiassa vuokrattavia tiloja, kuten työmaakopit, parakit ja tilapäiset väistötilat. Tilojen kokonaisuus voi muodostaa rakennuksen tai väliaikaisen tilojen kompleksin. Yleensä vakiomittaisilla tilaelementeillä koottu ”rakennus” ei muistuta paikalla rakennettua rakennusta vaan päällekkäin tai vierekkäin asennettua tilojen kokonaisuutta. Arkkitehtuuri pyritään pitämään yksinkertaisena, jotta tilojen siirrettävyys sekä yhdistäminen keskenään on vaivatonta toteuttaa (kuva 4). Vakiomitoituksella pyritään sarjatuotantoon, jossa asiakas pystyy valitsemaan katalogista, ilman suurempaa suunnittelua, tarpeitaan vastaavat tilat. Vakiomittaiset tilaelementtiratkaisut soveltuvat erinomaisesti tilapäistiloiksi, koska niiden saatavuus on yleensä ajallisesti nopeaa. Valmistajat pystyvät tekemään tiloja varastoon, minkä ansiosta tilaaja saa tarvitsemansa tilat nopeasti käyttöönsä. (3.)



Kuva 4: Vakiomittainen tilaelementti

Yksilöidyllä tilaelementtirakennuksella tarkoitetaan asiakkaan edellyttämien ominaisuuksien ja tarpeiden mukaan toteutettua rakennusta. Yksilöidyistä tilaelementeistä toteutettu rakennus on poikkeuksetta pysyvä rakennus, sillä se on toteutettu täyttäen vallitsevat rakennusmääräykset ja yleiset hyvän rakennustavan edellyttämät käytännöt. Yksilöidyssä tilaelementtirakennuksessa

käytettävät runko- ja liitosratkaisut ovat vakioituja, mutta asiakas yhdessä tilaelementtitoimittajan kanssa päättää rakennuksen muodon, tilaratkaisut, pintamateriaalit, tilojen laatutason sekä varustusasteen (kuva 5). Yksilöidyistä tilaelementeistä rakennettu rakennus on verrattavissa paikalla rakennettuun rakennukseen, koska prosessi suunnittelusta käyttöönottoon on vastaava kuin paikalla rakennettaessa. (3.)



Kuva 5: Yksilöity tilaelementti

Tilaelementtien kuljetus tuotantotehtaalta työmaalle tapahtuu lähes aina luvanvaraisena erikoiskuljetuksena tilojen suuren koon vuoksi. Tilojen korkeus ja leveys ovat rajoittavimmat tekijät, ei niinkään pituus, koska alapohjakannattimet asennetaan yleensä pituussuunnassa, jonka takia jänneväli on yleensä enimmillään 12 metriä. Luvanvarainen erikoiskuljetus tulee kyseeseen, kun kuorman leveys on yli 4 metriä ja korkeus yli 4,4 metriä yhdessä kuljetusalustan kanssa. Normaaliliikenteen mittarajat ovat leveyssuunnassa 2,6 metriä sekä korkeussuunnassa 4,2 metriä. (1; 3; 7.)

Tilaelementtien asennus edellyttää nostokalustoa, koska tilaelementit voivat painaa jopa 18 tonnia. Elementtiasennus pyritään suunnittelemaan niin, että nostot voidaan toteuttaa yhdestä kohdasta, jotta nosturin siirtelyyn ei tuhlaannu aikaa. Työmaalle pyritään toimittamaan vain se määrä tilaelementtejä, jotka pystytään asentamaan yhden työpäivän aikana, jotta väliaikaiselta työmaavarastoinnilta sekä tilaelementtien turhalta siirtelyltä vältytään. (3.)

4 TUOTANNOLLISTEN NÄKÖKULMIEN VERTAILU

Tarkastelussa Elementit-E Oy:n tilaelementtirakentamista verrataan paikalla rakentamiseen. Vertailu tilaelementtirakentamisen ja paikalla rakentamisen välillä on rajattu tuotannollisiin näkökulmiin. Vertailun näkökulmia valitessani pohdin asioita, jotka ovat olleet esillä mediassa ja valitsin näkökulmiksi ne, joissa on mielestäni eniten epäkohtia ja joihin huomiota tulisi erityisesti kiinnittää nykypäivän ja tulevaisuuden rakennusteollisuudessa. Valitsin rakentamisen aikataulun, kuivaketjun, laadun, työturvallisuuden sekä resurssitehokkuuden ja ympäristövaikutukset tarkasteltaviksi osa-alueiksi. Vertailu toteutetaan sanallisesti, erilaisia esimerkkejä avuksi käyttäen, jotka perustuvat Elementit-E Oy:n tuotantoon.

4.1 Aikataulu

4.1.1 Näkökulman esittely ja valintaperusteet

Rakennushankkeen aikataulu määrittelee ajan, jolloin rakennusprosessi aloitetaan ja koska sen tulee olla valmis. Rakennushanke koostuu useasta eri aikataulusta, jotka täydentävät toisiaan rakennusvaiheen edetessä. Erilaisia aikatauluja ovat muun muassa yleisaikataulu, rakentamisvaihe aikataulu ja viikkoaikataulu. Aikataulun tulee olla toteutuskelpoinen, jotta kohde voidaan toteuttaa turvallisesti, laadukkaasti ja tilaajan asettamissa kustannustavoitteissa. (15.)

Ennen rakentamisvaiheen aloitusta tilaaja yhdessä toteuttajan kanssa määrittelee hankkeelle aikataulun, jossa kohteen tulee valmistua. Aikataulutavoitteen toteutuessa tilaaja pääsee aloittamaan toimintansa ja toteuttaja pystyy jatkamaan seuraavia kohteita suunnitelmien mukaisesti. Viivästyminen aikataulussa voi aiheuttaa kustannuksia ja poikkeusjärjestelyjä niin työn tilaajalle kuin toteuttajallekin. Valitsin rakentamisen aikataulun yhdeksi vertailun näkökulmaksi tilaelementtirakentamisen ja paikalla rakentamisen välillä, koska aikataulu rakennettavalle kohteelle koetaan monesti kiireellisenä ja pitkäkestoisena. Lisäksi aikatauluviivästyksset ovat yleisiä rakennusalalla, mikä johtuu usein rakennusprosessin puutteellisesta kokonaisuuden hallinnasta. Luvun 4.1.2 tarkastelussa kiinnitetään huomiota ajallisen toteuman hallintaan, tuotannonopeuden muodostumiseen sekä ulkopuolisten tekijöiden vaikutukseen ajallisen toteuman kannalta.

Rakennuksen tarve voi olla niin sanotusti välitön tai se voi olla pitkän tähtäimen investointi. Rakentamisajan vaikutus kohteen käyttöönotolle korostuu, jos rakennettavan kohteen tarve on välitön. Vanhan rakennuksen tilojen ahtaus, puutteellisuus, turvallisuus tai terveellisyys ovat syitä uuden rakennuksen tai laajennuksen välittömälle tarpeelle. Tilapäisjärjestelyt kuten vuokrattavat parakit muodostavat aikasidonnaisia kustannuksia tilaajalle siihen asti, kunnes uusi rakennus on valmis käyttöönoton aloittamiseen. Siksi on tärkeää, että uusi rakennus valmistuu suunnitelmien mukaisesti. Tilaajan kannalta on oleellista valita tuotantotapa rakennuksen tarpeen mukaan, mutta usein tietoisuus tuotantotapojen eroavaisuuksista, etenkin rakentamisajan pitkäkestoisuudesta, on puutteellinen. Vertailevan tarkastelun tilaelementti- ja paikallarakentamisen välillä on tarkoitus selvittää rakentamistapojen ajallisen keston muodostumista sekä syitä, miksi rakentamistavasta riippuen aikataulu rakennettavalle kohteelle on erilainen niin kestoaltaan kuin toteutumaltakin.

4.1.2 Vertailu rakentamistapojen välillä

Työvaiheiden limittyminen

Tilaelementtituotanto tapahtuu elementtitehtaalla, mikä mahdollistaa maanrakennus ja perustustöiden sekä rakennuksen runko- ja sisävalmistustöiden yhtäaikaisen toteutuksen. Kun toimeksianto kohteen rakentamisesta on saatu työmaalla aletaan tekemään maanrakennus- ja perustustöitä. Samaan aikaan elementtitehtaalla alkaa tilaelementtituotanto. Eri työvaiheille suunnitellut valmistuspisteet mahdollistavat yhtä aikaiset alapohja-, yläpohja-, ulkoseinä-, väliseinä- sekä sisävalmistustyöt. Optimaalinen tuotantonopeus on, että tilaelementin alapohjan valmistuttua käytettävät seinäelementit ovat myös valmiita. Rakenteiden tekoa varastoon pyritään välttämään, koska tuotantotehtaan sisätilat ovat rajalliset. Seinäelementtien asennuksen jälkeen yläpohjaelementin tulee olla valmis, jotta se voidaan asentaa paikalleen ja sisävalmistustyöt voidaan aloittaa. Kasausvaiheen jälkeen tilaelementti siirretään tuotantolinjassa eteenpäin, jotta seuraava tilaelementtiä voidaan alkaa kasaamaan. (3.)

Paikalla rakennettaessa työvoimaresurssien keskittämistä rajoittaa työvaiheiden limittyminen etenkin runkorakenteiden osalta, koska seuraava työvaihe voidaan aloittaa vasta, kun edellinen on saatu valmiiksi. Tämän takia käytettävän työryhmän koko on myös pienempi, jotta työ on kustannustehokasta to-

teuttaa. Työryhmän ollessa liian suuri on mahdollista, että työmaalla osa työntekijöistä on toimeettomana, joka ei ole työnantajan näkökulmasta kannattavaa. Paikalla rakennettaessa kahden miehen työryhmältä menee omakotitalon, jonka pohjapinta-ala on 75 neliometriä, runkorakenteiden valmistamiseen aikaa noin 12 työvuoroa. Suorite perustuu Ratu-0416 kortissa oleviin yleisiin työsuorite- ja työmenekkitietoihin (kuva 6). (24; 25.)

Materiaalimenekit				
Työnosa	Määrä	Teoreettinen menekki	Kokonaishukkaprocentti (10 %, harvalaudoitus 8 %)	Yhteensä
Seinät				
- runkopuutavara	215 m ²	x 4 m/seinä-m ²	x 1,10	= 946 m
Alapohja				
- alapohjapalkit	75 m ²	x 1,4 m/pohja-m ²	x 1,10	= 116m
- eristeen kannatinlaudat	75 m ²	x 1,4 m/pohja-m ²	x 1,10	= 116 m
- eristeen kannatinrimat	75 m ²	x 2,8 m/pohja-m ²	x 1,10	= 231 m
- korokekoolaus	75 m ²	x 1,4 m/pohja-m ²	x 1,10	= 116 m
Välpohja				
- välpohjapalkit	75 m ²	x 1,4 m/pohja-m ²	x 1,10	= 116 m
- eristeen kannatinlaudat	75 m ²	x 1,4 m/pohja-m ²	x 1,10	= 116 m
- eristeen kannatinrimat	75 m ²	x 2,8 m/pohja-m ²	x 1,10	= 231 m
- alapuolinen harvalaudoitus	75 m ²	x 5,4 m/pohja-m ²	x 1,08	= 438 m
- korokekoolaus	75 m ²	x 1,4 m/pohja-m ²	x 1,10	= 116 m
Työmenekit ja kestot				
Työnosa	Määrä	Työmenekki (T3)	Yhteensä	
Seinät				
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	215 seinä-m ²	x 0,01 tth/seinä-m ²	= 2 tth	
Materiaalisirrot	215 seinä-m ²	x 0,05 tth/seinä-m ²	= 11 tth	
Mittaus	40 jm	x 0,08 tth/seinä-m ²	= 3 tth	
Seinärunkokokonaisuus (sis. aukot)				
- runkotolpat, ala- ja yläsidepuut, itsäkoolaus	215 seinä-m ²	x 0,45 tth/seinä-m ²	= 97 tth	
Suojaus ja silvous	215 seinä-m ²	x 0,01 tth/seinä-m ²	= 2 tth	
			= 115 tth	
Suoritemääräkerroin (215 seinä-m ²)	0,996	115 tth x 0,996	= 115 tth	
Ala- ja välpohja				
Tavaran vastaanotto ja välivarastointi	150 pohja-m ²	x 0,01 tth/pohja-m ²	= 2 tth	
Materiaalisirrot	150 pohja-m ²	x 0,03 tth/pohja-m ²	= 5 tth	
Puurunkotyö				
- alapohja	75 pohja-m ²	x 0,36 tth/pohja-m ²	= 27 tth	
- välpohja	75 pohja-m ²	x 0,40 tth/pohja-m ²	= 30 tth	
Suojaus ja silvous	150 pohja-m ²	x 0,01 tth/pohja-m ²	= 2 tth	
			= 66 tth	
Suoritemääräkerroin (150 pohja-m ²)	1,025	66 tth x 1,025	= 68 tth	
Kokonaismenekki, puurunkorakentaminen, paikalla rakennettu puurunko¹⁾		115 tth + 68 tth	= 183 tth	
Työn kesto, 2 asentajaa		183 tth/((8 tth/tv) x 2 RAM)	= 12 tv	

¹⁾ ei sisällä höyrysulun, tuulensuojauksen tai lämmöneristyksen asennusta

Kuva 6: Esimerkilaskelma paikalla rakennetun puurungon ajallisesta kestosta

Tilaelementtirakentamisessa työvaiheiden päällekkäinen toteutus mahdollistaa huomattavasti nopeamman rakentamisajan verrattuna paikalla rakentamiseen, jossa seuraavan työvaiheen aloitus on usein sidonnainen edellisen työvaiheen valmistumiseen. Elementit-E Oy on toteuttanut koulurakennushankeen kolmessa kuukaudessa, josta työmaa-ajan osuus oli vain yksi kuukausi. Rakennuksen pohjapinta-ala on 1600 neliometriä. Edellä mainittua toteutumaa ei voi

verrata paikalla rakennetun puurungon valmistamiseen työmaalla, mutta mielestäni kuvan viisi mukainen esimerkkilaskelma toimii hyvin suuntaa antavana esimerkkinä. Elementit-E Oy:n toteuttaman koulurakennuksen työmaa-aika on vain kaksi viikkoa pidempi kuin huomattavasti pienemmän kohteen runkora-kenteiden valmistusaika paikalla rakennettuna. Teollinen esivalmistus, resurs-sien keskittäminen samaan paikkaan sekä oikein valitut työskentelymenetel-mät ovat tekijöitä, joiden ansiosta edellä mainittu toteutuma on ollut mahdol-lista saavuttaa. Lyhyt rakentamisaika pienentää työmaan aikasidonnaisia kus-tannuksia, jotka muodostuvat muun muassa työntekijöiden ja työnjohtajien palkoista, käytettävän kaluston vuokra- ja käyttökustannuksista sekä työmaan ylläpitokustannuksista. (3.)

Ilkivallan vaikutus työmaahan

Rakennustyömaat altistuvat usein ilkivallalle. Ilkivalta voi tarkoittaa rakennetta-van kohteen tuhimista, käytettävien rakennusmateriaalien vahingoittamista tai käytettävän kaluston varastamista. Keinoja ilkivallan ehkäisemiseen ovat muun muassa työmaan valaiseminen ja aitaaminen, kameravalvonnan järjes-täminen sekä vartioinnin järjestäminen niinä aikoina, kun työmaalle ei työsken-nellä. Paikalla rakennettaessa riski ilkivallalle altistumiseen on suurempi kuin rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä, koska työmaa on ajallisesti pitkä-kestoisempi sekä kalustoltaan monimuotoisempi. (24.)

Pitkä rakentamisaika tarjoaa enemmän mahdollisuuksia ilkivallan tekijöille, koska rakennustyömaa pysyy käynnissä ajallisesti kauemmin. Yhtä lailla tila-elementtijärjestelmällä rakennettaessa on mahdollisuus altistua työmaalla ta-pahtuvalle ilkivallalle, mutta ajallisesti pienemmän keston vuoksi tarvittavat jär-jestelyt ilkivallan ehkäisemiseen eivät muodosta niin suurta kustannuserää kuin paikalla rakennettaessa. Työmaan valaistuksesta, aitaamisesta sekä var-tioinnin ja valvonnan järjestämisestä muodostuu hankkeelle kustannuksia, jotka usein koetaan turhiksi, jos ilkivaltaa ei ole tapahtunut aikaisemmillaan työmailla.

Varkauden tai rakennettavan kohteen tuhrinnan tapahtuessa taloudellinen ra-situs ei ole aina merkittävin seuraus, koska usein vakuutukset kattavat talou-delliset menetykset. Ajallisia vahinkoja ei kuitenkaan korvaa mikään, jolloin työn toteuttaja voi joutua maksamaan tilaajalle korvauksia, jos ajallista tavoi-

tetta ei saavuteta. Viivästymisen aikaisten taloudellisten menetysten korvaaminen on usein työn toteuttajan velvollisuus, minkä takia on erittäin tärkeää, että suunnitelmista poikkeavia työvaiheita ei tule. (24.)

Aikataulutoteuman hallinta

Aikataulutoteutuman hallinta on tilaelementtirakentamisen kannalta helpompaa kuin paikalla rakennettaessa. Tehdasolosuhteiden ollessa vakioitunut viivästyksiä ei aiheudu esimerkiksi säätilan muutoksista. Paikalla rakennettaessa sade, pakkas tai helle voivat olla syitä, joiden takia tuotanto työmaalla seisahtuu tai hidastuu. Sade voi pilata tai vahingoittaa käytettäviä rakennusmateriaaleja, jolloin työskentelyedellytykset laadukkaan lopputuloksen saavuttamiselle eivät täyty. Pakkas- tai hellerajan rikkoutuessa yhtäjaksoisten työskentelyaikojen pituudet voivat olla normaalista poikkeavia. Poikkeavuus johtuu sääolosuhteiden liiallisesta fyysisestä kuormituksesta, jolloin säälle alttiit työvaiheet voidaan määrittää lyhytkestoisemmiksi. Tilaelementtituotanto ei altistu sääolosuhteille, minkä seurauksena sääolosuhteiden aiheuttamat viivästykset tuotantovaiheessa on saatu poistettua. Paikalla rakennettaessa sääolosuhteiden vaikutuksia ei pystytä minimoimaan kuin osittain, jolloin riski ajalliselle viivästymiselle on aina olemassa. (3; 24.)

4.2 Kuivaketju

4.2.1 Näkökulman esittely ja valintaperusteet

Rakentamisen kuivaketjulla tarkoitetaan, että käytettävät rakennusmateriaalit pysyvät kuivina koko rakennuksen valmistusprosessin sekä käyttövaiheen aikana. Rakennusmateriaalit eivät saa altistua kosteudelle kuljetuksen, varastoinnin, tuotannon tai käytön aikana. Rakentamisen kuivaketjulla pyritään varmistamaan siitä, että rakennuksessa on turvallista ja terveellistä asua koko sen elinkaaren ajan. Kuivaketjun toteuttaminen edellyttää huolellista suunnittelua, dokumentointia, oikein valittuja rakennusmateriaaleja, oikeita työmenetelmiä, laadunvalvontaa sekä rakennuksen käyttö- ja huolto-ohjeita. (11.)

Kuivaketjun toteutuminen on tärkeää, jotta vältetään sisäilma- ja homeongelmilta. Kuivaketjun toteutumisen tarkastelu eri rakentamistapojen välillä on ajankohtaista, koska tällä hetkellä rakennuskannassamme on paljon home- ja sisäilmaongelmallisia rakennuksia. Luvun 4.2.2 tarkastelu tilaelementti- ja paikalla rakentamisen välillä rakentamisen kuivaketjun toteutumisen kannalta

käydään varastoinnin, tuotannon ja kuljetusten näkökulmasta. Tarkastelu ei koske rakennuksen käyttövaihetta, koska se on rakentamistavasta riippumaton osa-alue.

Ympäristöministeriön koordinoimassa kosteus- ja home-talkoot-ohjelmassa on arvioitu, että rakennuskannastamme 15–20 prosenttia kärsii kosteus- tai mikrobiongelmaista. Rakentamistavasta riippuen keinot kosteudenhallintaan poikkeavat toisistaan ja muodostavat erilaisia haasteita työn toteuttajalle. Rakennuksen tuotantotavasta riippumatta oleellisinta kuitenkin on, että tilaaja vastaanottaa kosteusteknisesti oikein toteutetun sekä toimivan rakennuksen, joka on turvallinen ja terveellinen sen käyttäjille. (11; 18.)

Mikrobiongelma syntyy usein, kun kosteudelle alttiiseen rakennusmateriaaliin, kuten kipsilevyyn, on päässyt kosteutta, missä tahansa sen muodossa. Kipsilevyllä ei ole kykyä kuivua kosteudelle altistumisen jälkeen, minkä takia riski homeen kasvulle tai kosteuden johtumiselle muihin rakennusmateriaaleihin on suuri. Kosteuden muodot ovat vesi, lumi, jää ja höyry. Mikrobin kasvuun vaikuttavia tekijöitä ovat pintojen tai rakenteiden kosteus, lämpötila, ravinteet ja aika. Mikrobit yhdessä muiden epäpuhtauksien kanssa, kuten ammoniakki ja erilaiset toksiinit, heikentävät sisäilman laatua merkittävästi muun muassa aiheuttamalla rakennuksen käyttäjille erilaisia oireita. (21, 10-11.)

Huono sisäilman laatu ja home vaikuttavat rakennuksessa työskentelevien tai aikaa viettävien ihmisten terveyteen sekä yleiseen vireystilaan. Erittämiensä toksiinien kautta home voi aiheuttaa allergisoitumista tai erilaisia infektioita limakalvoalueille sekä toistuvia poskiontelotulehduksia, keuhkoputkentulehduksia ja joskus jopa keuhkokuumeettakin. Kuivaketju rakennusprosessissa on keino edellä mainittujen terveysriskien ehkäisemiseen. Jotta tulevaisuudessa vastaavilta ongelmilta vältytään, tulee rakennusprosessia kehittää etenkin tuotantovaiheen osalta, jotta edellytyksiä kosteus ja homevaurioiden syntymiselle ei luoda. Terveydelle haitalliset rakennukset rasittavat kansantaloutta merkittävästi, koska sairaspöissaolajen määrä työpaikoilla lisääntyy, rakennuksia jää tyhjiilleen epäterveellisyytensä takia sekä varallisuutta joudutaan käyttämään rakennusten korjaamiseen, vaikka tarvetta olisi rakentaa uusiakin. (19.)

4.2.2 Vertailu rakentamistapojen välillä

Varastointi

Paikalla rakentaessa rakennusmateriaalien varastointipaikkana toimii yleensä avokatos tai rakennettavasta kohteesta määrätty tila. Työmaalla sijaitsevan katoksen toimiessa varastointipaikkana materiaalit voivat olla varastoinnin aikana säältä suojassa, mutta kun käytettävä materiaali kuljetetaan loppusijoituspaikkaansa, on riski, että materiaali altistuu kosteudelle. Kosteudelle altistuminen voi johtua puutteellisesta materiaalin pakkauksesta tai pakkauksen rikkoontumisesta. Syitä rakennusmateriaalien pakkausten rikkoontumisille ovat muun muassa tavaroiden päällekkäinen varastointi, siirtely tai eläinten, kuten lintujen, tekemät vauriot. Materiaalien siirtely ja päällekkäinen varastointi johtuvat tilan puutteesta, käytettävän tavaran määrästä sekä rakennusmateriaalien poikkeavista toimitusajankohdista. Lisäksi ilman kosteuspiitoisuuden vaihtelu on työmaalla erittäin suurta, etenkin jos rakennetaan syksyllä. Pakkausmuovi rakennusmateriaalin ympärillä kattaa monesti vain sivusuunnat ja yläpuolen, jolloin alapuoli on altis maasta nousevalle kosteudelle. Maasta nouseva kosteus voi johtua suoraan maasta materiaaliin tai aiheuttaa kondenssi-ilmiön pakkauksen sisäpuolella, jolloin vesi alkaa tiivistymään pisaroiksi ja tippumaan alas suoraan materiaalin päälle. (24.)

Rakennusmateriaalien saapuessa Elementit-E Oy:n tilaelementtitehtaalle, niinä varastoidaan sisätiloihin, säältä suojaan. Rakennusmateriaalit pyritään tilaamaan oikea-aikaisesti, jotta väliaikaiselta varastoinnilta vältytään ja tuotantotilat pysyvät siisteinä. Rakennusmateriaalien virheettömyys sekä käytettävyyt säilyvät tehdasvarastoinnin ansiosta, koska tuotantotehdas mahdollistaa rakentamisen ja materiaalien varastoinnin saman katon alla. Käytettävät rakennusmateriaalit eivät altistu ulkona vallitseville sääolosuhteille eivätkä muille haittatekijöille kuten eläimille tai ilkeivallalle. Pakkausmateriaalin kunto ei ole oleellinen materiaalien kosteudelle altistumisen kannalta, koska tehdasvarastoinnin ansiosta materiaaleja ei tarvitse siirrellä ulkoilmassa. Lisäksi lämpötila- ja kosteusvaihtelu on tehdasolosuhteissa hallitumpaa kiinteän lämmitys- ja ilmanvaihtojärjestelmän ansiosta. (3.)

Tuotanto

Elementit-E Oy:n tilaelementtituotanto tapahtuu tehdasolosuhteissa, säältä suojassa, jossa ilman lämpötila- ja kosteusvaihtelu on pientä. Kesäisin lämpötila on varjolämpötilan mukainen sekä ilman kosteuspitoisuus on noin 65 -95 prosenttia. Talvisin lämpötila on 16-20 astetta ja ilman kosteuspitoisuus noin 45-65 prosenttia. Paikalla rakennettaessa rakennettavan kohteen sääsuojaus on lähes ainoa keino saavuttaa samat tuotantoedellytykset sääolosuhteiltaan kuin tehdastuotannossa. Rakennuksen sääsuojaus muodostaa kustannuksia asennuksen, purun, käytettävien sääsuojausmateriaalien, rahdin sekä vuokran muodossa. (3; 23.)

Sääsuojauksen hintaa laskiessani käytin apunani kuvitteellista kohdetta. Kohteen pohjapinta-ala on 1000 neliometriä, rakennuksen harjakorkeus on 6 metriä sekä rakennus on dimensioiltaan suorakaiteen muotoinen yksi kerroksinen rakennus, joka sijaitsee Helsingissä. Laskelmassa olen hyödyntänyt Kas-telineet Oy:n nettisivuilta löytyvää tarjouslaskuria (taulukko 1). Sääsuojaus muodostuu katon sekä seinien suojauksesta. Lisäksi laskelmassa olen määrittänyt telineet kaikille sivuille sekä työtasot kahden metrin välein. Sääsuojauksen vuokrahinta kuukauden kestäväälle rakennusjaksolle, edellä mainituilla ominaisuuksilla, on arvonlisäverottomana 33 928 euroa. Rakennusprosessin kokonaishinnan ollessa esimerkiksi miljoonaa euroa, sääsuojauksen vuokraus yksin muodostaa siitä jo lähes 3,5 prosentin osuuden. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä sääsuoja on tuotantotehtaan ominaisuus, ei poikkeuksellinen ja kustannuksia muodostava tekijä, niin kuin paikalla rakennettaessa. Sääsuojauksen hinta on kuitenkin suuntaa antava, koska oikeassa tilanteessa hinnat eri toimittajien välillä olisi kilpailutettu, jolloin mahdollisesti edullisempi vaihtoehto olisi voinut löytyä.

Sääsuojan asennus- ja vuokrahinta

Sääsuojan koko	Pituus: 50m, Leveys: 20m, harjakorkeus: 6m
Alue	Helsinki
Vuokra-aika	1 kuukautta

Hinta	
Asennus ja purku	16 560 €
Materiaalit	3 400 €
Nosturi asennukseen ja purkuun	6 000 €
Vuokra/vrk	206€/vrk
Rahti/suunta	894 €

Hinta yhteensä (alv 0%)	33 928 €
--	-----------------

Taulukko 1: Esimerkilaskelma sääsuojauksen hinnan muodostumisesta. Kuvakaappaus. Microsoft Excel. (23.)

Lämpötila- ja kosteuserojen vaihtelu on paljon suurempaa työmaalla sääsuojauksista, kuten huputusta käytettäessä, koska esimerkiksi talvella lämpötila voi vaihtua nolasta asteesta (0) miinus kolmeen kymmeneen asteeseen (-30), muutaman päivän aikana. Lämmityslaitteilla pystytään vaikuttamaan lämpötilaeroihin, mutta kohteen lämpöeristävyydestä ja laajuudesta riippuen käytettävä lämmityslaitteisto voi muodostua suureksi taloudelliseksi rasitukseksi yhdessä kohteen huputuksen kanssa. Lisäksi paikalla rakennettaessa voi tulla tilanteita, joissa huputusta joudutaan avaamaan huputuksen sisäpuolisen ilmanvaihdon ja tuuletuksen vuoksi. Syitä tähän ovat muun muassa helle tai ilman kosteuspitoisuuden suuruus. Hellekeleillä hupun sisäpuolella lämpötila voi nousta sietämättömäksi ja jopa vaaralliseksi työskennellä, jolloin huputusta joudutaan avaamaan. On myös mahdollista, että työmaalla huputuksen sisäpuolella sataa. Sade johtuu voimakkaasta kondenssi-ilmiöstä sääsuojan sisäpuolella. Syitä tähän ovat muun muassa lämpötila, ilman kosteuspitoisuus sekä tuuletuksen riittämättömyys. Tuotantotehtaassa vastaavaa ongelmaa ei synny, koska sisäilman lämpötilaan ja kosteuspitoisuuteen voidaan vaikuttaa kiinteää laitteistoa hyväksi käyttäen. (24.)

Kuljetukset

Kuljetusten osalta tilaelementtirakentaminen ja paikalla rakentaminen eivät juurikaan poikkea toisistaan rakentamisen kuivaketjun näkökulmasta. Molemmilla rakentamistavoilla tulee huolehtia, että työmaalle tai tilaelementtitehtaalle tilatut materiaalit kuljetetaan niin, että riskiä kosteudelle altistumiselle ei ole. Tilaelementtirakentamisen osalta tilaelementtien kuljetus tehtaalta työmaalle on suunniteltava huolella kosteusteknisesti, jotta sää tai roiskevedet eivät pääse kastelemaan tilaelementtien rakenteita, kuljetuksen aikana. Elementit-E Oy käyttää tilaelementtien kuljetusten aikaisessa suojauksessa veden pitäviä suojapeitteitä ja muovikalvoa. Suojaukset kiinnitetään elementteihin nitomalla ja kiinnitysrimoilla, jotta voidaan varmistua suojauksen kestävydestä. Lisäksi peitteiden saumat teipataan, jotta tuuli ei pääse puhaltamaan peitteiden sisäpuolelle ja sitä kautta irrottamaan niitä (kuva 7). (3.)



Kuva 7: Pakatut tilaelementit ennen työmaalle lähtöä

4.3 Laatu

4.3.1 Näkökulman esittely ja valintaperusteet

Laatu käsitteenä ei ole yksiselitteinen. Laatu voi tarkoittaa tuotteen laatua, palvelun laatua, toiminnan laatua tai näiden yhdistelmiä. Laadulla pyritään herättämään asiakkaiden kiinnostus sekä varmistamaan oman tuotteen menestymisen. Asiakkailla on laatuvaatimustaso, joka tuotteen tulee täyttää. Lopputuotteen laatu voidaan jakaa pienempiin osiin, joita ovat muun muassa valmistuksen laatu, suunnittelun laatu, ympäristökeskeinen laatu sekä asiakkaan havaitsema suhteellinen laatu. Laatu ei siis tarkoita ainoastaan virheetöntä lopputuotetta vaan prosessia suunnittelusta käyttöönottoon, niin että tuote on asetettujen vaatimusten mukainen, täyttää asiakkaan tarpeet sekä valmistus on toteutettu vallitsevien määräysten ja käytäntöjen mukaisesti. (10.)

Vertailu laadun suhteen käsittelee valmistuksen eli tuotannon laatua. Rakennusteollisuuden kesällä 2012 tekemän verkkohaastattelun mukaan yleisimpiä syitä rakennustuotannon laatuvirheille ovat muun muassa pirstaleiset urakat, aikataulujen kiireellisyys, suunnitelmien- ja tuotannon laatu sekä epäselvät vastuualueet. Paikallarakentaminen ja tilaelementtirakentaminen poikkeavat tuotantotavoiltaan huomattavasti toisistaan ja mielestäni on oleellista tarkastella tuotantotavan vaikutusta laadukkaan lopputuotteen syntymiselle, koska tuotannon laatu on yleisimpiä syitä laatuvirheiden aiheutumiselle. Luvun 4.3.2 vertailevassa tarkastelussa keskitytään tuotannon laatuun vaikuttaviin tekijöihin, kuten sääolosuhteisiin, työergonomiaan, pölynhallinnan merkitykseen sekä kuljetus- ja nostotyön vaikutuksiin. (18.)

Tuotannon laatu rakennusteollisuudessa muodostuu muun muassa käytettävistä rakennusmateriaaleista ja suunnitelmista, oikein valituista työmenetelmistä sekä työn ammattitaitoisesta toteutuksesta. Tuotannon laatu on tilaajan kannalta oleellinen asia, koska ensimmäinen asia, jonka hän rakennuksesta kokee, on näkyvien pintojen viimeistelyn laatu. Muut rakennuksen laatuun vaikuttavat tekijät, kuten tiiveys, pintojen lämpö ja mukavuus sekä ääneneristävyyden ilmenevät vasta rakennuksen käytön myötä. Laatuvirheet johtavat takuukorjauksiin, jotka muodostavat työn toteuttajalle lisäkustannuksia, koska sama työ joudutaan tekemään uudestaan, jotta edellytetty laatutaso saavutetaan. Näkyvien pintojen laatutaso voi kuitenkin olla hämäävä, koska niiden funktio

on vain esteettinen. Todellinen tuotannon laatu koostuu oikein valituista ja toteutetuista rakenneratkaisuista, koska ne tekevät rakennuksesta turvallisen, terveellisen, aikaa ja rasituksia kestävän sekä miellyttävän käyttöä. (10.)

4.3.2 Vertailu rakentamistapojen välillä

Rakenneratkaisut

Paikalla rakennettaessa rakennuksen runko voidaan mitoittaa hoikemmaksi kuin rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä. Syy tähän on, että tilaelementtien täytyy kestää nostoista ja kuljetuksista aiheutuvia rasituksia, niin että muodonmuutoksia rakenteissa ei tapahdu. Hoikempi runkoratkaisu tarkoittaa usein pienempiä kustannuksia runkomateriaalien osalta. Paksumpi runkomateriaali mahdollistaa kuitenkin paksumman eristekerroksen käytön, jolla säävutetaan rakenteen parempi lämmöneristävyyssyky ja rakenteellinen jäykkyys. Paikalla rakennettaessa vastaavaan lämmöneristävyyteen pääseminen edellyttää monesti lisärungon tekoa varsinaisen rungon jatkeeksi, jotta paksumpi eristekerros on mahdollista asentaa. Kustannukset kasvavat lisääntyneiden työvaiheitten myötä, mikä tekee tilaelementtirakentamisesta kilpailukykyisen vaihtoehdon ajatellen rakennuksen käyttömukavuutta ja energiatehokkuutta. (3.)

Rakennuksen tiiveydessä Elementit-E Oy on päässyt vuotolukuun yksi, joka on todella hyvä arvo millä tahansa mittarilla. Elementtirakentaminen muodostaa aina tarpeettomia saumoja rakennukseen, mutta tilaelementtien ollessa jopa 60 neliömetrin kokoisia pohjapinta-alaltaan, niin elementtisaumojen määrä on pieni, verrattuna muihin elementtirakentamisen muotoihin. Paikalla rakennettaessa elementtisaumoja ei ole, jolloin tiiviin rakennuksen toteutus on työteknisesti helpompaa. Paikalla rakennettaessa esimerkiksi höyrynsulkumuovin asennus on mahdollista toteuttaa yhtenäisempänä, johtuen saumattoimista rakenteista. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä elementtisauman höyrynsulku muodostuu aina kahden eri tilaelementin höyrynsulkumuovista, jotka limitetään sekä teipataan. Työvaihe on poikkeuksellinen verrattuna paikalla rakentamiseen, mutta funktioltaan yhtä toimiva huolellisesti toteutettuna. (3.)

Tilaelementtirakennus on ääniteknisesti hiljainen, koska rakenteet eivät kulje tilaelementistä toiseen. Elementit-E Oy:n asentamat tilaelementit erottaa toisistaan 40mm ilmarako, jolloin äänet eivät johdu rakenteita pitkin tilaelementistä toiseen (kuva 8). Paikalla rakennettaessa seinä kahden eri tilan välillä on usein yhdestä rungosta muodostuva yhteinen seinä, joka ei ole ääniteknisesti yhtä toimiva kuin kahdesta eri rungosta muodostuva yhteinen seinä, jossa ilmarako estää runkorakenteiden kosketuksen toisiinsa. Vastaava rakenne on mahdollista toteuttaa myös paikalla rakennettaessa, mutta vaatii enemmän ajallista panosta. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä rakenne muodostuu itsestään tilaelementtien asennustyön jälkeen. (3.)



Kuva 8: Tilaelementit erottaa toisistaan ilmarako, joka toteutetaan villakaistalla ja kumitiivisteellä

Mittatarkkuus

Tilaelementtien on oltava mittatarkkoja, jotta laadukas asennustyö työmaalla on mahdollista toteuttaa. Elementit-E Oy:n tehdastuotannon työpisteet runkorakenteiden osalta koostuvat elementtipöydästä ja käytettävästä kalustosta, joka sisältää kaikki työvaiheen edellyttämät välineet. Työkalut on sijoitettu vakioituille paikoille, käytettävät materiaalit on varastoitu työpisteen läheisyyteen ja työskentely tapahtuu työtasoa, elementtipöytää, avuksi käyttäen. Rakenta-

minen vaakatasoisilla elementtipöydillä mahdollistaa paremman mittatarkkuuden ja laadun savuttamisen, koska työmenetelmät on pystytty järjestämään optimaalisiksi hyvän työergonomian ja rakennuspaikan muodossa. Työalusta on tukeva, horjumaton sekä liikuteltava, jonka ansiosta väliaikaisia tuentoja ei tarvitse tehdä sekä elementti pystytään siirtämään haluttuun asentoon työn laadukkaan toteuttamisen kannalta. Hyvä työergonomia mahdollistaa laadukkaan ja mittatarkan lopputuloksen saavuttamisen, koska työntekijän työskentelyasento ei ole liian kuormittava. Huono työasento kuormittaa ihmistä niin fyysisesti kuin henkisesti. Ajatukset työn laadukkaan toteuttamisen sijasta siirtyvät kropan kuormitukseen ja väsymiseen, jolloin riski työvirheen aiheutumiselle kasvaa ja muuttuu todennäköisemmäksi. (3.)

Paikalla rakennettaessa käytettävien rakennusmateriaalien asennus tapahtuu usein suoraan paikoilleen. Ulkoseinää rakennettaessa tarvitaan väliaikaisia tuentoja sekä työvoimallisesti suurempaa panosta, jotta mittatarkka asennus on mahdollista toteuttaa. Väliaikaisia tuentoja käytettäessä on mahdollista, että tuki siirtyy ja sitä ei huomata, jolloin rakenteen mittatarkkuus voi kärsiä. Jos mittapoikkeamaa ei huomata heti, virhe monistuu seuraavia työvaiheita tehtäessä. Paikalla rakennettaessa väliaikaisten tuentojen riittävydestä tulee varmistua, jotta mittapoikkeamaa ei synny. Lisäksi kynnys huolimattomaan asennustyöhön on paikalla rakennettaessa pienempi, koska rakennettuja tiloja ei tarvitse siirtää. Ammattiympäristön ollessa heikko mittapoikkeama jää usein korjaamatta, jolloin riski takuukorjauksen syntymiselle on olemassa. Mittapoikkeaman ollessa runkorakenteissa kaikki rungon päälliset rakenteet joudutaan purkamaan, jotta havaittu virhe on mahdollista korjata.

Sääolosuhteet

Sade, tuuli ja pakkanen muodostavat omat haasteensa työn mittatarkalle ja laadukkaalle toteuttamiselle, etenkin rakennustyövaiheissa, jotka tehdään ulkona. Sade kastelee käytettävät rakennusmateriaalit, heikentää näkyvyyttä ja voi aiheuttaa häiriöitä käytettäviin työvälineisiin. Tuuli vaikeuttaa etenkin maanpinnan yläpuolella tehtäviä töitä vaikuttamalla työntekijän tasapainoon ja sitä kautta tarkkaan asennustyöhön. Pakkanen vaikuttaa myös työntekijän tarkkuuteen ja tasapainoon, koska pintojen ollessa liukkaita työntekijä joutuu keskittymään tasapainoonsa ja työmenetelmän edellyttämä tarkkuus voi kärsiä.

siä. Paikalla rakennettaessa sääolosuhteet vaikuttavat mittatarkkuuden saavuttamiseen huomattavasti enemmän ulkotöiden osalta verrattuna esivalmistettuun tehdastuotantoon. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä sääolosuhteet eivät vaikuta tehdastuotannon laatuun (kuva 9). Elementit-E Oy pystyy rakentamaan tilaelementtinsä niin valmiiksi tuotantotehtaassa, että työmaalle jääviä ulkona tehtäviä työvaiheita ovat elementtiasennus, elementtisaumojen viimeistely sekä kunnallistekniset liitännät. (3.)



Kuva 9: Sääolosuhteet eivät vaikuta tehdastuotannon laatuun

Paikalla rakennettaessa rakentamisvaiheen ajoittaminen vuodenaikaan nähdessä on erittäin tärkeää, jotta työ voidaan suorittaa suunnitellussa aikataulussa sekä laadun kärsimättä, jos sääsuojasta ei käytetä. Työvaiheet asettavat työskentelyolosuhteille vaatimuksia, jotta laadukkaasta lopputuloksesta voidaan varmistua. Sääolosuhteista riippuvaisia työvaiheita ovat muun muassa julkisivumaalaus ja eristystyöt. Käytettävän eristemateriaalin, kuten mineraalivillan asentamista ei saa suorittaa sateessa, koska mineraalivillalla ei ole kykyä kuivua kosteudelle altistumisen jälkeen. Ajan myötä kastuneeseen mineraalivillaan alkaa muodostua hometta ja muita epäpuhtauksia, mikä voi aiheuttaa rakennuksen käyttäjille terveydelle haitallisia oireita. Toisena esimerkkinä pintakäsittelyaine ei välttämättä tartu käsiteltävään pintaan, jos se on märkä, tai ilman kosteus ja lämpötila eivät ole aineen, kuten maalin, käsiteltävyyden kannalta edellytysten mukaisia. Jos pintakäsittely suoritetaan puutteellisissa olosuhteissa, maali voi alkaa lohkeilemaan seinästä jo muutaman vuoden

päästä. Lohkeileva maalipinta ei ole esteettisesti kaunis eikä tarkoituksen mukainen, julkisivumateriaalia suojaava kerros. Tilaelementtituotannon tapahtuessa tehdasolosuhteissa sääolosuhteiden muodostamat riskit työn laadukkaalle toteutukselle saadaan poistettua. (24.)

Pölynhallinta

Rakennettaessa tuotantotehtaassa pölynhallinnan merkitys korostuu, koska työmaa tilaelementtituotannon osalta, kohteesta riippumatta, on aina sama. Rakennuspöly on rakennettavan kohteen laatua heikentävä tekijä, koska pöly tarttuu pintoihin, mikä vaikuttaa pintakäsittelyn tarttuvuuteen sekä heikentää sisäilman laatua ärsyttämällä limakalvoja ja hengitysteitä. Rakennuspölyä syntyy muun muassa kun rakennusmateriaaleja, kuten puuta, kipsilevyä tai mineraalivillaa työstetään leikkaamalla, sahaamalla tai hiomalla.

Elementit-E Oy:n kiinteissä työstökoneissa kuten katkaisu- ja halkaisusirkkeleissä, on kiinteät pölynpoistojärjestelmät, jotta pölyn talteenotto on hallittua. Lisäksi käytössä on laitekohtaisia pölynpoistojärjestelmiä, jotta syntyvän rakennuspölyn määrää voidaan vähentää. Tilaelementtirakentamisessa tuotantotehdas mahdollistaa pölynpoistojärjestelmällä varustetun sirkkelin sijoittamisen rakennettavan tilan viereen, jossa se on säältä suojassa ja työpisteen ulkopuolella. Pölypussin täytyessä pöly ei jää rakennettavaan tilaan vaan tilan ulkopuolelle, jossa työstö on suoritettu. On kuitenkin erittäin tärkeää, että pölynpoistolaitteen toimivuudesta varmistutaan ennen materiaalin työstön aloittamista, koska samalla tavalla kuin työmaallakin, pöly jää vellomaan tuotantotehtaan ilmaan, josta se laskeutuu tehtaan lattia- ja seinäpintoihin. (3.)

IV-järjestelmää tehtäessä kanavien puhtaus ja pölyttömyys on erittäin tärkeää, jotta järjestelmä on toimiva ja tarkoituksen mukainen. Elementit-E Oy asentaa IV-kanavat suojattuina sekä niin, että tilassa ei tehdä töitä, joista rakennuspölyä voi syntyä. Tällä vältytään pölyn kulkeutumiselta kanavistoon sekä luodaan edellytykset toimivalle ja puhtaalle IV-järjestelmälle. Työmaalla IV-järjestelmän päätelaitteet suojataan välittömästi asennustyön jälkeen, jotta työmaan aikaisista rakennustöistä pölyä ei pääse järjestelmään. Lisäksi IV-kone käynnistetään vasta loppusiivouksen jälkeen, jotta voidaan varmistua järjestelmän puhtaudesta sekä terveellisyydestä. (3.)

Paikalla rakennettaessa työstökone kuten sirkkeli on yleensä sijoitettu rakennettavan kohteen sisätiloihin, jotta työstö voidaan suorittaa säältä suojassa sekä lähelle työpistettä. Omaan rakennusalan työkokemukseen viitaten, laitekohtaisen pölynpoistojärjestelmän, kuten imurin, käyttö on erittäin puutteellista, koska usein se koetaan työlääksi, turhaksi ja aikaa vieväksi lisätyöväikeeksi. Imuria käytettäessä pölypussin täyttyminen huomataan yleensä vasta siinä vaiheessa kun huoneen sisäilma on niin pölyinen, että pöly alkaa ärsyttämään työn tekijöiden limakalvoja ja hengitysteitä. Lisäksi imuri ei pysty poistamaan kaikkea työstöstä aiheutuvaa rakennuspölyä sata-prosenttisesti vaan osa jää rakennettavaan tilaan. (24.)

Syy tähän on usein asenne ja piittaamattomuus, koska työmaan valmistuttua ajatus on, että sinne ei tarvitse mennä enää takaisin. Samassa huoneessa, mihin sirkkeli on sijoitettu, voidaan tehdä myös yhtä aikaisesti esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmää, jonka kannalta on erittäin tärkeää, että kanavat pysyvät puhtaina. Aikataulun kiireellisyys sekä huono työvaihesuunnittelu voivat olla syitä, joiden takia ratkaisuun on päädytty. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä vastaava tilanne pystytään ehkäisemään, koska IV-kanavat voidaan valmistaa muualla kuin rakennettavan tilaelementin sisällä, mutta kuitenkin sen läheisyydessä saman katon alla, pölyttömässä tilassa. Päätelaitteiden suojaamisesta ei ole mitään hyötyä, jos kanavien asennustyö on tehty pölyisessä tilassa, koska pöly on päässyt kantautumaan kanavistoon ennen suojausvaihetta. IV-koneen käyttöönoton jälkeen kanaviin varastoitunut pöly alkaa kiertämään järjestelmässä, josta se leviää myös sisäilmaan. Kanavien pölyisyyden takia tilaaja voi edellyttää muun muassa kanavien nuohoamista. Nuohous on siinä tapauksessa tarpeellinen, mutta turha ja lisäkustannuksia aiheuttava työvaihe, koska uusien kanavien tulisi olla puhtaita.

Rakennusmateriaalit

Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä poikkeukselliset laaturvirheet, paikalla rakentamiseen verrattuna, johtuvat usein tilaelementtien kuljetusten tai nostotyön aikana syntyneistä hetkellisistä muodonmuutoksista. Riski muodonmuutosten syntymiselle on kuitenkin pieni, koska tilaelementin runko mitoiteetaan vahvemmaksi ja jäykemmäksi, jotta se kestää kuljetus- ja nostotyön aiheuttamia rasituksia. Muodonmuutoksen syntyminen aiheuttaa poikkeuksellisia jännityksiä rakenteisiin, jotka purkauduttuaan voivat aiheuttaa laaturvirheitä.

Jännityksen purkaututtua muodonmuutoksille altis materiaali, kuten keraaminen laatta, voi haljeta. Tämä asettaa rajoitteita käytettäville rakennusmateriaaleille ja ratkaisuille, jotta esivalmiusaste pystytään pitämään mahdollisimman korkeana sekä virheetömänä. Lisäksi tilaelementti voi vaurioitua pysyvästi jos se esimerkiksi kolhiintuu tai putoaa kesken nostotyön. Suunnittelu rakennusmateriaalien valinnan sekä kuljetus- ja nostotyön osalta on avain asemassa, jotta laatuvirheitä vältetään. (3.)

Paikalla rakennettaessa vastaavaa riskiä on pienempi, koska rakentamistapa ei edellytä kuin kappaletavaran siirtelyä. Tämä mahdollistaa laajemman valikoiman käytettävien rakennusmateriaalien suhteen sekä yksityiskohtaisemman suunnittelun, jos laatua määrittävänä tekijänä on esimerkiksi pintojen monimuotoisuus. Pintamateriaalin, kuten keraamisen laatan, vaihtaminen on mahdollista, mutta lisäkustannuksia sekä ajallista vaivaa aiheuttava takuutyö. Lisäksi jos laatan alla on käytetty vedeneristystä, niin sen kunnosta tulee myös varmistua, jotta rakenne on edelleen toimiva ja tarkoituksenmukainen rakennuksen käyttäjille, eikä aiheuta suurempaa vahinkoa myöhemmin.

4.4 Työturvallisuus

4.4.1 Näkökulman esittely ja valintaperusteet

Rakennusalalla työtaturmien riski on suuri. Huonot työskentelyolosuhteet, käytettävä kalusto ja laitteisto, suunnitelmien puutteellisuus ja asenne muodostavat monta epäkohtaa ja riskitekijää turvallisen työskentelyn toteutumiseksi. Rakennusalalla tapahtuvien työtaturmien määrä on yksi suurimmista ja sen takia on oleellista tarkastella, miten tuotantotapa vaikuttaa työturvallisuuden toteutumiseen ja järjestämiseen. Luvussa 4.4.2 tarkastellaan työturvallisuuteen vaikuttavia asioita kuten sääolosuhteiden, työergonomian, materiaalien siirtelyn sekä kuljetus- ja nostotyön muodostamia turvallisuusriskejä. Turvallisten työskentelyolosuhteiden järjestäminen on perusedellytys nykypäivän rakennusteollisuudessa, koska rakennustyö ei saa aiheuttaa vaaraa työntekijöille eikä työmaan läheisyydessä liikkuville. (8; 9.)

Työturvallisuuden järjestämisen perustana toimii Työturvallisuuslaki (738/2002). Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta (205/2009) täydentää työturvallisuuslakia rakennusteollisuuden näkökulmasta. Lait ja määräykset ovat velvoittavia, eivät ohjeellisia. Työkohtaisesti on olemassa

erillisiä ohjeita, jotka edesauttavat turvallisen työskentelyn toteutumista ja määrittelevät turvallisen työskentelyn edellytykset työvaihekohtaisesti.

Työturvallisuus pyritään ensisijaisesti järjestämään poistamalla riski- ja vaaratekijät, jotka mahdollisesti voivat aiheuttaa työtapaturmia. Riskien poistaminen ei kuitenkaan aina ole mahdollista, jolloin turvaudutaan erilaisiin henkilökohtaisiin suojarusteisiin ja järjestelyihin työturvallisuuden takaamiseksi. Rakennustyömaalla edellytetään henkilökohtaisia suojarusteita kuten huomiovaatteet, turvakengät, kypärä, suojalasit ja hanskat, mutta työmenetelmästä riippuen poikkeavien henkilökohtaisten suojarusteiden, kuten valjaiden, käyttöä voidaan vaatia. (8; 9.)

Yleisimpiä työtapaturmien syitä rakennusalalla ovat muun muassa:

- Putoaminen, liukastuminen, kaatuminen
- Terävään esineeseen kolhiminen
- Fyysinen kuormitus
- Työkoneen hallinnan menettäminen tai vika
- Altistuminen vaaralliselle aineelle (17.)

Riskinotto sekä turvallisuusjärjestelyjen laiminlyönti, niin työntekijöiden kuin esimiestenkin kannalta, muodostaa epäkohtia turvallisen työskentelyn toteutumiselle. Keinoja turvallisten työskentelyolosuhteiden järjestämiselle on olemassa, mutta usein ne koetaan liian kalliiksi, tarpeettomiksi tai työläiksi järjestää. Tuotantotavan vaikutusta turvallisten työskentelyolosuhteiden järjestämisen kannalta ei monesti pidetä merkittävänä tekijänä, mutta mielestäni sillä on suuri vaikutus riskien hallintaan ja poistamiseen työskentely-ympäristöstä.

4.4.2 Vertailu rakentamistapojen välillä

Työskentelyolosuhteiden hallinta

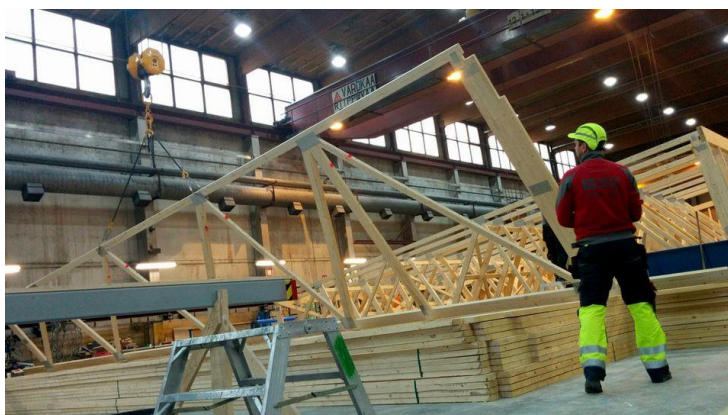
Tilaelementtirakentamisen tehdastuotantovaihe mahdollistaa työturvallisuuden hallitun valvonnan sekä yleiset työturvallisuusohjeet ja käytännöt tilaelementti-tehtaalla. Tehdastuotanto tapahtuu aina samoissa tiloissa, samoja välineitä sekä urakoitsijoita käyttäen, toisin kuin paikalla rakennettaessa, jossa työmaa, urakoitsijoiden kirjo sekä käytettävä kalusto vaihtuu työmaan sijainnista ja yleispiirteistä riippuen. Toteutettavasta kohteesta riippumatta tehdastuotantovaiheen työturvallisuusjärjestelyt ovat vakioituneet, mikä edesauttaa turvallisen työskentelyn toteutumista, toistuvuuden kautta. Työmailla riskien arviointi sekä

työturvallisuussuunnittelu on tehtävä aina työmaakohtaisesti, jonka takia työturvallisuusjärjestelyjä ei ole mahdollista vakioida. Paikalla rakentaminen tapahtuu kokonaisuudessaan työmaalla, mikä tekee turvallisten työskentelyolosuhteiden järjestämisestä vaikeampaa riski- ja vaaratekijöiden poikkeavuuden takia verrattuna tilaelementtirakentamiseen. Työturvallisuus käytäntöjen ollessa aina yhdenmukaiset työntekijöiden on helpompi omaksua ne osaksi työskentelytapojaan, mikä kasvattaa työtehokkuutta sekä –motivaatiota, koska uusien käytäntöjen omaksuminen osaksi työskentelytapoja vie enemmän aikaa kuin vanhojen, jo opittujen, hyödyntäminen. (3; 24.)

Tilaelementtirakentamisen työmaavaihe koostuu samoista työturvallisuusriskeistä kuin paikalla rakennettaessa. Tilaelementtien korkean esivalmiusasteen ansiosta edellytykset työtaturmien syntymiselle eivät ole kuitenkaan niin suuret kuin paikalla rakennettaessa, koska valtaosa rakennus- sekä LVISA-teknisistä töistä on jo tehty tuotantotehtaalla, hallituissa olosuhteissa.

Materiaalien siirrot

Elementit-E Oy:n tuotantotehtaassa materiaalien siirrot tapahtuvat siltanostureista muodostuvaa ”ilmarataa” käyttäen (kuva 10). Siltanostureilla on mahdollista siirtää tarvittavat rakennusmateriaalit työpisteelle tai valmis tasoelementti työpisteeltä kasauspisteelle. Siirrettävien materiaalien sidonta tulee tehdä huolellisesti, jotta siirto on turvallinen toteuttaa. Tilaelementin ollessa valmis työmaalla tarvittavat rakennusmateriaalit varastoidaan tilaelementteihin jo tehdastuotantovaiheen aikana. Ratkaisu vähentää työmaa-aikaista materiaalien siirtelyä, joka edesauttaa työturvallisuuden toteutumista sekä mahdollistaa tehokkaamman työmaatoiminnan, koska tarvittavat materiaalit on sijoitettu jo työpisteen läheisyyteen. (3.)



Kuva 10: Käytettävät materiaalit siirretään siltanostureilla

Paikalla rakennettaessa työmaan ahtaus ja rakennetut tilat muodostavat ongelmia työmaalogistiikalle. Rakennusmateriaalien siirto ulkona on usein mahdollista toteuttaa koneellisesti, mutta monesti sisätiloissa rakennusmateriaalit joudutaan kuljettamaan miesvoimin, koska kone ei mahdu sisälle rakennettuihin tiloihin. Huono nostoasento, taakan suuruus sekä kulkureittien ahtaus ovat mahdollisia työtaturman aiheuttajia paikalla rakennettaessa.

Työergonomia

Ergonomisesti huonot työskentelytavat pitävät sisällään muun muassa toistuvasti polvillaan tai käsivarret olkapäiden yläpuolella olevat työasennot. Huono työasento lisää työntekijän fyysistä kuormitusta, mikä hidastaa työtehokkuutta sekä altistaa työtaturmille, kuten erilaiset nivelvauriot ja lihassäryt. Elementit-E Oy:n tuotantotehtaalla tasoelementit rakennetaan vaakatasoisilla elementtipöydillä. Työtason korkeus on noin metrin lattiapinnan yläpuolella sekä työskentely voidaan toteuttaa seisoma-asennosta, joka mahdollistaa ergonomisesti hyvän työskentelyasennon. Työtasotyöskentelyn ansiosta kurottaen ja polvillaan tehtäviä työvaiheita on pystytty vähentämään. (3.)

Paikalla rakennettaessa hyvän työergonomian järjestäminen on usein haastavaa, koska rakentaminen tapahtuu kappale tavarasta. Käytettävät rakennusmateriaalit asennetaan suoraan paikoilleen, joka poistaa mahdollisuuden työtasotyöskentelyyn useiden rakennustöiden osalta, etenkin rakennettaessa pitkää tavarasta. Pre-cut-järjestelmällä esivalmistetuista komponenteista on mahdollista kasata elementtejä, mutta elementtien valmistus tapahtuu yleensä maanpinnan tasossa tai perustusten päällä, koska työmaalla työtason sijoittamista rajoittaa tilojen ahtaus sekä yhtäaikaiset, samassa tilassa tehtävät työvaiheet. Kiinteitä työskentelytasoja ei myöskään ole, vaan ne joudutaan itse valmistamaan, mikä on aikaa vievä työvaihe. Maanpinnan tasossa tapahtuva työskentely on ergonomisesti huono työmenetelmä, koska työntekijät joutuvat kurottamaan toistuvasti alaspäin sekä olemaan polvillaan. (24.)

Sääolosuhteet

Elementit-E Oy:n tilaelementtituotanto ei altistu sääolosuhteille missään sen vaiheissa, mikä takaa työolosuhteiden turvallisuuden, sääolosuhteista riippumatta. Sääolosuhteet voivat muodostaa työturvallisuusriskejä kuten pintojen liukkaus tai kulkureittien ahtaus ja peittyminen. Pintojen liukkaus ja jäätyminen voi aiheuttaa esimerkiksi liukastumisia, jos hiekotusta ei ole muistettu järjestää. Kulkureittien ollessa ahtaita, huonosti valaistuja sekä esimerkiksi lumeen peittyneitä on olemassa riski, että reitillä liikkuva kompastuu esimerkiksi lumeen hautautuneeseen esineeseen ja nyrjäyttää nilkkansa. Paikalla rakennettaessa työmaa on aina osittain sään armoilla, jonka takia rakentamisvaihe on myös altis sään muodostamille turvallisuusriskeille. Pintojen hiekoittaminen, siivoaminen sekä valaisu ovat keinoja kulkureittien ylläpitoon, mutta se vaatii niin ajallista kuin taloudellista panosta työn toteuttajalta. (3; 24.)

Koneellinen nostotyö

Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä koneellinen nostotyö muodostaa poikkeuksellisen turvallisuusriskin verrattuna paikalla rakentamiseen, koska kappaletavarasta rakentaminen voidaan suorittaa usein ilman nostokaluston käyttöä. Nostotyön aikana on suuri riski, että vahingollisesti merkittävä työtapaturma voi tapahtua. Työntekijä voi jäädä puristuksiin nostettavan taakan ja kiinteään kappaleen väliin tai nostettava taakka voi pudota kesken noston suorittamisen työmaalla olevan henkilön päälle. Työn turvallinen toteuttaminen edellyttää tarkkaa ohjeistusta sekä valvontaa, jotta voidaan varmistua, että henkilövahinkoja ei synny. Nostokaluston suuruus sekä ajallinen tarve vaikuttavat suoraan kustannusten muodostumiseen nostotyön osalta. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä koneellinen nostotyö aiheuttaa poikkeuksellisen suuren kustannuserän verrattuna paikalla rakentamiseen, koska nostokalustolta vaaditaan enemmän. Tilaelementti voi painaa jopa 18-tonnia, joka rajoittaa käytettävän nostokaluston valintaa merkittävästi, jotta nosto on turvallista toteuttaa.

Elementit-E Oy tekee aina kohdekohtaisesti elementtien asennussuunnitelman, jonka vastuullisen rakennesuunnittelijan on hyväksyttävä. Suunnitelmassa on esitelty muun muassa rakennushankkeen vastuut, käytettävän ajoneuvonosturin koko ja turvallinen sijoittaminen, asennettavien elementtien

määrät, maksimi-mitat ja maksimi-massat, nostoapuvälineet, kuljetusten järjestäminen tehtaalta työmaalle sisältäen lastaukset, purut ja varastoinnit, asennusjärjestys sekä asennuksen aikaiset tuennat ja vähimmäistukipinnat. Asennussuunnitelmassa määritettyjen edellytysten täytyttyä asennus on turvallista toteuttaa (kuva 11). (3.)



Kuva 11: Tilaelementin asennus perustusten päälle

Kuljetukset

Paikalla rakennettaessa kuljetukset ovat pää-osin materiaalityömituksia, jotka on mahdollista kuljettaa normaalin liikenteen mittarajoissa. Tilaelementtien suuren koon vuoksi ne kuljetetaan poikkeuksetta erikoiskuljetuksina, jolloin riski liikenneonnettomuuksille kasvaa. Syitä tähän ovat muun muassa erikoiskuljetusten poikkeava korkeus ja leveys muusta liikenteestä. Poikkeava korkeus voi heikentää kanssaliikkujien näkyvyyttä liikenteessä, jolloin tapaturmariski esimerkiksi ohitustilanteissa kasvaa. Poikkeava leveys voi taas tarkoittaa, että erikoiskuljetus on niin leveä, että ei mahdu kokonaisuudessaan omalle kaistalleen, jolloin törmäys- ja kolhimisriski muuttuu suuremmaksi. Kuljetettavan kappaleen sidonta voi myös pettää, jolloin toimituksen kuljettaja voi menettää ajoneuvon hallinnan tai kuljetettava kappale voi singota jonkun kanssaliikkujan päälle.

Erikoiskuljetus on myös huomattavasti kalliimpi kuljetusmuoto verrattuna normaalin kokoiseen kuljetukseen, koska kuljetuksen reitti on usein matkallisesti pidempi. Kuljetuksen reitin valintaan vaikuttavat väylän vilkkaus, korkeutta rajoittavat tekijät kuten sillat ja tunnelit sekä leveyttä rajoittavat tekijät kuten ramppien kaarevuudet. Lisäksi erikoiskuljetus edellyttää huomioautoja saattueeseen, riippuen saattueen koosta ja pituudesta. Huomioautojen tarve on myös hintaa nostava tekijä.

4.5 Resurssitehokkuus ja ympäristövaikutukset

4.5.1 Näkökulman esittely ja valintaperusteet

Rakentamisen ympäristövaikutukset muodostuvat rakennuksen tuotantovaiheesta ja käyttövaiheesta. Resurssitehokkuuden ja ympäristövaikutusten tarkastelu tilaelementti- ja paikalla rakentamisen välillä on oleellista, koska rakentaminen keskittyy entistä enemmän jo entuudestaan tiheästi asuttuihin, kasvukeskuksiin. Tiheästi asutuissa kasvukeskuksissa rakentamisen aikaisille ympäristövaikutuksille altistuvia ihmisiä on enemmän kuin esimerkiksi maaseudulla, jossa etäisyydet rakennusten välillä voivat olla jopa kilometrejä, kun taas kaupunkialueilla rakennukset voivat sijaita muutamien metrien päässä toisistaan. Lisäksi rakennusteollisuus on yksi suurimmista jätteen tuottajista maailmanlaajuisesti, minkä takia resurssien tehokas hyödyntäminen on ajankohtaista ja perusteltua, jotta syntyvän jätekuorman määrää saataisiin pienennettyä. Luvun 4.5.2 tarkastelu rakentamistapojen välillä keskittyy rakennusjätteiden ja materiaalihukan syntymiseen ja hallintaan, rakennuksen muuntojoustavuuteen sekä rakentamisvaiheen aiheuttamaan ympäristön kuormitukseen. Rakennuksen tuotantotavan valinnalla on oleellinen vaikutus ympäristöön ja rakennettavasta kohteesta riippumatta tuotantotapa tulee valita niin, että ympäristö rasittuu mahdollisimman vähän. (13.)

Opinnäytetyössä keskitytään rakennuksen tuotantovaiheen aiheuttamiin ympäristövaikutuksiin, koska käyttövaihe ei ole tuotantotapaan sidonnainen. Tuotantovaihe kuormittaa ympäristöä muun muassa melulla, jätteillä, erilaisilla päästöillä kuten hiilidioksidi, poikkeuksellisilla liikenne- ja aluejärjestelyillä, luonnonvarojen kulutuksella sekä luonnon muokkaamisella. Jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa rakennettava ympäristö tulee huomioida niin, että luodaan edellytykset viihtyisälle, terveelliselle ja turvalliselle elinympäristölle. (13; 20.)

Resurssitehokkaalla rakentamisella tarkoitetaan ympäristövastuullista rakentamista. Käytettävien materiaalien tulee olla laadukkaita ja pitkäaikaisia, jotta ne kestävät aikaa ja rasituksia. Materiaalihukka tulee pyrkiä minimoimaan vastuullisilla suunnitelmilla ja tuotantotavoilla, jotta rakennusjätettä syntyy mahdollisimman vähän ja suunnitelmat voidaan toteuttaa kerralla oikein. Lisäksi käytettävä kalusto, kuten työkoneet ja erilaiset laitteet, tulee olla oikein mitoitettuja ja turvallisia, jotta niiden taloudellinen käyttö suhteessa rakennettavaan kohteeseen on mahdollista. Resurssitehokkaan rakentamisen tarkoitus on tehdä rakennusprosessista materiaali-, energia-, sekä kustannustehokas kokonaisuus, jossa hyödynnetään vain tarvittavat resurssit kohteen turvallisen ja laadukkaan toteutuksen kannalta. (12.)

Jätelaki (646/2011), jäteasetus (179/2012), jäteverolaki (1126/2010), valtion asetus kaatopaikoista (331/2013) sekä EU:n jätedirektiivi ohjaavat rakentajia materiaalitehokkaaseen toimintaan, joka on osa resurssitehokkuutta. Materiaalitehokas rakentaminen tarkoittaa käytettävien materiaalien ja laitteiden mahdollisimman tehokasta käyttöä sekä syntyvän rakennusjätteen ehkäisyä ja kierrätystä. Ympäristöministeriön asettaman tavoitteen mukaan vuoteen 2020 mennessä rakennus- ja purkujätteestä tulee kierrättää 70 prosenttia, mikä tarkoittaa, että lähivuosina rakentamisprosessista on muodostuttava materiaalitehokas kokonaisuus, koska tällä hetkellä talonrakennuksessa syntyvistä rakennusjätteistä kierrätetään materiaalina noin kolmannes. Tämä tarkoittaa, että tuotantoprosessia tulee kehittää ja uudistaa, jotta tavoite saavutettaisiin. (12; 14.)

4.5.2 Vertailu rakentamistapojen välillä

Rakennuksen muuntojoustavuus

Elementit-E Oy:n valmistama rakennus kokonaisuudessaan on siirtokelpoinen toisin kuin paikalla rakennettu rakennus (kuva 12). Tämä tarkoittaa perustuksia, ulkotasoja, kuten terasseja sekä itse rakennusta. Paikalla rakennettu rakennus on ikään kuin yksi iso yhtenäinen ja saumaton tilaelementti, jonka siirrettävyyttä rajoittaa sen koko ja paino, kun taas tilaelementtijärjestelmällä rakennettu rakennus koostuu usean eri tilaelementin muodostamasta kokonaisuudesta, jotka yksi kerrallaan on mahdollista irrottaa ja sitä kautta siirtää. Tilojen siirrettävyys on huomioitu suunnitteluvaiheesta lähtien, jotta tilaelementit

saadaan siirrettyä turvallisesti ja tilojen laatutason kärsimättä tontille sekä tarpeen vaatiessa tontilta uuteen sijoituspaikkaan. Rakennuksen sijainnin muuttuessa epäoleelliseksi rakennus voidaan siirtää uuteen sekä oleellisempaan sijoituspaikkaan, jotta rakennuksen kokonaispotentiaali saadaan hyödynnettyä. (3.)



Kuva 12: Siirtokelpoinen tilaelementtirakennus

Elementit-E Oy:n valmistaman tilaelementtirakennuksen siirtokustannukset ovat noin 10 prosenttia koko rakennuksen valmistushinnasta. Siirtokustannukset muodostuvat elementtisaumojen sekä kunnallisteknisten liitosten purkamisesta, tilaelementtien, perustusten sekä ulkotasojen siirrosta sekä tilaelementtien asentamisesta uuteen sijoituspaikkaan. Paikalla rakennetun rakennuksen, kuten koulun, menetettyä tarpeellisuutensa vanhassa sijainnissaan se joudutaan myymään, vuokraamaan tai rakennukselle joudutaan suunnittelemaan uusi käyttötarkoitus. Yleensä vanha koulurakennus jää tyhjilleen, koska rakennus on suunniteltu tietynlaista toimintaa varten, kuten opetustoimintaa. Lisäksi käyttötarkoituksen muutos voi olla kallis toteuttaa suhteessa uuden rakennuksen valmistushintaan. Vaikka vanha koulurakennus saataisiin muutettua esimerkiksi päiväkodiksi, tarve uudelle koululle tai laajennukselle on silti olemassa. Siirrettävä tilaelementtirakennus on siis kustannustehokas vaihtoehto, jos rakennuksen sijainnista tulee epäoleellinen, ajatellen rakennuksen käyttöastetta. Jo olemassa olevat resurssit saadaan hyödynnettyä, mikä on kustannus- ja resurssitehokasta. (3.)

Hukkamateriaali

Rakentamisessa muodostuu aina materiaalihukkaa, koska käytettäviä materiaaleja joudutaan työstämään suunnitelmien edellyttämien dimensioiden mukaisiksi. Lisäksi materiaalimenekki on usein ylimitoitettu työvaiheesta riippuen, koska työstämisessä voi tapahtua virheitä, käytettävä materiaalissa voi olla laatuvirheitä tai halutaan varmistua, että käytettävä materiaali ei lopu kesken ja aiheuta viivästyksiä työvaiheen osalta. Yleensä hukkapalat, kuten levysoivot tai puutavaran palaset, joiden käyttö ei ole enää viisasta tai kannattavaa, kierrätetään tai ylimääräisiksi jääneet käyttämättömät rakennusmateriaalit varastoidaan seuraavia kohteita varten.

Elementit-E Oy hyödyntää puutavarasta syntyvän hukkamateriaalin tuotanto- tehtaansa lämmityksessä. Paikalla rakennettaessa vastaavaa mahdollisuutta ei ole, koska kiinteää työmaata ei ole. Kaikki tehtaalle tilattavat puumateriaalit pystytään siis sataprosenttisesti hyödyntämään omassa tuotannossa, joko kohteen rakennusmateriaalina tai tehtaan lämmityspolttoaineena. Lisäksi tilaelementtirakentamisessa rakenneratkaisujen osittainen vakiointi mahdollistaa edellisistä kohteista ylijääneiden käyttämättömien rakennusmateriaalien hyödyntämisen seuraavissa kohteissa. Paikalla rakennettaessa rakennukset ovat usein yksilöllisiä, niin suunnitelmiltaan kuin käytettäviltä rakennusmateriaaleiltaan, jolloin ylijääneiden rakennusmateriaalien hyödyntäminen seuraavassa kohteessa voi olla todella haastavaa. Rakennusmateriaalien käyttöä rajoittaa suunnitelmien poikkeavuus, kohteiden välillä, koska edellytetyt ominaisuudet ja tarpeet eivät välttämättä täyty. (3.)

Rakennettavan ympäristön kuormitus

Tilaelementtirakentaminen ei kuormita rakennettavaa ympäristöä niin paljon kuin paikalla rakentaminen, koska työmaalla tehtävien rakennustöiden osuus on huomattavasti pienempi. Maanrakennus ja perustustöiden osalta rakentamistavat eivät poikkea toisistaan ympäristön kuormituksen kannalta, jos käytetään samaa perusratkaisua. Suurin ero rakentamistapojen välillä rakennettavan ympäristön kuormituksen kannalta muodostuu siitä, että tilaelementti- tuotanto tapahtuu tuotantotehtaassa, jossa syntyvien rakennusjätteiden hallinta pystytään valvomaan sekä toteuttamaan tehokkaammin.

Rakennusjätteille tulee olla lajittelumahdollisuus, jotta syntyvä rakennusjäte voidaan kierrättää. Lajitellun jätteen kierrätys on kustannustehokkaampaa kuin lajittelemattoman sekajätteen kierrätys, koska lajittelutyö on jo tehty, eikä jätteen vastaanottajan tarvitse enää huolehtia siitä. Jätehuollon järjestäminen vaatii logistista suunnittelua sekä oikein mitoitettuja jätteenkeräyspisteitä. Työmaan ahtaus voi aiheuttaa ongelmia jätteiden lajittelun järjestämiselle, koska työmaa-alueella pitää pystyä liikkumaan erilaisella kalustolla, kuten esimerkiksi kuorma-autoilla ja henkilönostimilla. Roskalavojen sijainti tulee suunnitella niin, että ne ovat kantamatkan päässä rakennettavasta kohteesta, eivät tuki kulkuväyliä työmaalla liikkuvilta sekä että ne pystytään turvallisesti tyhjentämään ja vaihtamaan.

Elementit-E Oy:n tuotantotehtaassa jätteille on määritelty vakioidut sijoituspaikat jätteen ominaisuuksien ja materiaalin mukaan. Lajittelun toteutumista on myös helpompi valvoa, koska rakentaminen ja jätteiden lajittelu tapahtuu osittain samassa tilassa. Paikalla rakennettaessa jätteet leviävät helposti työmaan ympäristöön, jonne ne usein myös jäävät. Kynnys rakennusjätteiden luvotmaan hävittämiseen on myös pienempi, koska työmaa on usein ulottuvuuksiltaan hankalampi valvoa kuin tehdasalue. Paikalla rakennettaessa jätteitä haudautuu maaperään sekä vesistöihin, koska usein roskalavan sijainnin koetaan olevan liian kaukana jätteiden hallitulle kierrättämiselle. Ongelma on vain asenteesta kiinni, mutta usein halu kyseenalaistaa ja toimia sääntöjen vastaisesti koetaan jännittävänä ja hauskana verrattuna vastuulliseen ja oikeaoppiseen toimintaan. Valvonta on myös työmaan ulottuvuuksista riippuen usein vaikeampi hallita, koska tuotantotehtaassa rakentaminen, jätteiden lajittelu sekä valvonta on saatu saman katon alle. (3.)

Paikalla rakennettaessa kaikki käytettävät rakennusmateriaalit toimitetaan työmaalle, mikä tekee liikenteestä työmaan läheisyydessä huomattavasti raskaampaa sekä vilkkaampaa. Se vaikuttaa alueen turvallisuuteen, melutasoon sekä hengitysilman laatuun. Tämä johtuu siitä, että käytettävät materiaalit toimitetaan yleensä työmaalle kuorma-autoilla. Tilaelementtirakentamisen tehdastuotannon ansiosta työmaalle ei tarvitse tilata suuria materiaalimääriä, joka pienentää paikallisen liikenteen kuormitusta. Liikenteen pysyessä normaalilla volyyminä työmaan läheisyydessä ilmastoon ei aiheudu poikkeuksellisen suuria pakokaasupitoisuuksia, minkä seurauksena hengitysilman laatu ei myöskään heikkene. Liikenteen melutaso ei kasva poikkeuksellisen suureksi, jolloin

työmaan läheisyydessä asuvien ihmisten viihtyvyys kodeissaan ei kärsi. Liikenne työmaan ympäristössä pysyy myös turvallisempuna, koska suurin osa käytettävistä rakennusmateriaaleista toimitetaan tilaelementtitehtaalle. Paikalla rakennettaessa työmaalogistiikka tulee suunnitella ja ohjeistaa tarkasti, jotta rakennettava ympäristö ei kärsi työmaan tarpeista. (24.)

5 YHTEENVETO VERTAILUN TULOKSISTA

Tilaelementtirakentamisen suurin etu paikalla rakentamiseen nähden muodostuu kiinteästä tuotantotilasta, jossa valtaosa rakentamisesta tapahtuu. Kolme toistuvasti esille nousutta hyötyä, jotka tuotantotehdas ja teollinen esivalmistus mahdollistavat, ovat kiinteä sääsuoja, työskentelyolosuhteiden hallittavuus sekä ajallisesti nopeampi tuotantovaihe (kuva 13). Paikalla rakennettaessa vastaavien työskentelyedellytysten järjestäminen muodostaa lisäkustannuksia hankkeelle ja siltikään kaikkien osa-alueiden osalta vastaavaan tuotantotilaan ei päästä. Syitä tähän ovat muun muassa työmaaolosuhteiden vaihtelevuus, sääolosuhteiden vaikutus tuotantoon sekä suunnitelmien poikkeavuus rakennettävien kohteiden välillä.

Tilaelementtirakentamisen heikkoutena voidaan pitää erikoiskuljetusten ja koneellisen nostotyön mukanaan tuomia riskejä ja kustannuksia verrattuna paikalla rakentamiseen (kuva 13). Tilaelementtien suuren koon vuoksi kuljetukset ja nostot vaativat kalustolta enemmän sekä ovat toteutettavuutensa kannalta haastavampia verrattuna paikalla rakentamiseen, jossa usein käsitellään vain kappaletavaraa. Tilaelementtien kuljetettavuus ja siirrettävyys tekevät kuitenkin tilaelementtirakennuksesta siirtokelpoisen, joka on poikkeuksellinen ominaisuus verrattuna paikallarakennettuun rakennukseen.

	AIKATAULU	KUIVAKETJU	LAATU	TYÖTURVALLISUUS	RESURSSITEHOKKUUS JA YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET
HYÖTY					
RISKI					
KIINTEÄ SÄÄSUOJA					
TYÖOLOSUHTEIDEN HALLITTAVUUS					
TUOTANTONOPEUS					
TILAELEMENTTIEN KULJETUKSET JA NOSTOT					

Kuva 13. Tilaelementtirakentamisen hyötyjen ja riskien jakautuminen tarkastelun näkökulmien suhteen

Kiinteä sääsuoja

Tuotantotehtaan mahdollistama kiinteä sääsuoja on merkittävä tekijä ajatellen rakentamisen kuivaketjun toteutumista. Kiinteä sääsuoja luo paremmat edellytykset terveellisen ja turvallisen rakennuksen valmistamiselle. Sääsuojaa ei tarvitse myöskään erikseen suunnitella, purkaa tai asentaa toisin kuin paikalla rakennettaessa, jossa sääsuoja rakennetaan kohteen dimensioiden ja tarpeiden mukaan. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä yksi aikaa sekä rahaa vievä työvaihe saadaan poistettua, mutta silti työskentelyolosuhteet ovat paremmat sääolosuhteiden vaikutusten, kuten ilman lämpötilan ja kosteuden osalta, verrattuna paikalla rakentamiseen. Kiinteä sääsuoja mahdollistaa myös jatkuvan tuotannon tilaelementtitehtaalla, sääolosuhteista riippumatta, mikä on aikataulutoteuman kannalta merkittävä tekijä. Paikalla rakennettaessa sääolosuhteet voivat viivästyttää tuotantonopeutta, jolloin hanke voi myöhästyä suunnitellusta aikataulustaan. Sääolosuhteet eivät vaikuta myöskään tuotannon laatuun, toisin kuin paikalla rakennettaessa.

Työskentelyolosuhteiden hallittavuus

Työskentelyolosuhteet tilaelementtituotannon osalta pystytään järjestämään, valvomaan sekä hallitsemaan paremmin verrattuna paikalla rakentamiseen. Tuotantotehdas mahdollistaa työntekijöiden ja -johtajien, rakennusmateriaalien sekä käytettävän kaluston ja laitteiston sijoittamisen saman katon alle, mikä tekee siitä tiiviin ja saumattoman työskentely-ympäristön. Vakioidut menettelyt työturvallisuuden, työmenetelmien, rakennusjätteiden kierrätyksen sekä yleisten käytäntöjen osalta luovat perustan tehokkaalle tilaelementtituotannolle. Toistuvuus osana työskentelyä tekee siitä rutiininomaista ja sitä kautta nopeampaa, turvallisempaa sekä taloudellisempaa. Paikalla rakennettaessa työmaat poikkeavat toisistaan aina, jolloin työturvallisuussuunnittelu, aluesuunnittelu ja työtapasuunnittelu tulee tehdä yksilöidysti työmaan ominaisuuksien ja edellytysten mukaan. Tämä rasittaa työnjohtajia, työntekijöitä sekä valvojia enemmän, verrattuna tilaelementtirakentamiseen, koska tuotanto täyttyy suunnitella ja valmistella aina kohde kohtaisesti, jotta luodaan edellytykset toimivalle työmaalle.

Tuotantonopeus

Tuotantonopeudeltaan tilaelementtirakentaminen on ylivoimainen verrattuna paikalla rakentamiseen. Nopeampi tuotantonopeus pienentää aikasidonnaisia kustannuksia sekä mahdollistaa rakennuksen nopeamman käyttöönoton. Suurin syy tähän on rakenteiden yhtä aikainen valmistusmahdollisuus toisin kuin paikalla rakennettaessa, jolloin seuraava työvaihe on sidonnainen edellisen työvaiheen toteutumaan. Tehdastuotanto mahdollistaa yksilöidyt työpisteet eri rakenteille, säältä suojassa, jolloin viivästyksiä ei tapahdu toisen työvaiheen ajallisesta toteumasta tai sääolosuhteiden vaikutuksesta tuotantoon. Nopean työmaa-ajan ansiosta riski ilkeimmälle altistumiseen on myös pienempi. Työmaa-ajan pituus on suoraan verrannollinen aikasidonnaisiin kustannuksiin, jotka paikalla rakennettaessa ovat huomattavasti suuremmat. Aikasidonnaiset kustannukset muodostuvat muun muassa työntekijöiden ja työnjohtajien palkoista, käytettävän kaluston vuokra- ja käyttökustannuksista sekä työmaan ylläpitokustannuksista.

Tilaelementtien kuljetukset ja nostot

Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä on olemassa riski, että tilaelementti vaurioituu kuljetuksen tai koneellisen noston aikana. Tilaelementin ollessa ilmassa tai epätasaisella alustalla on mahdollista, että rakenteisiin syntyy jännityksiä, jotka purkauduttuaan voivat vaurioittaa käytettyjä rakennusmateriaaleja. Vaurion sattuessa teollinen esivalmistus kärsii ja työmaalla joudutaan tekemään suunnittelemattomia korjaustöitä. Vaurio voi myös ilmetä rakennuksen käyttöönoton jälkeen, jolloin se joudutaan korjaamaan takuutyönä. Paikalla rakennettaessa vastaavaa riskiä on pienempi, koska rakentaminen tapahtuu paikan päällä ilman suurta käytettävien komponenttien esivalmiusastetta. Rakennettuja tiloja ei tarvitse myöskään siirtää, jolloin veto- tai puristusrasituksia ei synny rakenteisiin, jotka voisivat purkauduttuaan vaurioittaa valmiita pintoja.

Tilaelementtien kuljetukset ja nostotyö muodostavat myös suuren turvallisuusriskin, koska liikuteltavat kappaleet ovat suuria niin ulottuvuuksiltaan kuin masoiltaankin. Tilaelementtien suuren koon vuoksi nostojen määrä on kuitenkin pieni, jonka ansiosta tilaelementtien asennusvaihe työmaalla on nopea. Paikalla rakennettaessa rakentaminen on mahdollista toteuttaa miesvoimin,

koska käytettävät komponentit ovat kevyitä ja pieniä verrattuna tilaelementteihin, jotka voivat painaa jopa 18 tonnia. Paikalla rakennettaessa nostotyön tarve rajoittuu usein materiaalityökalujen purkuun sekä käytettävien materiaalien siirtelyyn. Työn turvallinen toteuttaminen on riskittömämpää eikä vaadi työnjohtajilta tai -tekijöiltä yhtä suurta panosta, osaamista tai tarkkuutta. Rakennettaessa tilaelementtijärjestelmällä työn turvallinen toteuttaminen vaatii huolellista ennakkosuunnittelua sekä tarkkoja työohjeita, jotta tapaturmia ei synny. Vahinko on kuitenkin sama jos esimerkiksi kipsilevynippu tai tilaelementti putoaa kesken nostotyön työmaalla olevan henkilön päälle. Rakentamistavasta riippumatta nostotyön suunnittelu ja toteutus tulee suorittaa huolellisesti, kaikki riskitekijät huomioiden, jotta työturvallisuus rakennuspaikalla säilyy.

Kuljetukset ja nostot tuovat mukanaan riskejä, mutta myös mahdollisuuksia. Tilaelementtien kuljetettavuus ja siirrettävyys tekee tilaelementtirakennuksesta siirtokelpoisen, mikä on poikkeava ominaisuus verrattuna paikalla rakennettuun rakennukseen. Jos tilaelementtirakennus menettää tarpeellisuutensa vanhassa sijainnissaan, niin se on mahdollista siirtää uuteen paikkaan. Tilaelementtirakennuksen siirto on kustannus- sekä resurssitehokasta, koska vanhat, jo olemassa olevat, resurssit pystytään hyödyntämään. Tilaelementtirakennuksen siirto on myös ajallisesti huomattavasti nopeampi vaihtoehto kuin uuden rakennuksen rakentaminen, koska suurin osa rakennustöistä on jo tehty.

6 TULOSTEN KELPOISUUDEN ANALYSOINTI

Vertailun tuloksista käy selvästi ilmi, että rakentamisen teollistaminen on kannattavaa niin rakennusprosessin hallittavuuden kuin toteuttamisenkin kannalta. Rakennusvaiheen aikaisia riskitekijöitä pystytään poistamaan sekä hallitsemaan paremmin, kun tuotanto, työvoima sekä käytettävät materiaalit on pystytty keskittämään saman katon alle. Tilaelementtirakentamisella on selvästi paikka nykypäivän ja tulevaisuuden markkinoilla, koska rakentamisprosessin teollistaminen nopeuttaa tuotantoa sekä luo paremmat edellytykset terveellisen ja turvallisen rakennuksen toteuttamiselle.

Tulosten luotettavuutta on vaikea todistaa ja arvioida, koska tulokset eivät ole samaan yksikköön sidonnaisia toisin kuin esimerkiksi kustannusvertailussa.

Ennen opinnäytetyöni aloittamista minulla ei ollut mitään henkilökohtaista kokemusta tilaelementtirakentamisesta, koska oma rakennusalan työkokemukseni koostuu vain paikalla rakentamisesta. Yllätyin kuitenkin siitä, että vertailun tulokset kääntyivät näinkin vahvasti tilaelementtirakentamisen kannalle, ottaen huomioon sen volyymin nykypäivän rakennusteollisuudessa. Tulosten perusteella tilaelementtirakentamisen pitäisi olla paljon yleisempi tuotantotapa kuin paikalla rakentamisen, jos tarjouksen valintaperusteina toimivat tuotannolliset näkökulmat. Hinta on kuitenkin usein merkittävin valintaperuste rakennuksen toteuttajan ja toteutusvaihtoehdon valinnan kannalta, mikä on valitettavaa, koska halvin hinta ei usein takaa parasta mahdollista lopputulosta. Rakentamistavasta riippumatta vertailussa ei ole huomioitu kustannusten muodostumista koko rakennushanketta ajatellen, jonka syystä ei voida todeta, kumman rakentamistavan kannalta hinta toteutettavalle kohteelle on suhteessa halvempi.

Onkin oleellista miettiä, onko halvin hinta rakennettavan kohteen toteutettavuuden kannalta oikea valintaperuste. Rakennuksen hinta ajatellaan yleensä muodostuvan vain valmistuskustannuksista, mutta huolto-, korjaus ja muutostyöt nostavat hintaa merkittävästi ylöspäin. Tuotantoedellytysten ja konseptin ollessa kunnossa rakennuksesta tulee kerralla pitkäikäinen, terveellinen sekä toimiva, kustannuksille asetetuissa rajoissa. Uskon, että tilaelementtirakentaminen tulee yleistymään tulevaisuudessa, koska mielestäni tuotannon teollistaminen ja suuri esivalmistusaste on askel kohti riskittömämpää, turvallisempaa ja kokonaistaloudellisempaa rakennusprosessia.

LÄHTEET

1. Rakennustuotepalvelu Oy. Puurakenteiset tilaelementtirakennukset. Saatavissa: <http://www.rakennustuotepalvelut.fi/tuotepalvelut/elementointipalvelu/tilaelementtirakennukset/> [viitattu 18.2.2016].
2. Elementit-E Oy. Saatavissa: <http://www.elementit.fi/sivut/me/> [viitattu 15.2.2016].
3. Asiantuntijahaastattelu. 2016. Haastattelut 8.2-30.3.2016. Kouvola: Elementit-E Oy
4. Tolppanen J., Karjalainen M., Lahtela T. & Viljakainen M. 2013. Suomalainen puukerrostalo – Rakenteet, suunnittelu ja rakentaminen, 1. painos, Tampere: Suomen Yliopistopaino Oy
5. Viljakainen M. 1997. Puukerrostalo, 1. painos, Tampere: Tammer-paino Oy
6. Siikanen U., 2008. Puurakentaminen, 1. painos, Tampere: Esa Print Oy
7. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus. Erikoiskuljetukset. Saatavissa: http://www.ely-keskus.fi/documents/10191/139801/erikoiskuljetukset_esite_2010_erikoiskuljetusluvan_tarve_hakeminen_ja_kaytannon_toimenpiteet.pdf [viitattu 23.2.2016].
8. Finlex. Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta 205/2009. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205> [viitattu 25.2.2016].
9. Rakennusteollisuus. Työturvallisuus rakennusalalla, perustietoa. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Tyoturvallisuus/Tyoturvallisuus-rakennusalalla-perustietoa/> [viitattu 25.2.2016].
10. Talonrakennusteollisuus ry, 2013. Rakennustöiden laatu 2014. 1. painos, Tampere: Tammerprint Oy
11. Rakennettu ympäristö RY. Kuivaketju rakentamiseen. Saatavissa: <http://www.rakennustieto.fi/lehdet/ry/index/lehti/BreOAYp7r.html> [viitattu 28.2.2016].
12. Ympäristö. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset ja materiaalitehokkuus. Saatavissa: http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Rakentaminen/Rakennuksen_energia_ja_ekotehokkuus/Rakennusmateriaalien_ymparistovaikutukset_ja_materiaalitehokkuus [viitattu 5.3.2016].
13. Ympäristöosaava. Rakentamisen ympäristövaikutukset. Saatavissa: <http://www.ymparistoosaava.fi/rakennusala/index.php?k=22800> [viitattu 5.3.2016].
14. Ympäristöosaava. Materiaalitehokas rakentaminen. Saatavissa: <http://www.ymparistoosaava.fi/rakennusala/index.php?k=22806> [viitattu 5.3.2016].

15. Talonrakennushankkeen kulku. RTS 16:01. Saatavissa: https://www.rakennustieto.fi/material/attachments/5fIPeDhrH/5wK8UWSbt/RTS_16_01_Talonrakennushankkeen_kulku.pdf [viitattu 25.3.2016].
16. Puuinfo. Ympäristö- ja resurssitehokkuus. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/ymp%C3%A4rist%C3%B6tehokkuus> [viitattu 6.3.2016].
17. Tapaturmavakuutuslaitosten liitto TVL. Työtapaturmat – Tilastojulkaisu 2013. Saatavissa: [Tilastokirja 2013-4.pdf](#) [viitattu 25.2.2016].
18. Rakennusteollisuus. Rakentamisen laatu. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Laatu/> [viitattu 25.2.2016].
19. Hengitysliitto. Sisäilmaongelmien aiheuttamat terveyshaitat. Saatavissa: <http://www.hengitysliitto.fi/fi/hengityssairaudet/homeesta-ja-sisailmasta-sairastuneet/sisailmasairaudet> [viitattu 20.3.2016].
20. Finlex. Maankäyttö- ja rakennuslaki 5.2.1999/ 132. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132> [viitattu 10.3.2016].
21. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2011. RIL 250-2011 Kosteuden ja homevaurioiden estäminen. 1. painos, Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy
22. Puuinfo. Paloteknisiä ominaisuuksia. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisi%C3%A4-ominaisuuksia> [viitattu 25.3.2016].
23. KAS-Telineet. Sääsuojan vuokraus – Tarjouslaskuri. Saatavissa: <http://kas-telineet.fi/lang/fi/page/prices#wp> [viitattu 20.3.2016].
24. Rakennusalan työkokemus & ammattikorkeakoulu-opinnot, KyAMK. 2012-2016. Jere Säyriö
25. Puurunkorakentaminen, paikalla rakennettu puurunko. 2014. Saatavissa: Ratu 0416 [viitattu 7.4.2016].

KUVALUETTELO

- Kuva 1. Eri rakennusmateriaalien valmistuksen aiheuttamat hiilidioksidipäästöt. Puuinfo. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puu-tieto/ymp%C3%A4rist%C3%B6-ja-resurssitehokkuus/puurakenteissa-hiili-s%C3%A4ilyy-pitk%C3%A4n-0> [viitattu 11.4.2016].
- Kuva 2. Periaatekuva paikalla rakennetusta puurungosta. Kuvakaappaus. Ratu 0416. [viitattu 7.4.2016].
- Kuva 3. Periaatekuva tilaelementtijärjestelmällä rakentamisesta. Puuinfo. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/ruokoj%C3%A4rjestelm%C3%A4n-vaikutukset-puukerrostalon-arkkitehtisuunnitteluun> [viitattu 7.4.2016].
- Kuva 4. Vakiomittainen tilaelementti. Cramo Adapteo. Saatavissa: <http://www.cramoadapteo.com/renting/> [viitattu 7.4.2016].
- Kuva 5. Yksilöity tilaelementti. Kuvakaappaus. Youtube. Saatavissa: https://www.youtube.com/watch?v=lw-x7Ga_2y4 [viitattu 7.4.2016].
- Kuva 6. Esimerkkilaskelma paikalla rakennetun puurungon ajallisesta kestosta. Kuvakaappaus. Ratu 0416. [viitattu 7.4.2016].
- Kuva 7. Pakatut tilaelementit ennen työmaalle lähtöä. Elementit-E Oy materiaali. [viitattu 12.4.2016].
- Kuva 8. Tilaelementit erottaa toisistaan ilmarako, joka toteutetaan villa-kaistalla ja kumitiivisteellä. Elementit-E Oy materiaali. [viitattu 12.4.2016].
- Kuva 9. Sääolosuhteet eivät vaikuta tehdastuotannon laatuun. Elementit-E Oy materiaali. [viitattu 12.4.2016].
- Kuva 10. Käytettävät materiaalit siirretään siltanostureilla. Sini Ojanperä/Yle. Saatavissa: http://yle.fi/uutiset/yrittaja_pettyi_hallituksen_lupauksiin_rakentamisen_suunnan_muutoksesta_taitaa_jaada_juhlapuheiksi/8343016 [viitattu 12.4.2016].
- Kuva 11. Tilaelementin asennus perustusten päälle. Elementit-E Oy materiaali. [viitattu 12.4.2016].
- Kuva 12. Siirtokelpoinen tilaelementtirakennus. Elementit-E Oy materiaali. [viitattu 12.4.2016].
- Kuva 13. Tilaelementtirakentamisen hyötyjen ja heikkouksien jakautuminen tarkastelun näkökulmien suhteen. Kuvakaappaus. Microsoft Excel. [viitattu 6.4.2016].