



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Otso Salo

Tehdasolosuhteissa valmistettavien teräskennoraken- teisten tilamoduulien tuotannon dokumentointi ja kehi- tys

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

18.5.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Otso Salo Tehdasolosuhteissa valmistettavien teräskennorakenteisten tilamoduulien tuotannon dokumentointi 29 sivua + 1 liite 18.5.2020
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Rakennustekniikka
Ammatillinen pääaine	Rakentamisen projektinhallinta
Ohjaajat	Lehtori, Timo Riikonen Liiketoimintajohtaja, WSP Finland Oy, Harri Väänänen
<p>Tämä opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Metropolia ammattikorkeakoulun sekä Fixcel Group Oy:n kanssa. Fixcel Group Oy on suomalainen tilaelementtirakennusten valmistaja, jonka kohteet ovat pääosin kouluja, päiväkoteja sekä terveydenhuoltoalan rakennuksia. Rakennukset ovat vaihtelevasti joko väistötiloja tai pysyviä rakennuksia.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin Fixcel Group Oy:n moduulituotantoa ja moduulien kasaussuunnittelua osana tuotannon kehitysprojektia. Opinnäytetyössä perehdyttiin modulaarisen rakentamisen hyötyihin ja ongelmakohtiin. Lisäksi työssä tutustuttiin Fixcelin patentoituun teräskennorakenteeseen ja sen valmistukseen sekä käyttöön moduulien runkomateriaalina.</p> <p>Työssä käytetty tutkimusmateriaali on hankittu haastatteleamalla Fixcel Group Oy:n työntekijöitä sekä seuraamalla ja dokumentoimalla moduulien valmistusprosessia. Työssä hyödynnettiin lisäksi alan kotimaista sekä ulkomaista kirjallisuutta.</p> <p>Työn tavoitteena oli jatkaa jo aloitettua tuotannon kehitysprojektia, dokumentoimalla ja luomalla moduulinkasauksesta erillinen työohjeistus. Työn tuloksena syntyi myös laajempaa pohdintaa tuotantoprosessien kehittämistä perinteisen rakentamisen mallista teolliseen suuntaan.</p>	
Avainsanat	Moduulirakentaminen, Teräskkenno, Moduuli

Author Title Number of Pages Date	Otso Salo Documentation of the production of steel cell structure modules manufactured under factory conditions 29 pages + 1 appendice 18 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Construction engineering
Professional Major	Construction project management
Instructors	Timo Riikonen, Lecturer Harri Väänänen, Business director, WSP Finland Oy
<p>This Bachelor's thesis was done in collaboration with Metropolia University of Applied Sciences and Fixcel Group Oy. Fixcel Group Oy is a Finnish manufacturer of prefabricated buildings, whose targets are mainly schools, kindergartens and healthcare buildings. Buildings are variedly either evasive spaces or permanent buildings.</p> <p>This study examined Fixcel Group Oy's module production and the module stacking process as part of a production development project. The study focused on the benefits and problem areas of modular construction. In addition, Fixcel's patented metal core panel structure and its production and use as the frame material of the modules were introduced.</p> <p>The research material used in the work has been obtained by interviewing Fixcel Group Oy's employees and by monitoring and documenting the manufacturing process of the modules. The work also utilized domestic and foreign literature in the field.</p> <p>The aim of the work was to continue the production development project that had already started, by documenting and creating separate work instructions for module assembly. The work also resulted in a broader reflection on the development of production processes from a traditional construction model to a more industrial one.</p>	
Keywords	Modular construction, Metal core panel, Module

Sisällys

Käsitteet

1	Johdanto	1
2	Tutkimuksen tavoite	5
2.1	Tavoite	5
2.2	Rajaukset	5
2.3	Tutkimuskysymykset	5
3	Tutkimusmenetelmät	6
4	Tutkimustulokset	7
4.1	Kennotuotanto	7
4.2	Moduulien kasaus	10
4.3	Suunnitelmat	12
4.4	Valmiiden moduulien siirrot tehtaalla	12
4.5	Varastointi	15
5	Johtopäätökset ja kehitysehdotukset	16
5.1	Kennotuotanto	16
5.2	Moduulien kasaus	16
5.3	Suunnitelmat	18
5.4	Tehtaan sisäinen logistiikka ja varastointi	18
5.5	Moduulien ja järjestelmien vakiointi	20
6	Yhteenveto	22
7	Pohdinta	24
	Lähteet	27

Liitteet

Liite 1. Työohje – Moduulin kasaus (salainen, ei julkaisussa)

Käsitteet

Hiab-auto – Eli kappaletavaranosturillinen auto. Hiab on kappaletavaranostureita valmistava yritys.

IPE-palkki – Teräspalkki, jonka muotoilua kuvataan lyhenteellä IPE.

Kuivaketju 10 – Toimintamalli, jolla pyritään estämään kosteusvaurioiden syntyminen kaikissa rakennusprosessin eri vaiheissa.

Moduuli – Tilaelementti

Moduulirakentaminen – Rakentamistapa, jossa rakennus koostuu tehdasvalmisteisista määrämittäisistä ja mallisista tilaelementeistä eli moduuleista.

RHS-palkki – Teräsputkipalkki, jonka muotoilua kuvataan lyhenteellä RHS.

Siltanosturi – Nosturityyppi, jossa on nosturivaunu, joka liikkuu kahden teräspalkin varassa, teräspalkit on kannatettu pilareilla. Siltanostureita käytetään tyypillisesti eri teollisuuden aloilla.

Teräskenno – Fixcel Group Oy:n patentoima runkorakenneratkaisu, joka perustuu teräsnauhasta valmistettuun kennorakenteeseen.

Tilaelementti – Tehdasolosuhteissa koottu kappalemäinen tilakokonaisuus. Yleensä tilaelementti on kantavan rungon ja rajaavien pintojen muodostama kokonaisuus, joka voi sisältää LVIS ja automaatiotekniikkaa sekä kalustusta.

P1 puhtausluokka – Puhtausvaatimus työmaalle, rakentamisajalle.

1 Johdanto

Paikallarakentaminen on edelleen yleisin rakentamisen muoto, joskin rakentamisen tekniikat, arkkitehtuuri sekä rakennusmateriaalit ovat muuttuneet vuosikymmenten saatossa. Nopeasti muuttuvat olosuhteet sekä tarpeet ovat synnyttäneet paikallarakentamisen rinnalle teollisempia rakentamisen muotoja. Voimakkaan kaupungistumisen, väestön ikärakenteen muutosten sekä kuntien rakennuskannan huonon kunnon myötä rakentamisen tarve lisääntyi huomattavasti ja erilaisia nopeampia sekä kustannustehokkaampia rakentamismalleja alettiin kehittämään. Elementtitekniikka oli ensimmäisiä teollisemman rakentamisen muotoja. Elementtirakentamisessa osa työstä saadaan siirrettyä sisäolosuhteisiin, mutta työmaalla tapahtuva rakentaminen on edelleen suurin osa projektin kokonaiskestosta.¹

Modulaarisella rakentamisella tarkoitetaan sitä, että rakennusten valmisosat valmistetaan teollisissa tehdasolosuhteissa. Paikalla rakentamiseen verrattuna noin 85% työmaalla tehtävästä työstä siirtyy tehdasolosuhteisiin.² Tehdasolosuhteissa moduulit voidaan rakentaa täysin säältä suojassa, joka vastaa nykypäivän tarkasti valvottua kosteudenhallintaa.³ Tehdasolosuhteet takaavat hyvät sekä tasaiset työskentelyolosuhteet ja mahdollistavat tasaisemman ja paremman rakentamisen laadun. Rakentamisaika lyhenee tehdasolosuhteissa keskimäärin 30-60% verrattuna perinteiseen paikallarakentamiseen. Teollista rakennustapaa pidetään myös ekologisempänä tehokkaamman materiaalin käytön ja materiaalien paremman kierrätyksen vuoksi.⁴ Teollisen rakentamistavan yhtenä merkittävänä haittapuolena on korkeat tuotannon perustamiskulut. Huolimatta moduulirakentamisen monista myönteisistä puolista, sen osuus kaikesta rakentamisesta on ollut noin kahden prosentin luokkaa.⁵

Tilaelementillä eli moduulilla tarkoitetaan rakennuksen valmisosaa, joka rakennetaan hyvin pitkälle valmiiksi tehdasolosuhteissa. Moduuleihin voidaan tehtaalla rakentaa väliseinät, seinä-, katto- ja lattiapinnat, talotekniikka sekä kiintokalusteet. Usein myös rakennuksen julkisivu voidaan tehdä pitkälti valmiiksi tehtaalla. Työmaalle jää tehtäväksi

¹Elementtisuunnittelu

² Kawecki 2010: 16

³ Kotilainen 2013: 16

⁴ Sorri 2013: 7

⁵ Type of Construction Method of New Single-Family Houses Completed: 1

pohjatöiden lisäksi moduulien asennus, liitostyöt, käyttö- ja jätevesien liittymät sekä viimeisteleviä töitä.⁶



Kuva 1. Moduulin nosto työmaalla tapahtuu autonosturilla

FIXCEL®-teräskkenno valmistetaan kylmämuovaamalla sinkittyä teräsnauhaa, jotka kiinnitetään toisiinsa omalla liitostekniikalla. Seinä- ja kattokennot ovat pääsääntöisesti eripaksuisia.⁷ Lattiakennot listoitetaan reunoilta teräslistoilla, joiden päälle nostetaan seinäkennot. Kattokenno on käytännössä ylösalaisin oleva lattia, joka nostetaan seinien varaan. Kennojen liitoksiin kiinnitetään teräslistat, jotka jäykistävät rakenteen. Teräskennosta valmistetaan vakiokokoisia osia, joista kasataan erityyppisiä vakiomoduuleja. Näistä moduuleista on rakennettu kerrostaloja, kouluja sekä erilaisia terveydenhuoltoalan rakennuksia.

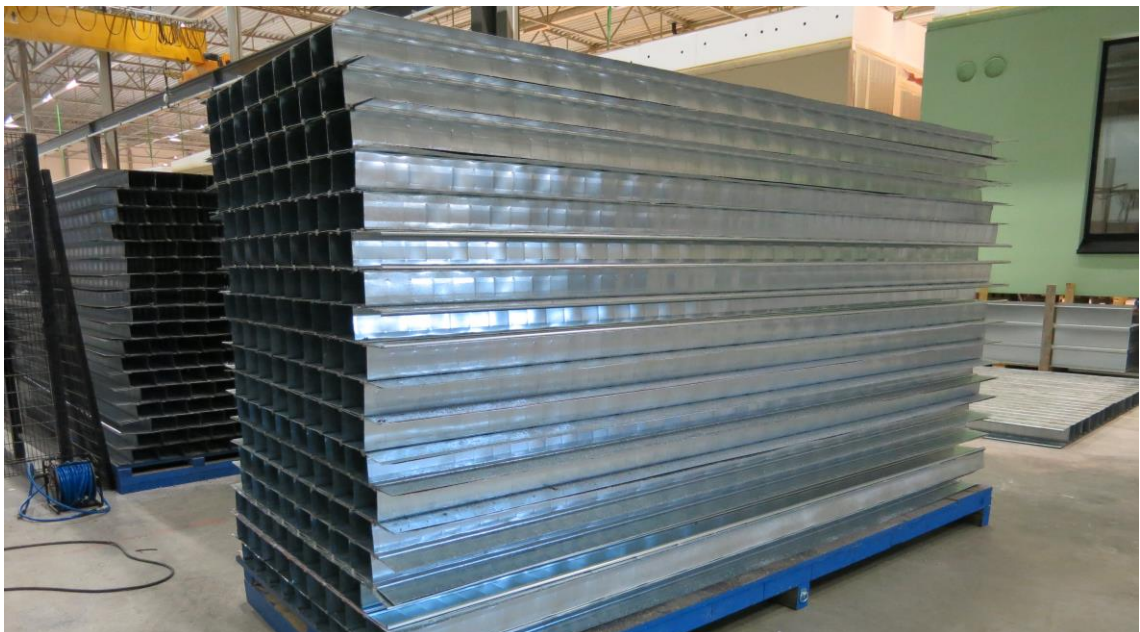
Kosteus- ja homevauriot aiheuttavat merkittäviä sisäilmaongelmia, joilla on haitallisia terveysvaikutuksia. Suomalaisessa rakennuskannassa merkittävien kosteus- ja

⁶ Kamali 2016: 1172

⁷ Sorri 2013: 26

homevaurioiden esiintyvyys on korkea, päiväkodeissa 12-18% ja hoitolaitoksissa jopa 20-26%.⁸ Fixcelin rakennuksissa on kiinnitetty erityistä huomiota sisäilman laatuun.

Teräskennorakenne on itsessään täysin kemikaaliton ja toisaalta epäotollinen kasvu-
alusta mikrobikasvustoille. Rakennusten ilmanvaihto voidaan toteuttaa moduulikohtai-
sesti tai keskitetysti ja sitä voidaan tarvittaessa seurata reaaliaikaisesti. Rakennusmate-
riaalit on tarkkaan valittu ja tutkittu siten, että rakennusmateriaalien kemikaalipäästöt si-
säilmaan on minimoitu.⁹



Kuva 2. Seinäkenno-osia valmiina käyttöön

Modulaarisella rakentamisella pystytään pitkälti toteuttamaan samojen käyttöalueiden rakennuksia kuin paikalla rakentamalla. Pientalorakentamisessa taloista tehdään usein pieniä, johtuen nykypäivän korkeista tonttien hinnoista ja yleisesti kohonneista rakentamisen kustannuksista.¹⁰ Moduulirakennukset ovat muuntojoustavia, eli tarpeen vaatiessa niiden laajentaminen, pienentäminen tai käyttötarkoituksen muuttaminen on kohtuullisen helppoa. Pientalorakentamisen lisäksi modulaarisesti voidaan rakentaa myös

⁸ Reijula ym. 2012: 11

⁹ Fixcel

¹⁰ Kangaspunta 2018: 1

julkisia tiloja, kuten päiväkoteja, kouluja sekä sairaaloita.¹¹ Näissä tiloissa muunneltavuus ja rakennuksen liikuteltavuuden mahdollisuus on tärkeää, sillä tilojen tulee pystyä vastaamaan tarpeisiin ja mahdollisiin muutoksiin.

Modulaarinen rakennustapa on osin huonosti tunnettu arkkitehtien ja suunnittelijoiden keskuudessa. Tämä on osaltaan saattanut vaikuttaa menetelmän hitaaseen yleistymiseen.¹² Tehdasolosuhteissa tuotannon- ja rakennussuunnittelun tärkeys korostuu joutuessa rakentamisen nopeasta tahdistista. Rakennusalalla on perinteisesti totuttu työmaalla tehtäviin muutoksiin, jotka teollisessa rakentamistavassa lisäävät merkittävästi kustannuksia ja ovat muutoinkin vaikeammin toteutettavissa.¹³

Tämä opinnäytetyö on tehty yhteistyössä Fixcel Group Oy:n kanssa. Työssä on dokumentoitu uudenlainen tehostettu tapa koota Fixcelin standardi teräskennorakenteinen moduuli tehdasolosuhteissa. Tavoitteena on luoda ja dokumentoida moduulien koostamisprosessi, joka ei ole riippuvainen ulkoisista toimijoista ja joka mahdollistaa nopeamman moduulien tuotannon.



Kuva 3. Riihikallion koulu, Tuusula. Pääsuunnittelijana toimi Eija-Riitta Miettinen, arkkitehti SAFA, WSP Finland Oy.

¹¹ Neapo Oy 2010: 5

¹² Rannisto 2013: 59

¹³ Kamali 2016: 1174

2 Tutkimuksen tavoite

2.1 Tavoite

Modulaarisia rakennuksia tehdään tehdasolosuhteissa vielä osin samoilla menetelmillä kuin työmaalla paikalla rakennettaessa. Tehdasrakentamisessa ei ole kaikilta osin optimoitu tehdasmaiseen ympäristöön sopivia tuotantomenetelmiä. Mikäli tehdasolosuhteissa rakennetaan liiaksi perinteisin menetelmin ei saavuteta teollisen toimintatavan mahdollistavaa kustannushyötyä ja myös laadunhallinta on vaikeammin toteutettavissa. Fixcel Group Oy valmistaa lähinnä julkisia tiloja teräskennomoduuleista, jotka kootaan tehtaalla. Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kehittää ja dokumentoida uusi teollisempi moduulien valmistusprosessi tehtaalle.

2.2 Rajaukset

Opinnäytetyössä ei käsitellä moduulien pintarakenteita, talotekniikkaa eikä kalustamista. Työstä on myös rajattu pois moduulien kuljetukset työmaalle sekä työmaalla tapahtuva rakentaminen.

2.3 Tutkimuskysymykset

Työssä on tarkoitus tutkia mikä nykyisessä moduulien kasausten menetelmässä on hyvää, jotta toimivat työtavat ja menetelmät voidaan dokumentoida ja siirtää mahdollisuuksien mukaan uuteen prosessiin. Tutkimuksessa arvioidaan myös prosessissa käytettävien koneiden ja materiaalien toimintaa ja käytännöllisyyttä. Tehdashallin sisäinen logistiikka on kriittinen osa koko moduulivalmistusprosessia. Työssä tullaan perehtymään moduulien osien sekä valmiiksi kasattujen moduulien liikuttamiseen tehdashallissa kokoamisprosessin aikana ja sen jälkeen.

3 Tutkimusmenetelmät

Moduulien kasaamisesta on olemassa vanhoja työohjeita, jotka käydään aluksi läpi. Tämän jälkeen haastatellaan moduulien kasauksesta vastaavia työnjohtajia. Tarkoituksena on myös seurata ja dokumentoida kasausprosessia nykyisellään, jotta erot uuteen prosessiin saadaan selkeästi esille ja toisaalta vanhoja tapoja voidaan periyttää uuteen prosessiin. Moduulin osien ja itse moduulien siirtojen ollessa keskeinen osa tuotantoprosessin toimintaa, perehdytään siirtokalustovaihtoehtoihin sekä niiden toimivuuteen nykyisessä tehdasympäristössä.

4 Tutkimustulokset

4.1 Kennotuotanto

Fixcel – kennoteknologian patentit ja valmistusoikeudet kuuluvat Fixcel Group Oy:n omistukseen. Kennoteknologiaa on alun perin kehitetty telakkateollisuuteen ja ennen Fixcel Group Oy:n omistukseen siirtymistä, kennoteknologiaa asuntotuotannossa käytti Neapo Oy.

Teräskenno muodostuu kahdesta pintakennosta sekä kennoytimestä. Pintakennojen väliin jätetään 100mm tai 200mm tilaa riippuen valmistetaanko seinä- vai lattiakennoa. Pintakennot sidotaan toisiinsa kennoytimillä, jotka ovat teräslevyjä kohtisuoraan pintakennoja vasten. Teräksiset osat liitetään toisiinsa taitteilla, joiden paikallaan pysyvyys varmistetaan niittauksella. Teräksen laatua, ainevahvuutta, ydinten tiheyttä ja kennon paksuutta muuttamalla voidaan vaikuttaa teräskennon ominaisuuksiin. Kennorakenne on kohtuullisen jäykkä verrattuna sen massaansa.¹⁴

FIXCEL®-TERÄSKENNO

- Rakennusratkaisumme ja – palvelumme pohjautuvat FIXCEL®-teräskennoon.
- Kenno on teolliseen rakennustapaan kehitetty patentoitu ratkaisu, joka on jäykkä, kevyt ja erittäin luja.
- Teräskennorunkoinen moduuliarkkitehtuuri tuo uusia kustannustehokkaita ja joustavia mahdollisuuksia kaupunkiasumiseen.



FIXCEL®

Kuva 4. Fixcel® teräskennon leikkauskuva

¹⁴ Fixcel-tilamoduulien laadunvarmistus-suunnitelma: 1-2

Fixcel Oy:n kennotuotanto sijaitsee Hämeenlinnassa moduulien kokoonpanohallissa. Kennotuotanto on siirretty Hämeenlinnaan loppuvuodesta 2019. Kennojen valmistus alkaa kahdesta eri paksuisesta rainasta eli teräsnauhasta, jota syötetään koneeseen. Ensimmäisenä raina kulkee muovaustelaston läpi, jossa rainaan taitetaan tarvittavat kulmat. Seuraavassa vaiheessa kone yhdistää yhden pintateräksen ja yhden ydinteräksen toisiinsa. Tämän jälkeen kiskoilla kulkeva ja työntekijän ajama kone noutaa palan ja vetää sen linjastoa pitkin liitospaikalle. Työntekijä kohdistaa käsin kennon päät kohdilleen ja konetta apuna käyttäen vetää kennon palan edellisen palan kanssa tasaan. Seuraavaksi itsenäisesti toimiva kone tulee perästä ja niittaa sauman kiinni.



Kuva 5. Teräskennon pinnassa näkyy työstöjäljet sekä niittaus

Kone on ollut nyt pitkälti jatkuvassa käytössä vuodesta 2007. Koneen huollosta ja korjauksesta ei myöskään ole olemassa varsinaista ohjetta, vaan koneen huollosta ja korjauksesta vastaa muutama koneen käyttöön koulutettu työntekijä.

Kennotuotanto koneineen on yksi linjasto. Linjaston päälle on tuotannon siirtyessä Hämeenlinnaan hankittu siltanosturi, jolla on tarkoitus siirrellä valmiita kennoja pois linjastolta varastointiin. Jotta tuotannossa ei tulisi keskeytyksiä, tulisi nosturin olla koko ajan kennotuotannon käytettävissä. Saman linjaston sivussa kuitenkin tehdään esimerkiksi ala- ja yläpohjakennojen reunalistoitus sekä tarvittaessa kasataan moduuleita tai muita haastavia rakenteita, kappaletavarannostimen ollessa varattuna tai riittämätön nostokapasiteetiltaan. Tilanteet, joissa muut kuin kennotuotanto on tarvinnut pitkiä aikoja nosturia, ovat aiheuttaneet kennotuotannossa pysäytyksiä.



Kuva 6. Kennotuotantolinjasto

4.2 Moduulien kasaus

Moduulin kasaus lähtee liikkeelle alapohjarakenteeksi tulevan teräspalkkikehikon kasamisesta. Teräspalkkikehikkoa käytetään vain alimman kerroksen moduuleissa. Ylempien kerrosten moduuleissa teräspalkkikehikko on korvattu kahdella moduulinsuuntaisella RHS-palkilla. Teräspalkkikehikko koostuu kahdesta esivalmistetusta IPE-palkista, sekä niiden nyrjähdysten estävistä palkeista. Nämä palkit kiinnitetään pulttiliitoksella IPE-palkkien väliin niin, että niistä muodostuu kehikko. Kehikon sisään jäävät tyhjät aukot eristetään. Myös IPE-palkkien ulkosivujen syvennyksiin asennetaan valmiiksi muotoon leikattu eriste.

Alapohjan teräspalkkikehikko nostetaan puisten kasauspukkien päälle ja vaaitaan suoraksi laseria ja teräslevyjä apuna käyttäen. Alapohjakkeno nostetaan teräspalkkikehikon päälle ja ne kiinnitetään toisiinsa pulttiliitoksella.¹⁵



Kuva 7. Moduulien alapohjat pukkien päällä

¹⁵ Fixcel-tilamoduulien laadunvarmistus-suunnitelma: 4-5

Alapohjakennoa kiertää teräslista, jossa on uloke, jonka päälle seinäkenno-osat nostetaan. Ennen kenno-osan nostoa listaan levitetään tiivistysmassa. Kun kenno-osa on nostettu paikoilleen, se tuetaan väliaikaisesti vinotuella moduulin lattiaan. Kenno-osa kiinnitetään alapohjaan mekaanisesti, porakärkiruuveilla. Mikäli kasattava moduuli on niin kutsuttu avomoduaali, eli sen yksi tai useampi sivu on avoin, asennetaan sen avoimille sivuille teräskehät. Teräskehät jäykistävät rakenteen, kun seinät puuttuvat. Teräskehät kiinnitetään alapohjaan, yläpohjaan sekä sen päädyissä oleviin seinäkennoihin, porakärkiruuveilla sekä panosnaulaimella. Teräskehien ja seinien nostojen jälkeen ylimmäksi nostetaan yläpohjakenno. Yläpohjakenno on hyvin pitkälti niin kuin alapohjakenno, mutta ylösalaisin. Yläpohjakennoa kiertää myös teräslista, jonka sisään seinäosat sekä teräskehät asettuvat.

Kasauksessa käytetään tällä hetkellä nostovälineenä kappaletavarannostimellista kuorma-autoa eli hiab-autoa. Hiab-auto sekä sen kuljettaja tulevat alihankintana tehtaalle ja niiden yhteiskustannukset ovat korkeat. Tällä hetkellä käytössä oleva hiab-auto on nostokapasiteetiltaan sekä ulottuvuudeltaan aavistuksen liian pieni tuotannon tarpeisiin.



Kuva 8. Kappaletavarannosturillinen kuorma-auto eli hiab-auto

4.3 Suunnitelmat

Moduulin kasauksessa käytetään niin sanottuja moduulinkasauskuvia. Kasauskuvat ovat Fixcelin omaa tuotantoa ja ne perustuvat arkkitehdin tekemiin arkkitehtisuunnitelmiin. On tullut vastaan tilanteita, joissa moduuli on kasattu kasauskuvilla ja tämän jälkeen on huomattu, että ne ovat ristiriidassa arkkitehtisuunnitelmaan. Arkkitehtisuunnitelmia päivitetään useaan kertaan projektin alussa ja tällöin moduulinkasauskuvat tulisi aina päivittää samaan aikaan.

Tuotannossa on havaittu myös tilanteita, joissa moduuli on parhaillaan siirtynyt jo varusteluun, kun arkkitehtisuunnitelmia päivitetään. Mikäli tässä vaiheessa joudutaan tekemään merkittäviä rakenteellisia muutoksia, kohoaa kyseisen moduulin kustannukset huomattavasti. Moduulin rakenteiden muokkaaminen tässä vaiheessa tuotantoa on hyvin hidasta sekä se aiheuttaa häiriöitä seuraavissa työvaiheissa.

4.4 Valmiiden moduulien siirrot tehtaalla

Tällä hetkellä moduuleja ei siirretä tehtaalla ennen kuin ne lähtevät työmaalle. Moduuli kasataan omalle paikalleen, puisten pukkien päälle. Pukit ovat 1000mm korkeita ja ne asetetaan moduulin pitkille sivuille niin, että moduulin alle päätyihin jää vapaa tila. Kun moduuleita lähdetään kuljettamaan työmaalle, tehtaalle tulee kuorma-auto ja lavetti. Lavetti peruutetaan moduulin alle ja nostetaan ylös ja näin moduuli saadaan ulos tehdashallista ja työmaalle.



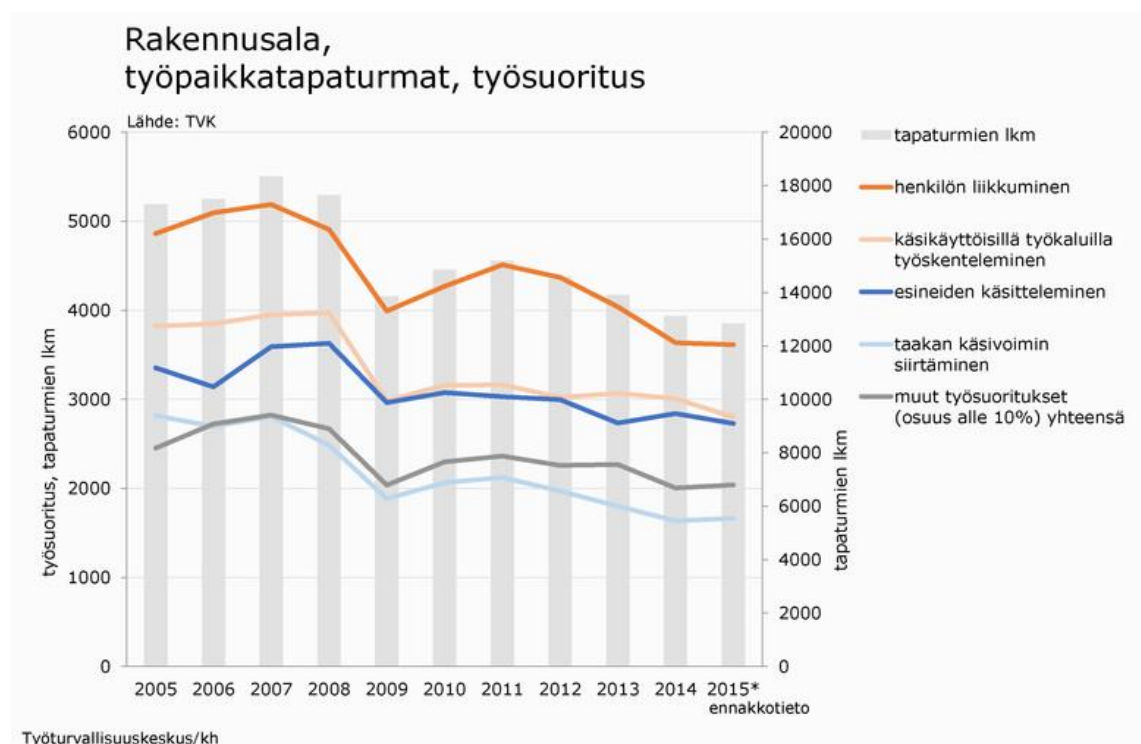
Kuva 9. Lavetti peruutetaan moduulin alle ja nostetaan paineilmajousilla ylös

Kuorma-auto ja lavetti on yhdessä 20 metriä pitkä. Moduulien halliin asettelua suunniteltaessa tulee ottaa huomioon yhdistelmäajoneuvon koko ja sen hallissa liikkumiseen tarvittava tila. Yhdistelmäajoneuvon vaatima liikkumistila ottaa hallista usean moduulin kokoisen alueen, joka joudutaan jättämään tyhjäksi.



Kuva 10. Moduulien kuljetus työmaalle vaatii rekalle etu- ja taka-auton

Tämänhetkisellä järjestelmällä moduulit ovat koko tehtaalla oloajan noin yhden metrin korkeudessa. Tämän takia moduulien oviaukoissa joudutaan pitämään erilaisia työpukkeja ja portaita. Tähän ei ole valikoitunut yhtä tiettyä mallia sillä moduulien välissä olevien käytävien leveydet vaihtelevat, eikä puiset portaikot mahdu kaikkialle. Portaikot ovat tukevia, mutta suuria ja hankalia siirrettäviä. Työpukit taas ovat helposti siirrettävissä, mutta ne eivät sovellu jatkuvaan käyttöön, niiden kevyen rakenteen ja liikkuvuuden sekä korkeuden vuoksi. Työntekijöiden jatkuva nouseminen moduuleihin sekä työkalujen ja materiaalien nostot moduuleihin aiheuttaa riskin altistua työtapaturmille. Työsuorituksen aikana, työntekijän liikkuminen aiheuttaa suurimman työtapaturman riskin¹⁶, tästä johtuen kulkuväylät tulisi olla mahdollisimman esteettömät ja helppokulkuiset.



Kuva 11. Rakennusalan työpaikkatapaturmat

¹⁶ Työturvallisuuskeskus

4.5 Varastointi

Tehtaalla on varastotila, jota käytetään rakennusmateriaalien varastointiin. Osa rakennusmateriaaleista, kuten rakennuslevyt ja eristeet joudutaan varastoimaan kokoonpanotilan puolella, sillä ne eivät mahdu varastoon. Kennotuotannon siirtyessä Hämeenlinnan kokoonpanotehtaalle, myös varastointitilan tarve on kasvanut, sillä kenno-osia tehdään etupainotteisesti valmiiksi. Tällöin aiheelliseksi tulee miettiä valmiiden moduulien välivarastointia.

Kenno-osien varastointi on kohtuullisen helppo toteuttaa esimerkiksi niin sanotulla pressuhallilla. Kenno-osat voivat olla kylmässä, mutta niiden varastoinnissa tulee kuitenkin ottaa huomioon kosteus. Ne tulisi säilyttää mahdollisimman kuivassa tilassa ja niin ettei vettä pääse kondensoitumaan niihin, jotta teräs ei ala korrosoitumaan.

Valmiiden moduulien varastointi on huomattavasti monimutkaisempi toteuttaa. Moduulit tulee säilyttää lämpimässä sekä kuivassa tilassa. Fixcelin rakennukset rakennetaan täysin säältä suojassa sekä Kuivaketju 10 kosteudenhallintasuunnitelmaa noudattaen. Niinpä aikaisemmin mainittu pressuhalli ei käy suoraan tähän tarkoitukseen. Pressuhallin sisälle ei pystytä luomaan ympäri vuoden tasaisia olosuhteita, sillä sen rakenteissa ei ole lainkaan lämmöneristeitä.

5 Johtopäätökset ja kehitysehdotukset

5.1 Kennotuotanto

Fixcelin rakentaminen perustuu teräskennoteknologiaan. Mikäli varastossa olevat kenno-osat eivät riitä puskuroimaan tuotantokatkoa, on sillä suora vaikutus moduulituotantoon. Lisäksi nykyisen tuotantolinjan automaatioaste on alhainen ja se sitoo runsaasti työvoimaa.

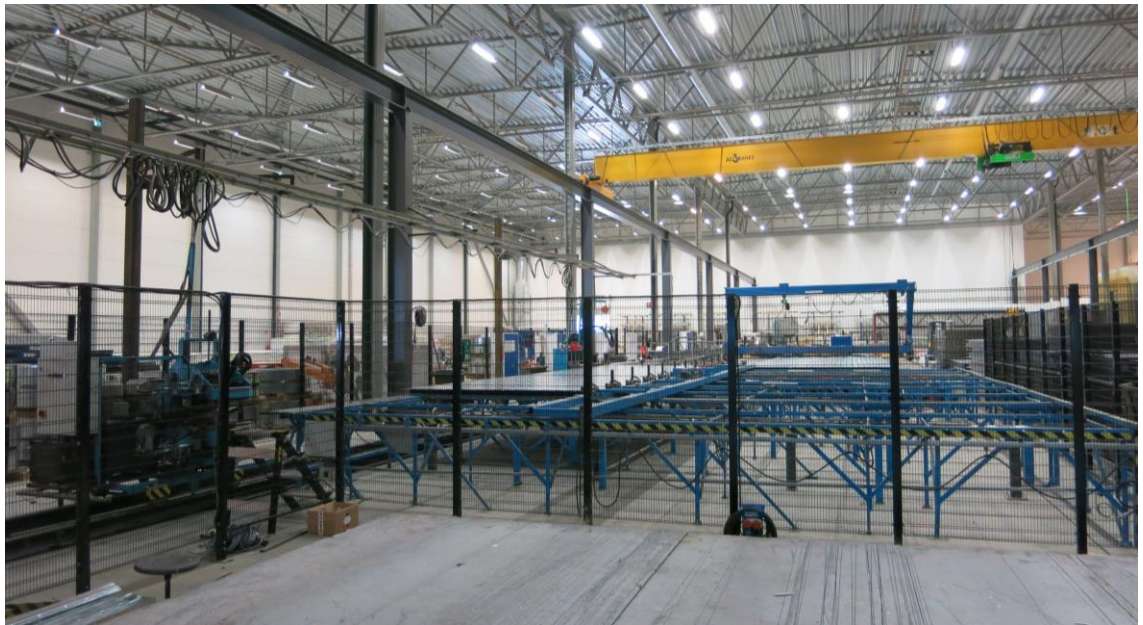
Koko rakentamisprosessin ollessa riippuvainen kennotuotannosta, tulisi uuden tuotantolaitteiston hankintaa kiirehtiä. Tuotantolinjaa on mahdollista automatisoida tietyissä määrin nykyiseen varsin työvoimavaltaiseen linjaan nähden. Uuden tuotantolinjan myötä saadaan lisättyä kennovalmistuksen kapasiteettia, vähennettyä tuotantokatkoksia ja jopa vähentämään henkilöstön tarvetta. Uudistuksella pitäisi olla myös positiivisia kustannusvaikutuksia. Uuden laitteiston myötä olisi mahdollista nostaa käytettävän teräsnauhan paksuutta, mikäli rakenteiden lujuuutta on tarpeen lisätä. Tämän seurauksena on mahdollista kehittää myös kokonaan uusia käyttökohteita teräskennosta.

Kennotuotannossa joudutaan nostamaan ja siirtelemään valmiita kenno-osia tuotantoalueelta varastoon ja lisäksi kennokoneeseen joudutaan vaihtamaan ajoittain teräsnauharullia. Moduulien ylä- ja alapohjat valmistetaan kennotuotantoalueen sivussa, johon niissä käytettävät kennonpalaset nostetaan suoraan sahauspisteeltä. Kennotuotantolinjaston yhteyteen on rakennettu siltanosturi ja jatkossa nosturin käyttö tulisi rajoittaa vain näihin edellä mainittuihin kennotuotannon nostotarpeisiin. Mikäli nosturia käytetään muihin tarpeisiin, se aiheuttaa pysäytyksiä kennotuotantoon.

5.2 Moduulien kasaus

Moduulien kasausprosessi muistuttaa perinteistä rakentamista, joka vaatii runsaasti työvoimaa. Moduulin osien nostamiseen käytetään nykyään ulkopuoliselta yrittäjältä vuokrattavaa hiab-autoa sekä kuljettajaa. Moduulin osien varastointi on hajautettu ja osia joudutaan kuljettamaan ja siirtelemään kohtuullisen paljon.

Moduulituotannolle tulisi rajata selvästi oma alue, jossa olisi käytössä vain kasaukseen tarkoitettu siltanosturi. Kenno-osien keräilystä ja kuljettamisesta varastosta kasauspai- kalle tulisi tehdä oma prosessinsa. Kenno-osat tulisi varastoida niin, että ne ovat selke- ästi omilla paikoillaan ja niiden paikat on merkitty varastointialueen karttaan, lisäksi osien tunnistet tulisi olla selkeästi esillä osien fyysisellä sijainnilla. Moduulin kasauksessa tar- vittavat pientarvikkeet ja niiden määrät kannattaisi selvittää, jotta ne voitaisiin keräillä valmiiksi moduulin kasausta varten. Pientarvikkeiden tapaan, myös pienemmät kenno- osat voitaisiin keräillä valmiiksi kuljetusvaunuun ja siirtää kasausalueelle. Suuremmat kenno-osat voitaisiin kuljettaa trukilla yksitellen kasaupaikan läheisyyteen siltanosturin ulottuville. Kasaupaikan lähetyvillä voisi olla betonielementtiteollisuudessa käytettävä elementtifakki tyyppinen ratkaisu, johon suuremmat kenno-osat voitaisiin säilöä väliai- kaisesti. Näin kasausvaiheesta saataisiin kaiken kaikkiaan saumattomampi ja teollistyy- pisempi tuotantoprosessi.



Kuva 12. Siltanosturi liikkuu pitkittäissuunnassa teräspalkkien päällä.

5.3 Suunnitelmat

Modulaarisessa tuotannossa pyritään pääsemään tehtaalla mahdollisimman korkeaan valmiusasteeseen tiukassa aikataulussa. Tämän vuoksi perinteisesti työmaalla tehtäville suunnitelma muutoksille ei ole samanlaisia mahdollisuuksia. Katkeamattoman tuotannon ylläpitämiseksi suunnitelmien pitäisi olla valmiit ennen tehdastuotannon aloittamista. Suunnittelussa tulisi erityisesti huomioida tehdasprosessin asettamat vaatimukset. Projektin alkupään suunnittelu tulisi ohjata niin, että se keskittyy erityisesti tilaohjelmansuunnitteluun, jotta saadaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa tieto tarvittavista moduulimalleista. Lisäksi moduuleissa käytettävien tilattavien teräsosien tilausajat saattavat olla hyvinkin pitkiä, joten näiden tarve tulisi saada tietoon hyvissä ajoin. Pienemmissä kohteissa jopa pintamateriaalien ja muun varustelun tulisi olla tiedossa tuotantoa aloitettaessa. Suuremmissa kohteissa aloituksesta pintatöihin on enemmän aikaa ja tämä antaa hieman enemmän pelivaraa pintamateriaalien valinnoille. Moduulirakentaminen ja sen eroavaisuudet perinteiseen rakentamiseen nähden eivät aina ole täysin tuttuja myöskään suunnittelijoille. On tarkoituksenmukaista jossakin määrin pyrkiä keskittämään suunnittelutyöt hyvin rajatulle määrälle suunnittelijoita, jotta suunnittelu on nopeampaa ja toistettavampaa. Tällöin samoja asioita ei tehdä seuraavissa projekteissa aina eri tavalla näkemyseroista johtuen.

Tilaaajaorganisaatioilla ei välttämättä ole ennestään tuntemusta teollisen rakennustavan toteutuksesta. Tämän vuoksi toteuttajaosapuolella on vastuu tilaajan perehdyttämisestä teollisen rakennustavan poikkeavuuksiin verrattuna perinteiseen rakentamiseen. Yleisimmät poikkeavuudet, joita ei ymmärretä, on aikataulun tiukkuus sekä suunnitelmamuu-
tosten aiheuttamat lisäkustannukset ja aikatauluviivästyksset. Modulaarinen rakennustapa on kohtuullisen uutta ja määrältäänkin vielä melko vähäistä, joten toimintatavan tunnettavuuden lisäämiseksi on vielä tehtävää.

5.4 Tehtaan sisäinen logistiikka ja varastointi

Tällä hetkellä moduulit kasataan tehtaalla omille paikoilleen hiab-auton avustamana, joista ne viedään suoraan työmaalle. Mikäli tehtaalla on tarve siirtää esimerkiksi yksittäistä moduulia kesken tuotannon, on siirtoon tilattava erikseen kuorma-auto sekä lavetti.

Uudessa tuotantotavassa, jossa moduulit kasataan siltanosturia apuna käyttäen erillisellä tuotantoalueella, syntyy tarve liikutella moduuleita tehtaalla tuotannon aikana. Moduulien siirtoon on suunniteltu paineilma avusteisesti nostettavaa ja laskettavaa lavettia, jota liikuteltaisiin tehtaalla trukilla. Tällä ratkaisulla päästäisiin eroon riippuvuudesta ulkopuoliseen siirtomenetelmään, tehostettaisiin tuotantoa sekä säästettäisiin pidemmällä aikavälillä kuluissa.

Kennotuotannon ja moduulienkasausprosessin välillä tulee olla selvä puskuri, johtuen projektien nopeista toteutusaikatauluista. Tätä varten tarvittaisiin erillinen varastointitila varsinaisen tehdasrakennuksen tontille. Kenno-osat voidaan säilyttää ulkoilmatyypissä olosuhteissa, kuitenkin niin että, ne ovat sateelta ja muulta vedeltä suojattuina. Varastointitilaksi on suunniteltu pihalle pystytettävää pressuhallia. Hallin valinnassa kuitenkin tulee ottaa huomioon tilan riittävä ilmanvaihtuvuus, jotta sen sisällä olevan ilman suhteellinen kosteus ei nouse niin korkeaksi, että vesi pääsee kondensoitumaan teräksen pinnalle.



Kuva 13. Esimerkki varastoratkaisusta

Tuotantomäärien kasvaessa tulee huomioida tuotantohallin rajallinen varastointikapasiteetti myös moduulien osalta. Mikäli projektin kokonaismoduulimäärä ylittää

tuotantotilojen kapasiteetin ja tuotantoa ei ole mahdollista järjestää niin, että valmiit moduulit kuljetetaan heti työmaalle, täytyy moduuleille järjestää välivarastointipaikka.

Fixcel rakennuksissa hyvä sisäilmanlaatu on erityisen tärkeää ja tämä asettaa korkeat vaatimukset myös valmiiden moduulien säilyttämiselle. Moduulit tulee varastoida niin, että niiden sisätilojen lämpö- ja kosteusolosuhteet vastaavat normaalin sisäilman olosuhteita. Lisäksi niiden varastointitapa pitäisi olla sellainen, että ne eivät altistu sateelle eikä niiden sisätiloihin pääse epäpuhtauksia. Moduulit pakataan työmaalle kuljetusta varten. Pakkaustapa on niin perusteellinen ja tiivis, että se estää moduulin kastumisen sekä epäpuhtauksien pääsyn moduulin sisälle. Kuljetussuojaukselta kannattaa ehdottomasti käyttää hyödyksi myös välivarastoinnin aikana. Kuljetussuojauksen lisäksi moduulien olisi kuitenkin hyvä olla lisäksi esimerkiksi pressuhallissa. Lämpö- ja kosteusolosuhteiden toteuttaminen tällaisessa pressuhallissa on kuitenkin hankalaa, joten yhtenä vaihtoehtona voisi olla moduulikohtainen olosuhteidenhallinta. Riittävä ilman vaihtuvuus, sekä tasainen lämpötila moduulin sisällä takaisi, että esimerkiksi mikrobivaurioita ei pääse syntymään säilytyksen aikana. Ennen suurempia investointeja ja laajempaa säilytystarvetta tämä välivarastointimalli tulisi suunnitella tarkasti ja testata sen toimivuus.

5.5 Moduulien ja järjestelmien vakiointi

Tähän mennessä Fixcel rakennuksissa on moduuleita muokattu projektikohtaisesti. Sen seurauksena erilaisia moduulivariaatioita on syntynyt runsaasti. Suuri moduulivariaatiomäärä estää moduulien ennakkoon valmistamisen sellaisessa tilanteessa, jossa seuraavan toteutettavan kohteen suunnitelmat eivät ole valmiit.

Haastatteluissa tuli esiin ajatus moduulin sisäisistä tilavakioinneista. Fixcelin tyypillisiä kohteita on koulut, päiväkodit ja terveydenhuoltoalanrakennukset. Näissä olisi mahdollista standardoida esimerkiksi wc, kylpyhuone ja tekninen tila, kyseisistä tiloista olisi tarkat dokumentit, joista kävisi ilmi esimerkiksi tarvittavat materiaalit ja määrät. Tilavakioinnin avulla suunnittelun tarvetta pystytään vähentämään huomattavasti. Myös materiaalihankintojen ennakointi olisi huomattavasti helpompaa.

Talotekniset järjestelmät ja niiden asennus on iso osa rakentamisen kokonaiskustannuksia. Nykyisin nämäkin suunnitellaan pitkälti projektikohtaisesti. Varsinaista estettä ei olisi

suunnitella eri vakioituihin käyttötarkoituksiin standardoituja taloteknisiä ratkaisuja. Esimerkiksi eri moduuleissa voisi olla vakioitua kaapelointiratkaisuja ja sähkökalustus. Toisinaan esimerkiksi sähkökaapelit voisi olla valmiiksi määrämittään leikattuja ja yhteen niputettuja johtosarjoja, jotka nostetaan kaapelihyllylle. Sähkökalusteille taas voisi kehittää tilakohtaisia valmiita paketteja, joissa sähkökalusteet asennettaisiin valmiiksi johtokanaviin, jotka olisivat määrämittäisiksi leikattuja.



Kuva 14. Esimerkki esivalmisteisista johtosarjoista

6 Yhteenveto

Teollinen modulaarinen rakentaminen on Suomessa vielä uusi ala ja uudet toimintatavat on otettu käyttöön melko hitaasti. Fixcel Group Oy tekee teräskennorunkoisia modulaarisia rakennuksia, jotka valmistetaan tehdasmaisissa olosuhteissa Hämeenlinnassa. Patentoitu suomalainen teräskennorakenne on alun perin suunniteltu laivanrakennusteollisuuteen, josta se on kehitetty sopivaksi rakentamiseen. Fixcel on nuori yhtiö, joka on toteuttanut ensimmäiset kohteensa vuonna 2018 ja yritys on kasvanut nopeasti. Nopean kasvun seurauksena tuotannon prosessit eivät ole pysyneet kehityksessä mukana ja niiden muokkaaminen teollisemman rakentamisen suuntaan on koettu tarpeelliseksi. Tässä työssä oli tarkoituksena aloittaa tuotannon vaiheiden dokumentointi osana tuotannon teollistamisprosessia. Dokumentoinnin tarkoituksena on luoda tuotantoon yksittäisiä prosesseja, jotta eri vaiheet olisivat toistettavissa. Selkeät prosessit tukevat laadunvarmentamista ja voivat parhaimmillaan alentaa kustannuksia.

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin moduulituotannon kehityskohteita haastattelututkimuksilla sekä seuraamalla tuotantoprosesseja tehtaalla. Nykyisen teräskennolaitteiston todettiin olevan käyttöikänsä loppuilla, jonka seurauksena laite ei ole toimintavarma ja sitä joudutaan korjaamaan jatkuvasti. Korjaaminen aiheuttaa tuotantokatkoksia, jotka näkyvät seuraavissa tuotannon vaiheissa rajoittavana tekijänä. Nykyisen tuotantolaitteiston korvaaja on tarkoitus ottaa käyttöön nopeutetusti Hämeenlinnassa. Moduulien kasaukselle todettiin tarvittavan oma tuotantoalue, jossa voidaan kasata samanaikaisesti useampaa moduulia. Uudessa tuotantomallissa moduulien osat ja kasauksessa käytettävät tarvikkeet kerättäisiin etukäteen moduulin kasauspaikalle. Kasauksessa käytettäisiin apuna uutta hankittavaa siltanosturia hiab-auton sijaan. Uusi tuotantomalli luo tarpeen siirtää moduuleita tehdashallin sisällä. Siirtoihin on suunniteltu käytettäväksi trukilla liikuttavaa lavettia.

Työssä selvitettiin myös suunnittelun merkitystä moduulituotannolle. Teollistyyppinen rakennustapa on perinteiseen verrattuna nopeaa ja muutosten toteuttaminen aikaa vievämpää sekä kustannuksia lisäävää. Tuotannon näkökulmasta on ensiarvoisen tärkeää, että suunnitelmat on valmiit riittävän aikaisin ennen tuotannon aloittamista. Tällöin on helpompi suorittaa hankinnat, sekä resursoida tuotanto. Yhtiössä on aloitettu myös perusmoduulien standardointiprosessi, joka mahdollistaa niiden valmistamisen varastoon.

Standardimoduuleilla voidaan helpottaa suunnittelijoiden työtä, sillä kaikkia kohteita ei suunnitella alusta loppuun uudelleen. Tämä asettaa rajoituksia suunnittelijoiden luovuuden käytölle ja vie tuotetta entistä enemmän teollisen rakentamisen suuntaan.

Työssä syntyi hyvä käsitys moduulituotannon muutostarpeista ja siihen linkittyvistä muista tuotannon tekijöistä. Moduulinkasaamiseen saatiin tuotettua seikkaperäinen työohjeistus, osana uutta tuotantomenetelmää.

7 Pohdinta

Modulaarinen rakentaminen on vielä vähäistä verrattuna perinteiseen rakentamiseen.¹⁷ On todennäköistä, että modulaarisen rakennustavan kehittyessä sen suhteellinen määrä tulee kasvamaan sen monista eduista johtuen. Suomalaista rakentamista on kautta aikain arvostettu maailmalla, mutta viimeaikaiset kosteus- ja sisäilmaongelmat ovat horjuttaneet sen arvostusta. Rakentamisaikainen kosteudenhallinta ja kuivaketju on helppo toteuttaa, kun rakennetaan modulaarisia rakennuksia. Fixcelin moduulit valmistetaan kuivissa sisätiloissa, joissa ne eivät altistu jatkuvalle lämpötilavaihtelulle tai kosteudelle. Ennen moduulien kuljetusta työmaalle ne pakataan huolellisesti, jotta kuivaketju ei katkea. Työmaalla moduulien nostot toteutetaan vain sateettomina päivinä ja nostojen jälkeen rakennus on suojattuna sääsuojalla. Lisäksi valmiissa rakennuksessa, vesivahingon sattuessa on hyvin todennäköistä, että vauriot rajautuvat vain yhteen moduulin. Teräskennorakenne on tässäkin mielessä erityisen toimiva, sillä vesi pysähtyy kohdassaan teräksen, rakenteiden ollessa tiiviitä. Vaurioituneet pintamateriaalit on helppo vaihtaa ja niiden alla oleva teräskenno ei vaadi erityisiä toimenpiteitä kuivattamisen lisäksi. Mikrobivaurion todennäköisyys tällaisessa tilanteessa on pieni, sillä teräs ei ole kasvualustana otollinen mikrobeille.

Lisääntyneet sisäilmaan liittyvät terveysongelmat ovat nostaneet rakentamisen puhtauden ja materiaalien ominaisuudet osaksi rakentamisen yleisen laadun arvostelua.¹⁸ Fixcel rakentaa moduulinsa puhtaissa sisäolosuhteissa ja moduuleiden sekä tehdastilojen puhtautta ylläpidetään jatkuvasti. Tehtaalla sekä työmaalla noudatetaan P1 puhtausluokitusta rakentamisen osalta. Fixcelin käyttämät rakennusmateriaalit ovat käyneet läpi lukuisia testauksia ja niiden yhteensopivuus toistensa kanssa on testattu. Fixcelin materiaalistandardit ylittää pääsääntöisesti yleisesti käytössä olevan M1 materiaaluokituksen. Näillä standardeilla pyritään mahdollisimman puhtaaseen ja käyttäjäystävälliseen sisäilmaan, jossa ei ole rakennusaikaista pölyä tai materiaaleista irronneita kemikaalipäästöjä. Fixcelin moduulikohtaisella ilmanvaihdolla varmistetaan, että sisäilman vaihtuvuus on riittävä ja toisaalta se luo mahdollisuuden tilojen mukautumiselle käyttötarkoituksen muuttuessa. Lisäksi moduulikohtainen ilmanvaihto luo varmuuden ilmanvaihdon jatkuvuudelle, sillä riski kaikkien ilmanvaihtokoneiden samanaikaisesta rikkoutumisesta on hyvin pieni. Tämän kaltainen rakentamistapa, jossa huomioidaan sisäilma- ja

¹⁷ Type of Construction Method of New Single-Family Houses Completed: 1

¹⁸ Haahtela -- Renkonen 2017

kosteusnäkökulmat, olisi toivottavasti tulevaisuuden rakentamisen trendi nykyisen voimakkaasti kustannuslähtöisen ajattelun sijaan.

Rakennusteollisuuden ympäristövaikutukset ovat merkittävät, sillä ala tuottaa runsaasti jätettä ja päästöjä.¹⁹ Tehdasolosuhteissa tapahtuvan rakentamisen on todettu hyödyntävän materiaalit paremmin ja jätteiden määrät ovat vähäisempiä.²⁰ Tehtaalla jäännösmateriaalit voidaan varastoida ja pääosin käyttää seuraavissa projekteissa. Teräksen valmistaminen itsessään aiheuttaa suuret päästöt, mutta sinkitty teräs on kuitenkin materiaalina lähes ikuinen ja kierrätettävissä.²¹ Teräskennorunkoiset moduulit ovat niin ikään pitkäikäisiä sekä uudelleen käytettävissä. Modulaarisuus itsessään mahdollistaa rakennusten siirron ja käyttötarkoituksen muutoksen. Moduulien kuljetuksista on ajateltu syntyvän lisäpäästöjä verrattuna paikallarakentamiseen. Kuljetuksen aiheuttamat päästöt vaikuttaisivat kuitenkin melko pienelle osalle rakentamisen aikaisista liikennepäästöistä. Liikennepäästöjen kokonaiskuormassa tulisi huomioida myös työmatkaliikenne sekä materiaalikuljetusten aiheuttamat liikennepäästöt, joka tekee laskennasta huomattavasti monimutkaisempaa. Fixcelin modulaariset rakennukset täyttävät kaikki pysyvien rakennusten määräykset ja ovat erittäin energiatehokkaita. Tästäkin näkökulmasta ympäristökuormitusta tulisi arvioida pidemmällä ajanjaksolla ja ei pelkästään pohtia teräsmoduulin raaka-aineen valmistuksesta aiheutuvia päästöjä.

Suomessa moduulirakentaminen on keskittynyt hyvin pitkälti väistöilarakentamiseen. Usein kyseessä on koulujen, päiväkotien sekä erilaisten terveydenhuollon rakennusten väliaikaiset tilat. Toimintojen siirtyessä väistötiloihin yleensä vanha rakennus peruskorjataan tai rakennetaan uusi pysyväisrakennus. On mahdollista, että tilaajaosapuolet ei välttämättä ole vielä mieltäneet modulaarisen rakentamisen kaikkia mahdollisuuksia. Koska rakennustapa on niin nopea, olisi mahdollista väistötilojen sijaan rakentaa suoraan pysyvä modulaarinen rakennus samassa ajassa. Tämän tyyppisellä toimintatavalla on hyvin todennäköistä, että saavutettaisiin merkittäviä kustannussäästöjä.

Suomi on harvaan asutettu maa, jossa on paljon pieniä kuntia, joilla on velvollisuus tuottaa peruspalvelut. Muuttotappiopaikkakunnilla on vaikea mitoittaa rakennushankkeita pidemmällä aikavälillä. Modulaarisessa rakennustavassa voidaan jo suunnitteluvaiheessa huomioida mahdollinen käyttötarkoituksen muutos, jolloin esimerkiksi koulusta voidaan

¹⁹ Perez-Lombard ym. 2007: 395

²⁰ Pan -- Goodier 2012: 13

²¹ Teräsrakenneyhdistys

kohtuullisin muutoksin tehdä palvelutalo. Modulaarisesta rakennuksesta voidaan myös poistaa tai lisätä osa. Erityisenä vahvuutena voidaan pitää rakennusten siirrettävyyttä. Mikäli tietyillä alueilla palveluiden tarpeen kokonaismäärä vähenee merkittävästi, voidaan modulaarinen rakennus siirtää esimerkiksi muuttovoitto paikkakunnalle, joko samaan tai eri käyttötarkoitukseen.²² Siirtämisen kustannukset lienevät kuitenkin uudisrakentamista vähäisemmät.

Tässä opinnäytetyössä selvitettiin moduulien kasausprosessiin liittyviä kehityskohtia, joilla arvellaan olevan merkittävä vaikutus toiminnan kannalta. Työssä tehty dokumentaatio tulee olemaan osa tulevaa uudistettua moduulituotantoa. Nyt käsiteltiin vain yksi osa tuotantoa ja tarkoituksena on jatkaa kehitystyötä ja dokumentointia myös muiden prosessien osalta. Työn edetessä syntyi vaikutelma siitä, että tarkalla prosessien arvioimisella sekä dokumentoinnilla voidaan parantaa laatua sekä lisätä työvaiheiden tehokkuutta. Jotta voidaan puhua teollisesta rakentamisesta, prosessit on oltava alusta loppuun hyvin suunniteltu ja dokumentoitu, jotta sama työvaihe voidaan toistaa kerta toisensa jälkeen samalla tavalla.

²² Jokimäki 2010: 24-25

Lähteet

Elementtisuunnittelu. Elementtirakentamisen historia. <<https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>>. Luettu 27.4.2020

Fixcel. Sisäilmahyvinvointi on tehokkaasti toteutettavissa. <<https://www.fixcel.fi/rakennukset>>. Luettu 26.4.2020

Fixcel-tilamoduulien laadunvarmistus-suunnitelma

Haahtela Tari -- Renkonen Risto. Kansallinen sisäilma ja terveys-ohjelma 2018-2028 tukee terveydenhuoltoa. Duodecim 2019:135:704-6

Jokimäki, Sanna. 2010. Näkökohtia tilaelementtiarkkitehtuuriin, sovelluksena koulu, Diplomityö Tampereen teknillinen yliopisto

Kamali, Mohammad – Hewage, Kasun. 2016. Life cycle performance of modular buildings: A critical review. University of british Columbia

Kangaspunta, Ari. 2018. Moduulirakenteinen pientalo – Ratkaisumalli joustavan pientalon valmistamiseksi. Metropolia ammattikorkeakoulu

Kari Reijula, Guy Ahonen, Harri Alenius, Rauno Holopainen, Sanna Lappalainen, Eero Palomäki ja Marjut Reiman. 2012. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu

Kawecki, Leonard Robert. 2010. Environmental Performance of Modular Fabrication: Calculating the Carbon Footprint of Energy Used in the Construction of a Modular Home. Arizona state University

Kiippa, Tero. 2020. Kennotuotannon työnjohtaja. Fixcel Group Oy. Haastattelu. 30.3.2020

Kotilainen, Sini. 2013. Moduulirakentaminen, ratkaisumalleja tulevaisuuden asuntorakentamisen haasteisiin. Tampereen teknillinen yliopisto

Neapo oy:n moduulirakentamismalli 2010: Helsingin kaupunginhallituksen esityslistan 25/2010 liite

Pan, Wei -- Goodier, Chris. 2012. Housebuilding business models and offsite construction take-up. Loughborough University

Perez-Lombard, Luis – Ortiz, Jose – Pout, Christine. 2007. A review on buildings energy consumption information. Universidad de Sevilla

Rannisto, Jukka. 2013. Modulaarisen rakentamisen mahdollisuudet vuokra-asuntomarkkinoilla; Kirjassa, Modulaarirakentaminen: terästeknologian mahdollisuudet (toim. Jaakko Sorri), Tampereen teknillinen yliopisto

Sorri, Jaakko. 2013. Moduulirakentaminen: teräskennoteknologian mahdollisuudet. Tampereen teknillinen yliopisto

Teräsrakenneyhdistys. Teräksen kierrättäminen. <<http://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/terasrakenneteollisuus/teras-materiaalina/kierratys/>>. Luettu 27.4.2020

Type of Construction Method of New Single-Family Houses Completed <<https://www.census.gov/construction/chars/pdf/conmethod.pdf>>. Luettu 27.4.2020

Työturvallisuuskeskus. Työtapaturmat rakennusalalla. <https://ttk.fi/tyoturvallisuus_ja_tyosuojelu/toimialakohtaista_tietoa/rakennusala/tyotapaturmat_rakennus-alalla>. Luettu 9.4.2020

Kuva 1. Kuvaaja: Salo, Otso

Kuva 2. Kuvaaja: Salo, Otso

Kuva 3. Fixcel facebook

Kuva 4. <<https://www.slideshare.net/ARAviesti/suomalainen-innovaatio-fixcel-lisakerokset-ja-hissitornit-ara-paja-2016>>: Luettu 28.4.2020

Kuva 5. <<https://yle.fi/uutiset/3-5450866>>: Luettu 9.4.2020

Kuva 6. Kuvaaja: Salo, Otso

Kuva 7. Kuvaaja: Honkavaara, Vesa

Kuva 8. <<https://suvantotrucks.com/tuote/volvo-fh-12-460-8x4-nosturiauto-hiab-800-jibi-74-kymp-2004-eoy-351/>>: Luettu 15.4.2020

Kuva 9. Kuvaaja: Honkavaara, Vesa

Kuva 10. Kuvaaja: Salo, Otso

Kuva 11. <https://ttk.fi/tyoturvallisuus_ja_tyosuojelu/toimialakohtaista_tietoa/rakennus-ala/tyotapaturmat_rakennusalalla>: Luettu 9.4.2020

Kuva 12. Kuvaaja: Salo, Otso

Kuva 13. <<https://landtek.fi/verkkokauppa/landtek-hall-12x30m/>>: Luettu 26.4.2020

Kuva 14. <<http://www.ibew.org/articles/15ElectricalWorker/EW1504/Prefab.0415.html>>:
Luettu 25.4.2020

Fixcel Group Oy, Moduulin kasausohje.
Salainen, ei julkaistavaa tietoa.