PUU

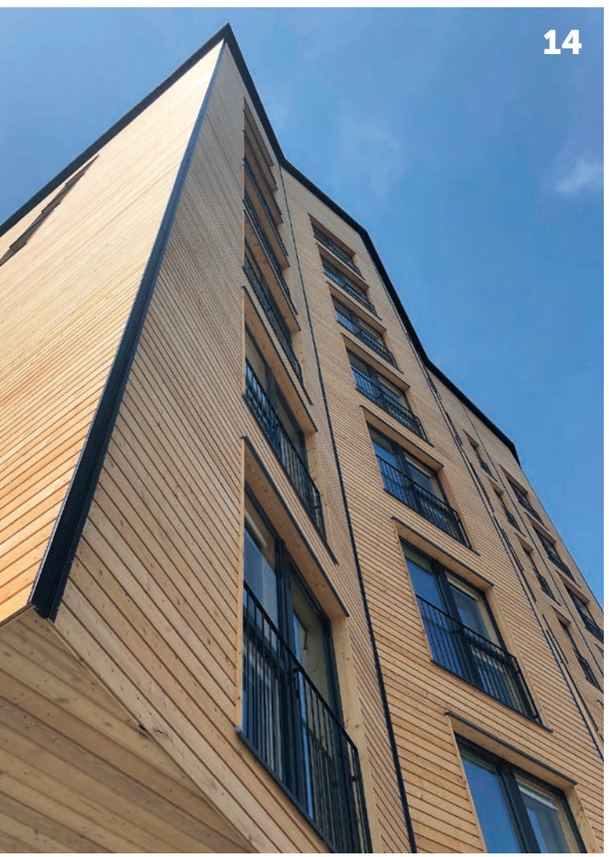
TEOLLISEN PUURAKENTAMISEN TUOTTAVUUSLOIKKA

2022

PUU-LEHDEN ERIKOISNUMERO

PUUINFO

SISÄLLYSLUETTELO



Rakentamisen tuottavuus nousuun 5

1. JOHDANTO 6
1.1. Kahdenkymmenen prosentin tuottavuusloikka 8
1.2. Puukerrostalorakentaminen Suomessa 10
1.3. Tilaelementtirakentamisella tuottavuutta 12

2. HANKEMUOTO JA SOPIMUSMALLI 14
2.1. Kalon-hankkeen KVR-toteutus 15
2.2. Hippos-hankkeen allianssimalli 17
2.3. Tilaelementtirakentamisen erityispiirteet 18
2.4. Verkostopohjainen sopimusmalli 19

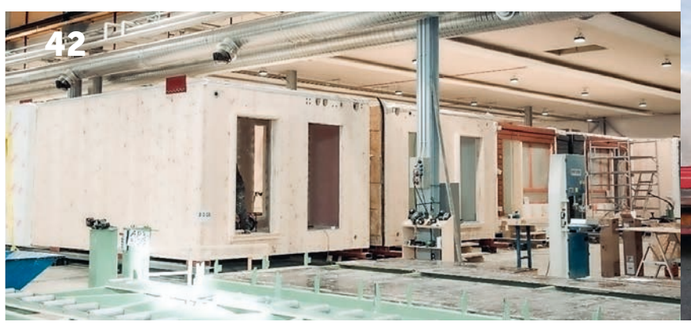
3. SUUNNITTELU 22
3.1. Kokonaisvaltainen suunnitteluprosessi 23
3.2. Suunnittelun ohjaus 23
3.3. Arkkitehtisuunnittelun sulautuminen suunnitteluprosessiin 24
3.4. Suunnittelun tehostaminen vakioinnilla 25
3.5. Tyyppipuukerrostalokonsepti 26
3.6. Standardikirjasto 35
3.7. Parametrinen suunnittelu ja konfiguraattori 41

4. TILAELEMENTTIEN VALMISTUS 42
4.1. Tuotantoa edeltävät vaiheet 44
4.2. Tuotantolinja 45
4.3. Tuotannon mittaaminen 46

5. LOGISTIIKKA 48

6. TYÖMAA 52
6.1. Tuottavuusloikka-hankkeiden kohteet 53
6.2. Julkisivu 53
6.3. Ensimmäinen kerros 54
6.4. Tilaelementtien asennus 54
6.5. Sisävalmistuksen työvaiheet 59
6.6. Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset 62
6.7. Tavoitteellinen työmaa 63

7. TEOLLINEN PUURAKENTAMINEN 2.0 64
7.1. Tuottavuusloikka-hankkeen johtopäätökset 65
7.2. Jatkotutkimustarpeet 65



PUU

TEOLLISEN PUURAKENTAMISEN TUOTTAVUUSLOIKKA

PUU-lehden erikoisnumero
Elokuu 2022
www.puuinfo.fi/puulehti

Julkaisijat
Puutuoteteollisuus ry, Puuinfo Oy

Kustantaja
Puutuoteteollisuus ry
www.puutuoteteollisuus.fi,
info@puutuoteteollisuus.fi

Toimitus
Puuinfo Oy

Taitto
Punamusta Oy, sisältö- ja suunnittelupalvelut

Painopaikka
Punamusta Oy

Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelma on rahoittanut julkaisua osana hankerahoitusta.

Kuva: Puurakentajat Group Oy

TEOLLISEN PUURAKENTAMISEN TUOTTAVUUSLOIKKA

Puutuoteteollisuus ry:n koordinoima Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka -hanke on teollisuuden ja ympäristöministeriön rahoittama kaksivuotinen hanke. Hankkeen toteutusaika on 1.9.2020–31.8.2022.

Projektin tavoitteena on teollisen puurakentamisen kokonaisvaltainen tehostaminen ja kilpailukyvyn merkittävä parantaminen. Hankkeessa toteutetaan rakennushankkeen yhteydessä teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka. Hanke pyrkii tavoitteeseen suunnittelun, teollisen valmistuksen ja työmaatoimintojen tehostamisella ja pureutuu erityisesti suunnitteluratkaisut, teollisen tuotannon ja työmaatoiminnot huomioivaan vakiointiin. Tavoitteena on 20 prosentin tuottavuuden parannus vuoden 2020 tilanteeseen verrattuna.

Hankkeen osapuolina ovat Elementti Sampo Oy, JVR-Rakenne Oy, Yrjö ja Hanna -säätiö, TOAS, Tampereen yliopiston Rakennustekniikan ja Arkkitehtuurin yksiköt, Timber Bros Oy, Muutostuuli Oy sekä Jyväskylän kaupunki. Hanke valmistuu syksyllä 2022.

RAKENTAMISEN TUOTTAVUUS NOUSUUN

Rakentamisen tuottavuus on polkenut paikallaan vuosikymmeniä. Vaikka rakennusala on yksi maailman suurimmista aloista, sen tuottavuuskehitys laahaa muiden toimialojen perässä. Rakennussektori on myös yksi suurimmista päästöjen aiheuttajista. Suomen valtion tavoitteena on olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Nopeasti vaikuttavat keinot rakentamisen päästöjen vähentämiseksi ovat tarpeen. Rakennusalan heikon tuottavuuskehityksen ja suuren hiilijalanjäljen lisäksi Ukrainan sodan aiheuttama tavaroiden ja tuotteiden heikentynyt saatavuus yhdessä voimakkaan inflaation kanssa rasittavat niin rakennusliikkeitä kuin asiakkaita.

RAKENTAMISEN TOIMIALAN pitää muuttua, ja muutoksella on kiire. Avain esitettyihin haasteisiin on koko rakentamisen prosessin tuottavuuden parantaminen. Muilla toimialoilla muutos on toteutettu vuosikymmenten saatossa oman toiminnan prosesseja tehostamalla, automatisoimalla ja teollistamalla. Sama muutos pitää tehdä rakentamisessa. Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka -hanke on syntynyt tästä muutostarpeesta.

TUOTTAVUUSLOIKKA-HANKKEEN TAVOITTEENA oli osoittaa, että puukerrostalon voi tehdä vuoden 2020 toteutukseen verrattuna 20 % tehokkaammin ja kilpailukykyisemmin. Tämä tavoite saavutettiin, ja näkemys tuottavuusloikan potentiaalista nauttii laajaa yhteisymmärrystä läpi teollisuuden ja tilaajakentän.

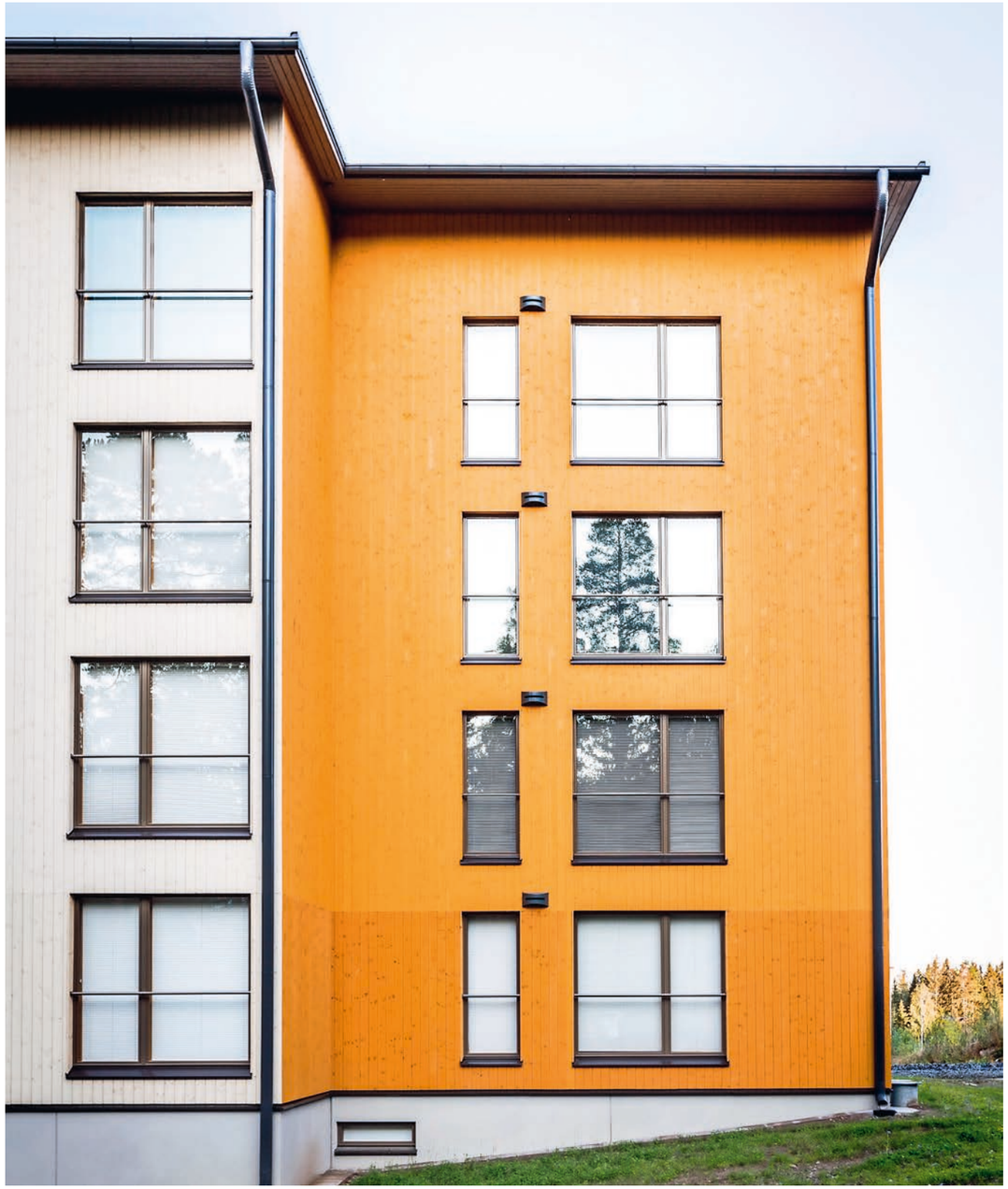
ON TÄRKEÄÄ HUOMATA, että yksittäisiä hopealuoteja rakentamisen tuottavuuden parantamiseen ei ole. Tuottavuuskehitys vaatii rakentamisen koko prosessin kehittämistä osaoptimoinnin sijaan. Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka saavutetaan kaikkien sidosryhmien, rakennuttajien, suunnittelijoiden, teollisten esivalmistajien ja työmaatoimijoiden yhteistyöllä. Yhteistyön avulla kehitetään ratkaisuja ja toimintamalleja, jotka toimivat niin suunnittelussa, esivalmistuksessa, työmaalla ja tärkeimpänä kaikista asunnon käyttäjällä.

SUUNNITTELIJOIDEN JA TEOLLISUUDEN tehtäväksi jää toteuttaa ja viedä käytäntöön hankkeen tuloksena esitetyt muutokset ja vakioidut kehityskohteet. Nyt esitetyt toimet ovat kuitenkin vasta tuottavuuden parantamisen ensimmäiset askeleet. Hankkeessa ei ole otettu juurikaan kantaa robotiikkaan, automaatioon, parametrisesti toteutettuihin suunnitteluohjelmistoihin tai muihin jo melko yleisesti muussa teollisuudessa käytettyihin menetelmiin. Seuraavat loikat odottavat ottajaansa.

TÄMÄ HANKE ei olisi toteutunut ilman mittavaa joukkoa asiantuntijoita ja ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelman rahoitusta. Oman asiantuntemuksensa hankkeen toteuttamiseen antoivat seuraavat tahot: Tampereen opiskelija-asuntosäätiö ja Yrjö ja Hanna -säätiö, jotka toivat hankkeeseen omat rakennuskohteensa; Jyväskylän kaupunki; JVR-Rakenne Oy ja Elementti Sampo Oy, jotka mahdollistivat havainnot ja kehitystyön tehdasympäristössä; Tampereen yliopiston Rakennustekniikan ja Arkkitehtuurin yksiköt, jotka vastasivat suurelta osin arkkitehti- ja rakennesuunnittelun sekä sopimuksellisen vastuun kehitystyöstä; Muutostuuli Oy, joka toteutti teollista kehitystä esivalmistuksessa ja työmaalla; Timber Bros Oy, joka vastasi osaltaan tuotevakioinnista ja sen käytännön toteuttamisesta julkaisukuntoon. Tämän lisäksi hankkeeseen osallistui laajasti rakennesuunnittelun, rakentamisen ja tuoteosavalmistuksen asiantuntijoita. Kiitämme lämpimästi kaikkia hanketta rahoittaneita ja hankkeeseen osallistuneita tahoja.

Matti Mikkola
Toimitusjohtaja
Puutuoteteollisuus ry

1 Johdanto



Kuopion Puukeila. Kuva: Micael Mäenpää

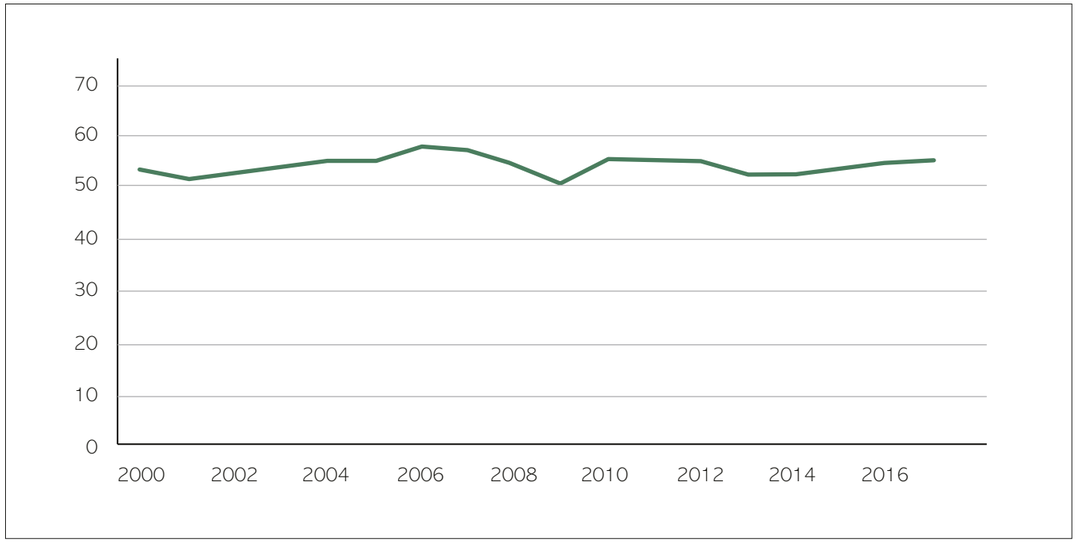
Suomalaisen rakentamisen tuottavuus ei ole merkittävästi kasvanut 1970-luvun jälkeen. Kuvassa 1 on esitetty rakennusalan tuottavuuskehitys 2000-luvulla. Siitä näkee, että kehitystä ei ole käytännössä tapahtunut. Tämä on massiivinen ongelma koko Suomelle, alalla työskenteleville ja ennen kaikkea kuluttajille.

Pitkän aikavälin palkankorotuspotentiaali perustuu työn tuottavuuden paranemiseen. Kun työn tuottavuus käytännössä puuttuu, ala uhkaa päätyä matalapalkka-alaksi. Toiseksi työn tuottavuuden paraneminen on yksi parhaita keinoja jarruttaa kustannusten nousemista. Kuvasta 2 nähdään rakennuskustannus- ja tarjoushintaindeksien systemaattinen kasvaminen läpi koko 2000-luvun. Hintojen jatkuva nousu vaikeuttaa asuntojen ostamista, lisää asumiskustannuksia ja ohjaa ihmisiä esimerkiksi pienempiin asuntoihin tai kauemmaksi omalta työpaikaltaan.

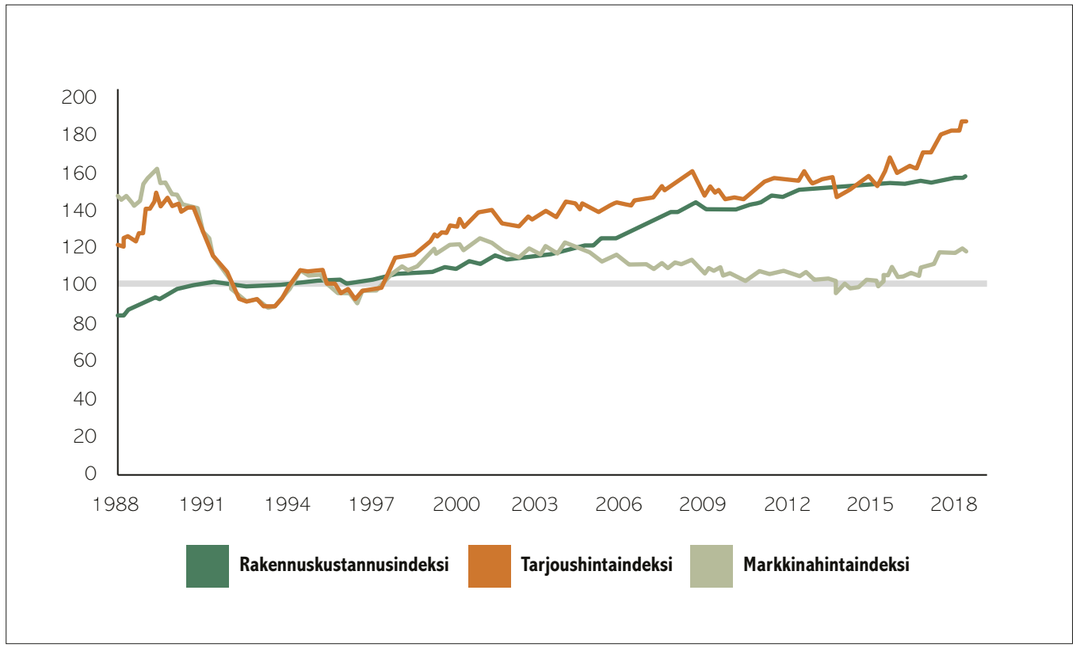
Yksi keskeinen keino tuottavuuden parantamiseksi on hyödyntää teollista rakentamista. On intuitiivisesti helppo todeta, että kun sään armoilla tehtävä työ viedään sisätiloihin, täytyy työn olla tehokkaampaa. Kevyenä materiaalina puu mahdollistaa suurien tilojen valmistamisen tehtaissa. Tästä melko yksinkertaisesta päättelystä on syntynyt tilaelementtiteollisuus. Tilaelementtirakentamisella on Suomessa vuosikymmenten perinteet omakotitalo- ja julkisissa kohteissa. Nyt tämä tehokkuus pyritään tuomaan myös korkeampaan rakentamiseen eli kerrostaloihin.

Teollistamisen ja sen tehostamisen ehkä kuuluisin esimerkki on Lean-ajattelu, joka on kehitetty alun perin Japanissa. Teollisuuden jatkuva parantaminen on vakiotoimenpide muilla teollisuudenaloilla ja elinehto kansainvälisessä kilpailussa. Suomessa on kunniakas historia erityisesti laiva- ja elektroniikkateollisuuden teollisessa kehittämisessä. Kun työvaiheista poistetaan hukkaa, vakioidaan tuotettavia osia, pilkotaan tuotantoa järkevämpiin kokonaisuuksiin ja virtautetaan tuotantoa, nykyisistä tuotantotavoista voidaan saada merkittäviä tuotantoloikkia.

Kerrostalorakentamista on kehitetty siiloutuneesti ainakin kolmessa eri pääryhmässä. Tilaaja on kehittänyt itsenäisesti omia suunnitteluratkaisujaan ja pyrkinyt kilpailuttamaan niille toteut-



Kuva 1. Työn tuottavuuden kehitys rakennusalalla 2000-luvulla (1000 euroa vuoden 2010 hinnoin).



Kuva 2. Rakennuskustannus- ja markkinatilanneindeksin kehitys 1990-luvulta lähtien.

tajat. Urakoitsijat ovat kehittäneet omia työmaalla toimivia ratkaisujaan, joita ei aina ole välttämättä tehokasta valmistaa tehtaalla. Tehdas taas on optimoinut tuotantoratkaisuja niin, että niitä ei aina välttämättä voida tehokkaasti asentaa tai muuten viimeistellä työmaalla. Tämä on johtanut kokonaisuuden kannalta osaoptimointiin ja hukkaan koko prosessissa.

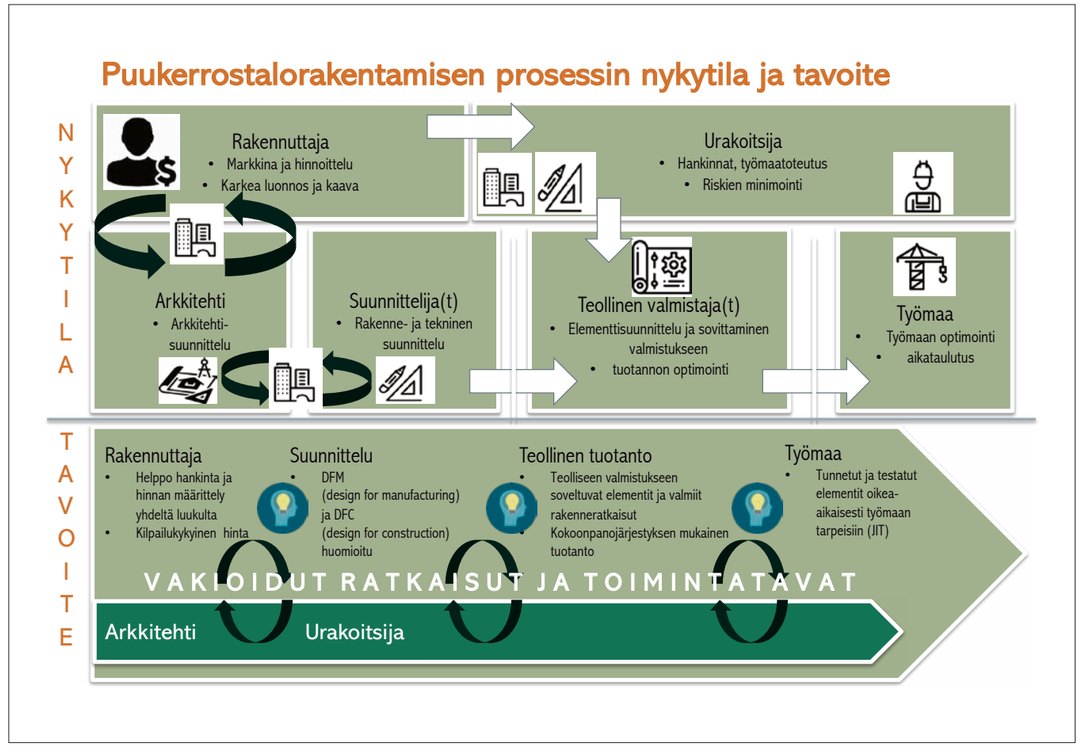
1.1. Kahdenkymmenen prosentin tuottavuusloikka

Edellä mainittujen seikkojen vuoksi Puutuoteteollisuus ry kokosi kaksi työryhmää, jotka organisoitiin Tuottavuusloikka-hankkeiksi. Alustavan analyysin pohjalta arvioitiin, että tilaelementtikerrostalosta on saavutettavissa 20 %:n tuottavuuspotentiaali verrattuna vuonna 2020 käytössä olleisiin ratkaisuihin. **Tämä 20 %:n tuottavuuden parantaminen asetettiin koko hankkeen päätavoitteeksi.**

Potentiaali syntyy läpi koko prosessin alkaen tilaajan päätöksistä, kaavoituksesta ja suunnittelusta. Elementtitehtailla tuotanto tulee muuttaa paremmin virtaavaksi ja tehokkuutta nostaa merkittävästi. Tavoitteena on kuitenkin, että tuottavuus nousee ilman merkittäviä investointeja uusiin tiloihin tai robotiikkaan. Työmaalta on tarkoitus siirtää työtä tehtaalle tehtäväksi, jolloin kyseisen työn tekeminen on tehokkaampaa. Näin työmaan kestoa saadaan lyhennettyä ja työmaalla tarvittavaa resurssia pienennettyä.

Kuvassa 3 kuvataan tyypillistä hanketta, jossa useat eri osapuolet linkittyvät toisiinsa moniportaisessa ja -vaiheisessa prosessissa. Tämä johtaa osaoptimointiin ja siihen, että teollisen rakentamisen tuottavuutta ei pystytä täysimääräisesti hyödyntämään hankkeissa. Malli ei käytännössä tue tuotteiden tai kohteiden kehittämistä kokonaisuuden näkökulmasta. On hyvä erottaa niin sanottu tavanomainen rakentaminen, jossa kaikki osapuolet tietävät, mitä ollaan tekemässä, ja jossa käytännöt ovat muodostuneet vuosikymmenten saatossa. Perinteiseen rakentamiseen malli toimii hyvin.

Kuvan 3 alalaidassa kuvataan tavoitteellista prosessia, jossa teollisen rakentamisen vakioiduilla ratkaisuilla ja toimintamalleilla puretaan siiloutumista ja mahdollistetaan arvon tuottaminen läpi koko prosessin. Pääsuunnittelun lisäksi on tärkeää suunnitella myös tuotanto. Tämä on kriittinen vaihe ja tehokkaan tuotannon perusedellytys. Perinteisessä mallissa toteutussuunnittelussa ei ole



Kuva 3. Tavoiteltu prosessimuutos puukerrostalorakentamisessa.

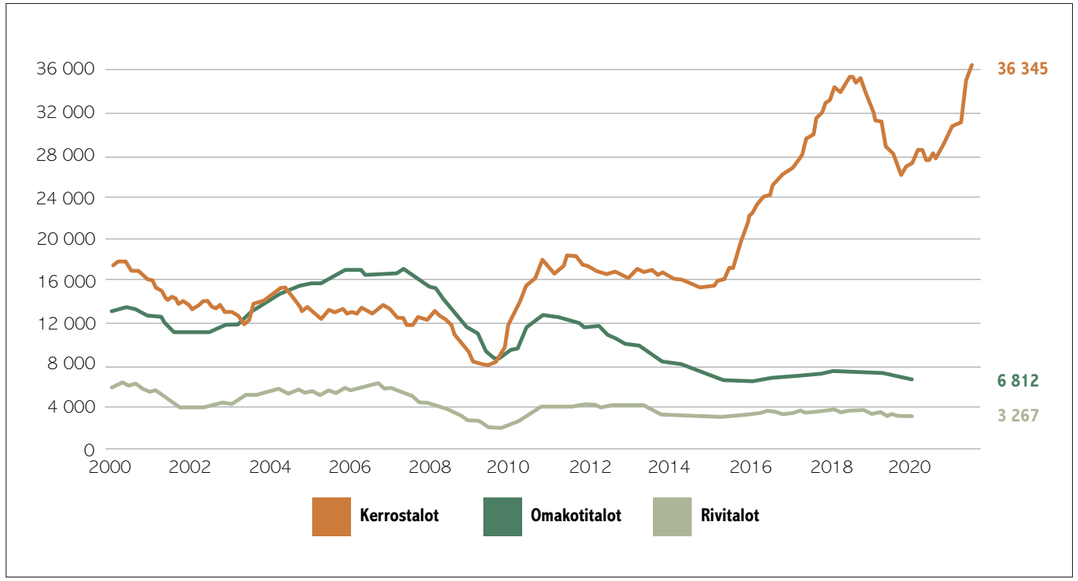
erillistä tuotantosuunnitteluvaihetta, vaan työmaa vastaa itsenäisesti oman toimintansa johtamisesta ja suunnittelusta.

Tuottavuusloikka-hankkeiden suunnitellut toimenpiteet jaettiin kuuteen työpakettiin, joilla tunnistettuja pullonkauloja pyrittiin ratkaisemaan:

- Työpaketissa yksi analysoitiin puukerrostalon nykytila ja arvioitiin kehityspotentiaalia.
- Työpaketissa kaksi suunniteltiin analyysin pohjalta käytännön toimenpiteitä ja toimenpidesuosituksia kaikille hankkeen osapuolille tuottavuuden parantamiseksi. Keskeisiä keinoja olivat massaräätälöinti, osavalmistuksen edistäminen, töiden siirtäminen tehtaalle ja laskentatyökalujen parantaminen johtamisen ja päätöksenteon tueksi.
- Työpaketissa kolme tutkittiin ja määriteltiin sopimusmalleja ja juridiikkaa, joka mahdollistaa uusien toimintamallien hyödyntämisen hankkeissa.
- Työpaketissa neljä koottiin vakiokirjasto tärkeimmistä hankkeiden aikana syntyneistä vakioiduista detaljeista ja suunnitteluratkaisuista. Vakiokirjaston tuotteet ovat avoimesti saatavilla.
- Työpaketissa viisi keskityttiin arkkitehtuurin kehittämiseen tilaajan, asiakastarpeen ja teollisuuden näkökulmasta.
- Työpaketissa kuusi viestittiin hankkeen tuloksista sidosryhmille.

Hankkeisiin osallistuivat Puutuoteteollisuus ry, Muutostuuli Oy, Tampereen yliopiston Rakennustekniikan ja Arkkitehtuurin yksiköt, Timber Bros Oy, Yrjö ja Hanna- säätiö, Tampereen opiskelija-asuntosäätiö, Jyväskylän kaupunki, Elementti Sampo Oy ja JVR-Rakenne Oy. Hankkeiden testikohteina toimivat TOAS Sr:n Hippos-hanke, johon suunnitellaan yli 600 opiskelija-asuntoa. Toisena kohteena on Yrjö- ja Hanna -säätiön Jyväskylässä sijaitseva Kalon-hanke, joka koostuu täydestä puukorttelista. Kaksivuotinen hanke alkoi vuonna 2020 ja päättyi elokuussa 2022. Hankkeen päättymisen jälkeen oli kesällä 2022 tarkoitus aloittaa esimerkkikohteiden rakentaminen.

Hankkeen tavoitteena oli osoittaa 20 %:n tuottavuuspotentiaali teollisessa tilaelementtirakentamisessa ja parantaa koko rakennusalan tuottavuutta sekä tarjota kohtuuhintaisia mutta laadukkaita ratkaisuja asiakkaille.



Kuva 4. Asuntoaloitukset talotyypeittäin.

1.2. Puukerrostalorakentaminen Suomessa

Suurimmat puurakentamisen kasvumahdollisuudet Suomessa ovat julkisessa rakentamisessa, kerrostalo-, lisäkerros- ja täydennysrakentamisessa, piha- ja ympäristörakentamisessa, lähiötalojen julkisivujen energiakorjauksissa sekä hallimaisten rakennusten ja siltojen rakentamisessa.

Puurakentamista edistävät yleinen huoli ilmastosta ja ekologinen ajattelutapa. Ympäristöministeriön tavoitteena on, että niin rakennusten hiilijalanjälki kuin myös -kädenjälki otetaan huomioon rakentamisen säädöksissä 2020-luvun puoliväliin mennessä. Kotimaisena, paikallisena, uusiutuvana ja ympäristöystävällisenä rakennusmateriaalina puu tulee olemaan yhä suositumpi raaka-aine. 60 % Suomen kunnista on kirjannut puurakentamisen edistämisen kuntastrategiaansa (2019). Puurakentamisen alueita kaavoitetaan yhä enemmän eri puolille Suomea.

Puukerrostalorakentamista on Suomessa kehitetty voimakkaasti 1990-luvun alusta lähtien yhteistyössä muiden EU-maiden kanssa. Vuonna 1997 Suomen palomääräykset mahdollistivat puun käytön rakennusten rungoissa ja julkisivuissa aina nelikerroksisiin rakennuksiin saakka. Palomääräyksiämme muutettiin vuonna 2011, jolloin puun käyttö tuli mahdolliseksi myös 5–8-kerroksisissa puurunkoisissa ja puujulkisivuisissa asuin- ja työpaikkarakennuksissa.

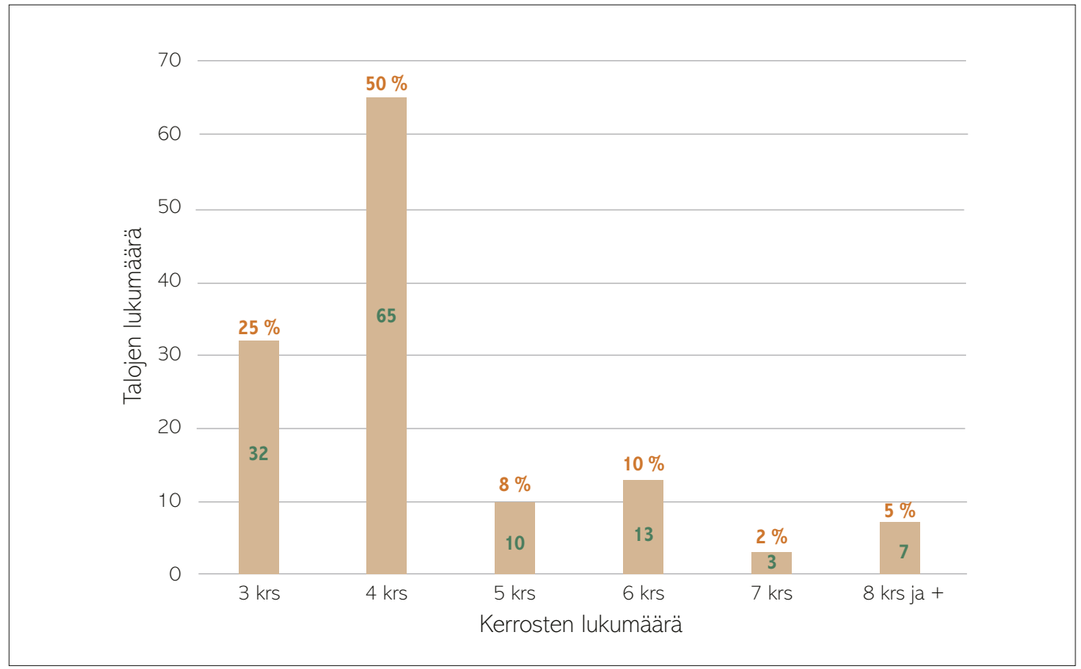
Nykyisten palomääräysten (1.1.2018–) taulukkomitoituksen mukaan voidaan suunnitella ja rakentaa jopa kahdeksankerroksisia puurunkoisia ja -julkisivuisia asuin- ja työpaikkarakennuksia sekä majoitus-, palvelu- ja hoitorakennuksia. Toiminnallisen paloturvallisuustarkastelun avulla (paloluokassa P0) myös yli kahdeksankerroksiset puurakennukset ovat mahdollisia. Suomessa yli kaksikerroksiset puurakennukset tulee varustaa automaattisella sammutuslaitteistolla.

Kerrosalan mukaan laskettuna Suomen rakennuskannasta 65 % on asuinrakentamista. Maassamme on noin 3,1 miljoonaa rekisteröityä asuntoa, ja viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana asuinrakennuskantamme on uudistunut noin prosentin vuosivauhdilla. Suomi on Espanjan jälkeen Euroopan kerrostalovaltaisin maa: noin 47 % Suomen kaikista asunnoista on kerrostaloissa. Vuosina 2018–2021 uudisasuntojen määrä on kohonnut noin 46 000 asuntoon per vuosi. Näistä kerrostaloasuntojen osuus (noin 36 000 asuntoa) on ollut suurin. Vuosittain uudisasunnoista kolme neljäsosaa rakennetaan edelleen kerrostaloihin.

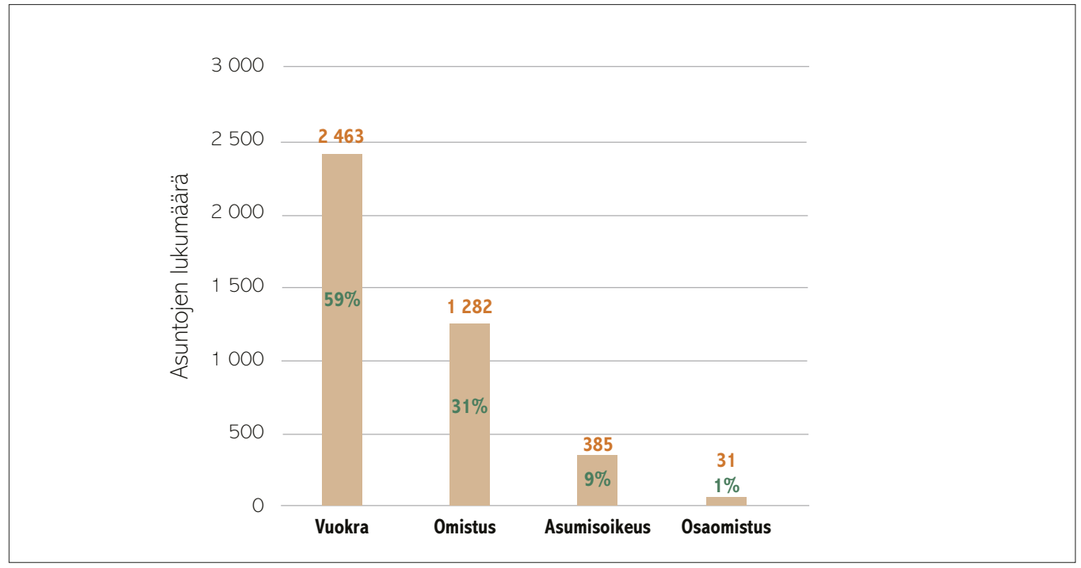
Suomen yli kaksikerroksisista puukerrostaloista noin 60 % on vuokra-asuntoja. Viime aikoina omistus- ja asumisoikeusmuotoiset puukerrostalohankkeet ovat lisääntyneet.

Suurin osa Suomen ensimmäisistä asuinpuukerrostaloista on rakennettu niin kutsutulla platform-frame-järjestelmällä. Rakennustapa perustuu kerroksittaiseen rankarunkorakentamiseen, jossa runko tehdään yleensä eriasteisia valmiselementtejä (pien- tai suurelementtejä) hyödyntäen. Suurelementtien käyttö puukerrostaloissa on nykyisin hyvin yleistä. Rankarunkona on käytetty myös liimapuuta. Myös erilaiset sekarunkojärjestelmät ovat mahdollisia. Suomalaisissa puukerrostaloissa käytetään yleisesti puujulkisivuja, mutta myös muut julkisivuratkaisut ovat mahdollisia.

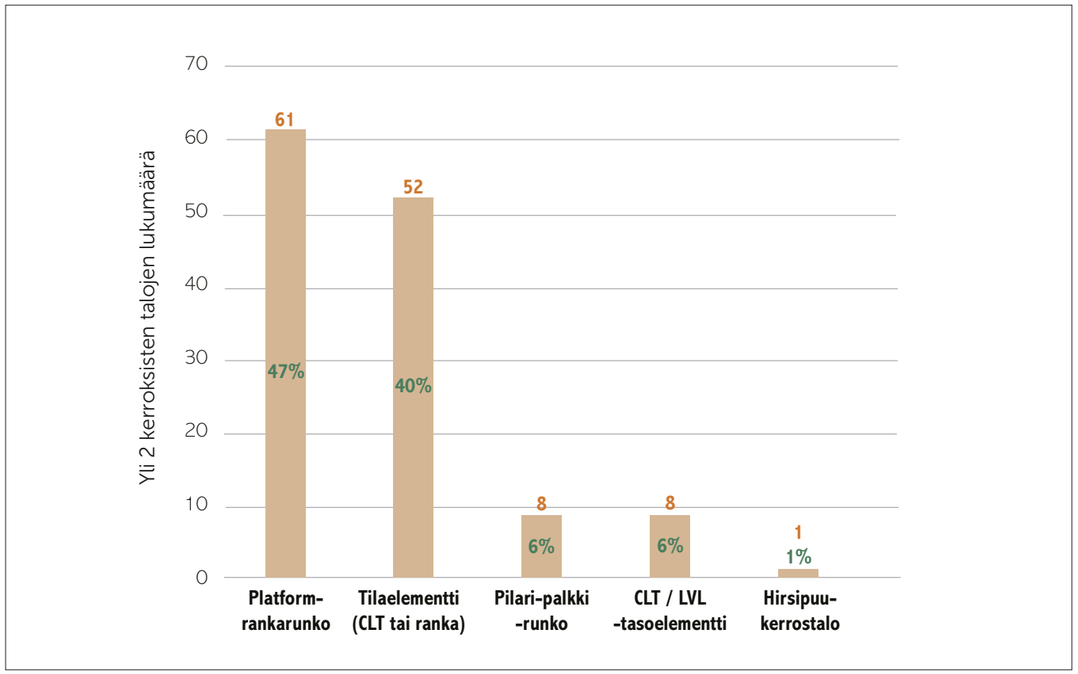
Viime vuosina Suomen puukerrostalorakentamista on hallinnut CLT-tekniikka. CLT ja LVL ovat kilpailukykyisiä erityisesti korkeissa puukerrostaloissa suurelementteinä ja tilaelementteinä, sillä



Kuva 5. Puukerrostalojen korkeudet.



Kuva 6. Asuntojen omistusmuodot.



Kuva 7. Puukerrostalojen runkoratkaisut.

ne ovat ilmatiiviitä, niillä on hyvät jäykistysominaisuudet ja niiden ansiosta rungon painuma on vähäistä. Suomessa on tehty muutama puukerrostalokohde myös LVL:ään perustuvalla pilari-palkki-ripalaatta-systeemillä. Järjestelmä on pitkälle konseptoitu, ja se soveltuu varsinkin 3–4-kerroksisiin puisiin asuinkerrostaloihin ja toimistorakennuksiin. Pilari-palkkirunkoon soveltuu hyvin myös liimapuu. Vuoden 2013 jälkeen Suomen puukerrostalorakentamista on hallinnut tilaelementteihin perustuva teollinen puurakentaminen. Tilaelementtipuukerrostalojen osuus rakennetuista yli kaksikerroksisista puukerrostaloista on noin 40 %.

1.3. Tilaelementtirakentamisella tuottavuutta

Ennen kuin talon suunnittelu aloitetaan, on tärkeää tietää puurakennuksen runkojärjestelmä ja mahdollinen elementtitoimittaja, joka kannattaa myös ottaa mukaan suunnitteluun. Tämä on tärkeää erityisesti tilaelementtirakentamisessa, sillä elementtijako vaikuttaa olennaisesti asuntopohjien suunnitteluun.

Yleensä tilaaja esittää oman asuntojakauma- ja huonekokotoiveensa. Kustannustehokkainta on, jos elementti- ja asuntosuunnittelussa sekä -tuotannossa saadaan aikaan paljon toistoa, pitkiä sarjoja sekä automaatiota. Tuotannon tulisi olla autoteollisuuden kaltaista kokoonpano- ja sarjatuotantoteollisuutta, eikä ”paikalla rakentamista tehtaalla”.

Märkätilojen (WC- ja kylpyhuoneiden ja keittiöiden) tilaelementit ovat kalliimpia kuin kuivien asuintilojen (makuuhuoneet, olohuoneet). Pienet asunnot ovat suhteessa kalliimpia kuin suuret asunnot, koska niissä märkätilojen suhteellinen osuus on suurempi.

Kustannuksiltaan olisi edullista, että päällekkäiset kerrokset olisivat pohjaratkaisuiltaan samanlaisia. Tämä on suositeltavaa myös LVIS-hormivarausten vuoksi. Märkätilojen (kylpyhuoneet ja keittiöt) sijoittelussa kannattaa talotekniikkareititykset ja -asennukset miettiä huolella, jotta voidaan välttää välipohjapalkkien lävistykset ja vaikeat viemäriasennukset sekä elementtitehtaalla että työmaalla. Ihanteellisesti talotekninen pystyroilo sijaitsee tilaelementin porraskäytävän puoleisella seinustalla siten, että asennuksiin pääsee käsiksi porraskäytävän puolelta. Asennusten kannalta on myös suositeltavaa, että WC tai kylpyhuone ja keittiö sijaitsevat samassa tilaelementissä ja että kummankin tilan viemäröinnit voidaan kuljettaa välipohjien kantavien palkkien väleissä roiloon saakka. Ihannetapauksessa WC-istuin on suoraan seinään kiinnitettävä ja sijoitettu roilon ja WC-tilan väliseen seinään.

Tilaelementtien suunnitteluun vaikuttavat myös maantiekuljetuksen asettamat rajoitukset sekä tilaelementtien paino. Näistä löytyy lisätietoa tämän julkaisun luvusta 5 (Logistiikka).

Puukerrostalorakentamisessa on hyvä muistaa myös maankäyttö- ja rakennuslain mahdollistamat erityishelpotukset, kuten paksumpien väliseinien ylitysoikeus kerrosalaa laskettaessa.

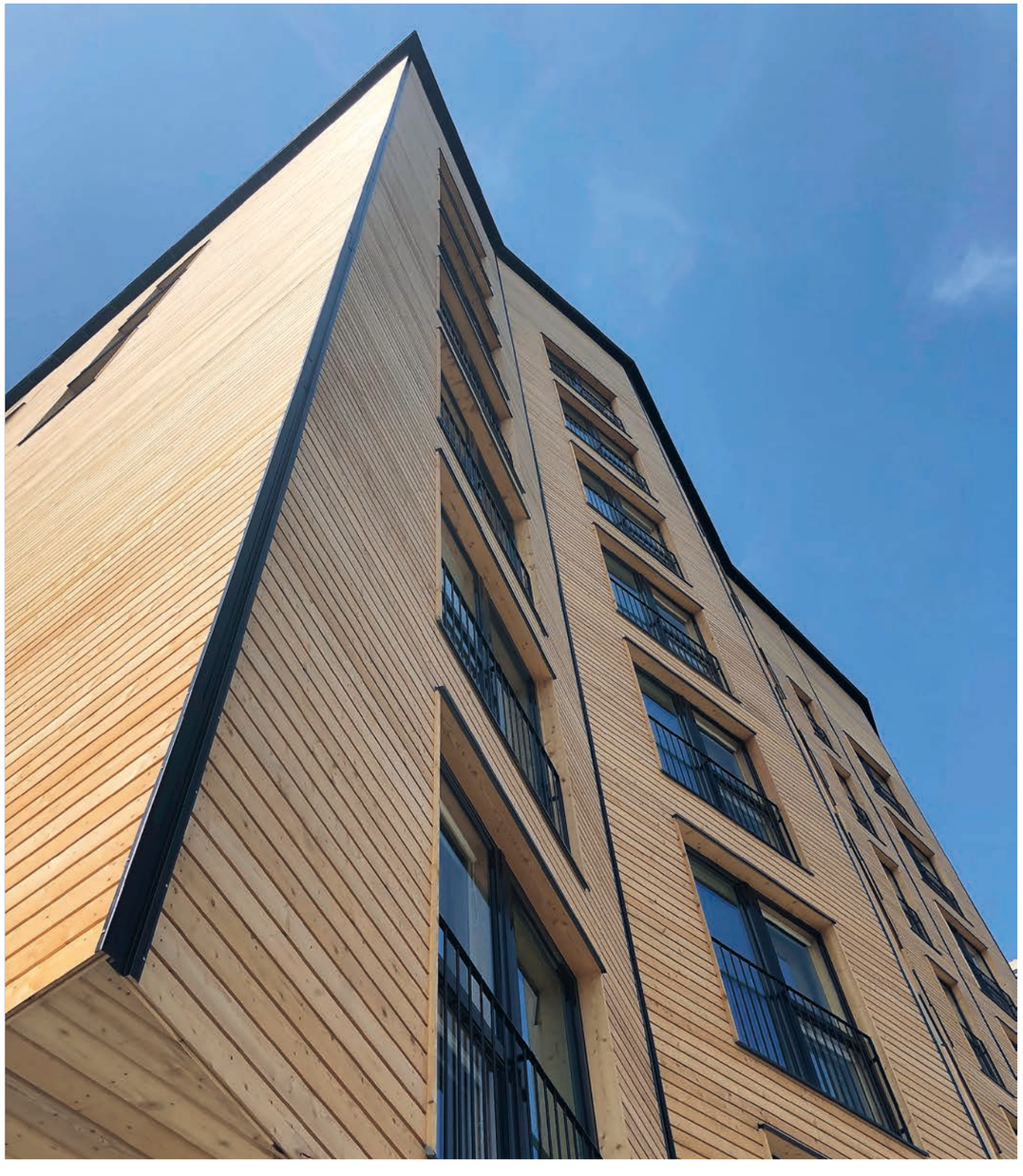
Kuva: Markku Karjalainen

Kuva 8. CLT-runkoisia tilaelementtejä valmistetaan suureen opiskelija-asuntolakohteeseen Itävallassa.

Kuva: Markku Karjalainen

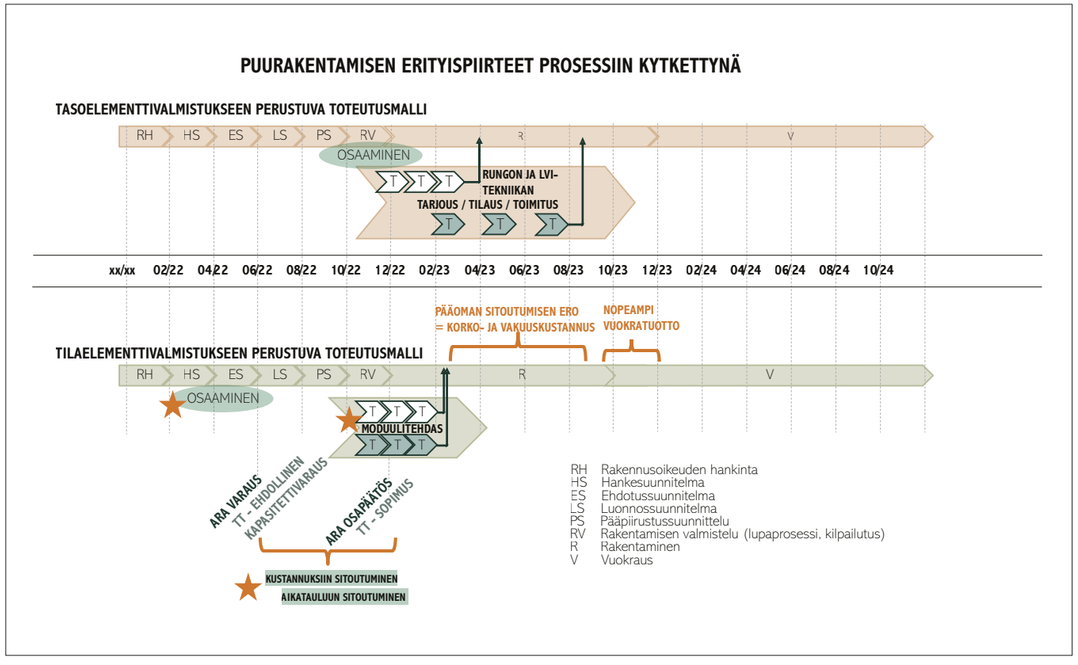
Kuva 9. Tilaelementtien lattiatasojen tekoa Itävallassa.

2 Hankemuoto ja sopimusmalli



TOAS Kauppi. Kuva: Marko Kallio

Tilaelementtikerrostalorakentamisessa on tärkeää valita oikeanlainen hanke- ja sopimusmalli, jotta päästään hyödyntämään puurakentamisen etuja. Seuraavaksi avataan eri hankemallien dynamiikkaa ja kerrotaan yhden mallin avulla siitä, miten tilaelementtirakentamisen tehokkuutta voidaan hyödyntää.



Kuva 1. Tilaelementtirakentamisen sisältämä tuottavuuden noston potentiaali.

Kuvassa 1 on esitetty perinteisen hankkeen vaiheet. Haasteina perinteisen hankkeen arvontuotannossa ovat työmaan ulkopuolella tapahtuvan työn arvottaminen ja mahdollisen ”tuplakatteen” tai riskivarausten muodostuminen. Riskivarauksia saattaa muodostua silloin, kun toimija tarjoaa sisältöä tai tuotetta, jota ei ole aiemmin tehnyt tai tarjonnut. Riskivarauksen pienentämiseksi on hyvin tärkeää tehdä työn alkuvalmistelut yhdessä, pilkkoa työ ja hankinnat pienempiin osiin ja varmistaa, että tietoa on aidosti kerääntynyt tarpeeksi ennen päätöksentekovaiheita.

2.1. Kalon-hankkeen KVR-toteutus

Tuottavuusloikka-kehityshankkeen kaksi kohdetta, Kalon ja Hippos, toteutetaan erilaisilla sopimus- ja toteutusmalleilla. Jyväskylän Kalonissa JVR-Rakenne Oy toteuttaa kohteen KVR-sopimuksella, jossa koko toimituksen kokonaisvastuu suunnittelun ohjauksesta, hankinnoista ja riskeistä lähtien on toimittajan vastuulla. JVR pyrkii purkamaan markkinan epävarmuutta laajentumalla arvoketjussa ja toteuttamalla suurempia osia kokonaisuudesta omana työnä. ProModules Oy valmistaa elementit, jotka ovat koko kohteen suurin yksittäinen hankinta. JVR toteuttaa omana työnä myös monia muita töitä, joita perinteisesti alihankitaan toisaalta. Yksi esimerkki on oma LVIA-töiden osasto, joka toteuttaa kohteiden talotekniset työt.

Suurempi oman työn osuus kasvattaa kiinteiden kustannusten osuutta ja riskiä markkinatilanteen muutoksille, mutta vähentää alihankkijoiden hinnoittelun aiheuttamaa riskiä. Varsinkin alkuvaiheessa on koettu, että oman työn osuutta kasvattamalla saadaan

Kuva: Collaboratorio Oy

Kuva 2. Kuokkalan Kalon.

aikaan kilpailukykyinen ja ennakoitava hinta. Toisaalta kaikki toteutukseen ja suunnitteluratkaisuihin liittyvät riskit ovat tällöin toimittajan kannettavana.

Toinen merkittävä kokonaistoimituksen etu on se, että kun toteutus on omissa käsissä, myös kehitystyö on helpompaa. Tilaelementtirakentamisen ratkaisuja voi olla hankalaa jalkauttaa, jos muut osapuolet eivät ole sitoutuneet kehitysesitysten jatkojalostamiseen ja toteuttamiseen. Tällainen tilanne voi esimerkiksi olla, jos kilpailutettu alihankkija ei strategisesti tavoittele laajempaa tilaelementtirakentamisen markkinaosuutta tai jos toimijat on valittu kohteeseen hinnan perusteella.

KVR-toteutus on myös helppo tilaajalle. Usein tilaajalla on oma pieni organisaationsa, eikä hankkeen johtamiseen ole käytettävässä merkittäviä omia resursseja. Monille tilaajille toteutettavat puukerrostalot ovat ensimmäisiä puukohteita. Silloin toivotaan, että toimittaja kantaisi mahdollisimman ison osan kohteen toteutuksen riskeistä, koska tilaajalla itsellään ei ole vielä osaamista ja/tai kokemusta hankkeen riskeistä. Riskien kantamisesta ollaan myös valmiita maksamaan korkeampi palkkio toimittajille.

KVR-toimituksen arvo on toimittajalle yli kaksinkertainen verrattuna tuoteosatoimitukseen tilaelementtikerrostalossa. Tämä johtaa kaupallisesti merkittävästi suurempaan rahoitustarpeeseen, yli kaksinkertaiseen vakuustarpeeseen ja muutenkin liikevaihdollisesti suurempaan toimintaan. Investoinnit ja kehitystoiminta tulee kohdistaa tilaelementtitehtaan lisäksi työmaatoimintoihin ja hankekehitykseen.

Tilaelementtitoimituksessa riittää, että toimittajalla on merkittävää osaamista tuoteosien tehokkaasta tuotannosta ja toimituksesta sekä riittävää kokemusta yhteistyöstä muun hankkeen ja tilaajan kanssa. KVR-toimituksessa toimittajalla tulee puolestaan olla osaaminen ja ammattitaito hankekehityksestä, suunnittelun ohjaamisesta, rakentamisesta työmaalla ja kaikkien edellä kuvattujen yhteensovittamisesta. Näin ollen kyky ja kynnys tarjota

Kuva: Arkkitehtitoimisto Helamaa & Heiskanen Oy

Kuva 3. TOAS Hippos.

KVR-toimituksia on huomattavasti korkeampi verrattuna tuoteosatoimituksen tarjoamiseen.

KVR-kilpailuun osallistuminen on myös suhteellisen kallista. Jotta tilaaja voi vertailla saatuja esityksiä, toimijoiden täytyy laatia omista esityksistään suhteellisen kattavat arkkitehtiluonnokset, rakenne-esitykset ja toimitussisällöt. Tämä voi maksaa kymmeniä tuhansia euroja.

KVR-toimituksissa alalletulokynnys on siis merkittävästi korkeampi kuin tuoteosatoimituksissa. Siksi kehittyvässä markkinatilanteessa on vain vähän tahoja, jotka kykenevät tarjoamaan kohteita kokonaistoimituksina. KVR:n voidaan ajatella toimivan hyvin yksinkertaisissa kohteissa, joissa tilaaja kykenee määrittelemään selkeästi ja yksiselitteisesti kohteensa tavoitteet ja tarvitun sisällön. Tällöin saadut KVR-esitykset ovat vertailukelpoisia ja tilaaja saa todennäköisemmin sen, mitä on pyrkinytkin ostamaan. KVR-tarjoukset ovat myös tyypillisesti kilpailukykyisempiä tilanteessa, jossa markkina ei ole ylikuumentunut.

2.2. Hippos-hankkeen allianssimalli

TOAS toteuttaa Hippos-hankettaan allianssihankkeena. Alkuperäinen alliansi koostuu tilaajasta, pääurakoitsijasta ja tärkeimmistä suunnitteluosapuolista. Allianssin idea on, että kohteelle ei sovita kiinteää hintaa vaan johtamisjärjestelmä, jonka mukaan kohteen riskit ja palkkiot jaetaan. Käytännössä toimittajat tarjoavat kilpailutusvaiheessa tilaajalle osaamistaan, jota vertaillaan erilaisissa työpajoissa perinteisten referenssien lisäksi. Toiseksi toimittajat tarjoavat palkkioprosenttia, jolla he tekisivät oman osuutensa hankkeesta. Alliansi on jaettu kahteen vaiheeseen: kehitys- ja toteutusvaiheeseen. Kehitysvaiheen aikana laaditaan kohteen suunnitelmat ja hankkeen tavoitebudjetti. Jos alliansi hyväksyy kehitysvaiheen tulokset, siirrytään itse toteutusallianssiin.

Hippos-hankkeessa puutuoteosatoimittaja ei alun perin ollut allianssin jäsen. Hankkeen aikana on pohdittu laajalti, miten tuo-

teosatoimittaja kannattaisi sitoa allianssiin eli mikä olisi allianssin kannalta järkevin toimintatapa. Yhtenä vaihtoehtona on ottaa tuoteosatoimittaja täydeksi osapuoleksi allianssiin. Vaihtoehtoa puoltaa se, että rakennuksen asuntojen osalta tuoteosatoimituksen arvo on merkittävä. Tällöin suurin osa toimituksesta tulee tuoteosatoimittajalta ja käytännössä kehitysvaiheen suunnitteluratkaisut, ratkaisujen hinta- ja toteutettavuusvertailut ja myös muu asuntojen tuotekehitys ovat hyvin kytkeytyneet tilaelementtitoimitukseen. Toisaalta toimittaja sitoutuu silloin täysimääräisesti yhteisvastuullisesti hankkeen riskeihin ja tulokseen. Toimittajariskin hallinnan takia kaikki osapuolet eivät nähneet tätä automaattisesti hyvänä vaihtoehtona, ja hankkeen aikana toimittajariski toteutuikin Elementti Sampo Oy:n osalta.

Toisena vaihtoehtona on, että tilaaja ja tilaelementtitoimittaja muodostavat oman allianssinsa ja toimittaja otetaan mukaan myös ”pääallianssiin” ennalta määrätyllä osuudella, esimerkiksi selkeiden hankintakokonaisuuksien, kuten kiintokalusteiden, märkätilaelementtien tai lattiamateriaalien hankintahinnan suuruisella osuudella. Tällä tavoitellaan sitä, että pääallianssin riski hankkeessa olisi rajatumpi eli käytännössä tilaaja ottaisi kantaakseen suuremman osan toimittajariskistä. Toisaalta tällöin tuoteosatoimittaja ja tilaaja saavat myös vastaavasti isomman osuuden koko kohteen palkkiosta. Tämän mallin heikkous on sen juridinen monimutkaisuus, eikä mallista ole olemassa olevaa kokemusta. Pää- ja erillisallianssi muodostaisivat myös ilmeisen tosiasiallisen kytkennän toisiinsa. Kaikki mahdolliset velvoitteet ja vaateet kulkisivat tilaajan sopimussuhteen kautta. Tämän mallin simulointi kaikissa eri skenaarioissa osoittautui melko monimutkaiseksi.

Kolmantena vaihtoehtona ovat perinteiset hankinnat RYHT- tai YSE-sopimuksen pohjalta. Mallia täydennetään erillisellä kannustinjärjestelmällä, jossa tuoteosatoimittaja voi onnistuessaan saada vastaavia bonuksia kuin varsinaisen allianssin jäsenetkin. Perinteisen hankintamallin haasteena on puolestaan se, sitooko se toimijan riittävissä määrin yhteistoimintaan ja kehitystyöhön muun allianssin kanssa, kun yksi osapuoli toimii kiinteällä hinnalla ja muilla on tietyssä mielessä vapaampi palkkiomalli. Sopimusten valmistelu vaatii erityistä huolellisuutta, jotta kaikkien osapuolien intressit saadaan mahdollisimman yhteneväisiksi ja kaikilla on hyvät kannustimet osallistua yhteiseen innovointiin ja kehittämiseen.

TOAS osti ensimmäiset kaksi taloa tilaajan erillishankintana perinteisellä hankintasopimuksella. Sopimusta laajennettiin erillisellä kannustinjärjestelmällä. Tuotteiden valmistus alkaa alkuvuodesta 2023.

2.3. Tilaelementtirakentamisen erityispiirteet

Edellä mainittujen sopimuksellisten pohdintojen ratkaisemiseksi Tuottavuusloikka-hankkeessa tutkittiin sopimusmalleja, joissa riskit ja tuotot olisivat tasapainossa sen mukaan, miten osapuolet tosiasiassa tuottavat arvoa hankkeelle. Eri mallien vertailun tulisi olla selkeää myös tilaajalle, jotta he pystyvät valitsemaan itselleen sopivimman sopimusmallin.

Tilaelementtirakentamisessa on omat erityispiirteensä, jotka on otettava huomioon sopimusmallia valittaessa:

Osaaminen

Osaaminen ja osaamisen oikea-aikainen hyödyntäminen ovat puurakentamishankkeiden menestystekijöitä. Puurakentamishanke voidaan toteuttaa betonirakentamista vastaavalla teknisellä mallilla eli tasoelementeillä, jolloin osaaminen on samantyyppistä kuin betonirakentamisessa. Jos puurakennushanke toteutetaan moduulirakenteisena, teknistä, taloudellista ja liiketoiminnallista osaamista tulee olla jo hankesuunnitteluvaiheessa, jotta osataan määrittää ja rajata alkavaa suunnittelutyötä. Suunnittelun ja sen oikea-aikaisuuden merkitystä avataan tämän julkaisun luvussa 3.

Kilpailukyky

Betonirakentamisen kilpailukyky perustuu pääosin vakioitujen ratkaisujen käyttämiseen ja hankintojen kilpailuttamiseen. Myös puurakenteisessa tasoelementtitoteutuksessa kilpailukyky perustuu betonirakentamisen malliin. Tilaelementtirakentamisen kilpailukyky syntyy vakioiduista ratkaisuista, maantieteellisestä sijainnista (työkustannus), tehdastoiminnan toteutusmalleista (rakentava yksikkö vs. kokoonpano) ja tuottavuuden jatkuvasta kehittämisestä (läpimenoaika) sekä paikallisista kumppanuuksista (opitut menetelmät, kustannuksiin sitoutuminen). Perusperiaate on, että työ siirtyy työmaalta tehtaalle. Tämän muutoksen täytyy realisoitua eduksi myös valitussa sopimusmallissa.

Tarjous-Tilaus-Toimitus-prosessit

Betonirakentamisessa urakka- ja suunnittelusopimuksia voidaan allekirjoittaa projektin toteutuksen jo alettua. Tilaelementtirakentamisessa vastaavat sopimukset tulee olla ehdollisina odottamassa ARA:n osapäätöstä tai tilaajan investointipäätöstä. Puukerrostalohankkeen hankeaikataulu muodostuu eri tavalla kuin perinteisen kerrostalohankkeen. Esimerkiksi tilaelementtien valmistaminen alkaa samaan aikaan kuin perustusten teko työmaalla. Tavaroiden toimitusajat tehtaalle voivat olla jopa neljän kuukauden päästä tilauksesta. Tuotteiden hankinta- ja tuotantosuunnitelmat täytyy valmistaa ennen hankinnan aloittamista, ja tälle varataan tyypillisesti noin kahden kuukauden aika tilauksesta. Käytännössä tuotanto elementtitehtaalla kyetään aloittamaan hallitusti keskimäärin puolen vuoden päästä tilauksesta tai muusta sitovasta sitoumuksesta.

Toinen merkittävä asia on, että tilaelementtitehtaan tuotantotehokkuus perustuu korkeaan käyttöasteeseen. Käytännössä elementtitehtaille ei siis jätetä myymättä merkittäviä puskureita. Yhden kerrostalon tuotantoaika tehtaasta riippuen on 2–3 kuukautta. Kärjistetysti sanottuna, jos kohteen elementtien valmistusaikaa ei kyetä hyödyntämään, voi valmistus siirtyä 3 kuukautta eteenpäin alkuperäisestä.

Rahoitus ja vakuuskustannukset

Tilaelementtirakentamisessa suunnittelun ja toteuttamisen kustannukset kirjautuvat projektiin aiemmin kuin betonirakentamisessa ja kassavirta on kauemmin negatiivisena. Tätä lisäkustannusta voidaan jakaa sopimusteknisesti toimijoiden välillä.

Aikataulu

Betonirakentamisessa aikataulut ovat projektista riippumatta hyvin samanlaisia ja ne ovat verkoston toimijoiden tiedossa. Verkosto kytkeytyy projektiaikatauluun jo tutuiksi tulleiden toimintamallien avulla. Tilaelementtirakentamisessa verkoston osapuolet ovat erittäin integroituja aikatauluihin ja aikataululliset muutokset vaikuttavat välittömästi suuresti muun muassa toimijoiden kilpailukykyyn (kapasiteetin optimointi).

ARA-päätöksenteko vs. tehdaskapasiteetin varaaminen ja käyttäminen

Betonirakentamisessa kustannushallinta ja kustannuksiin sitoutuminen perustuu toteutuneisiin kohteisiin (vakioidut ratkaisut). Tilaelementtirakentamisessa tuoteosatoimijat pitäisi kytkeä hankkeisiin kustannuksiin sitoutumisen ja tehdaskapasiteetin varaamisen takia jo alkuvaiheessa, mutta tällöin tehdastoimituksen kilpailuttaminen ei ole aikataululliseesti enää useimmiten mahdollista.

Kate

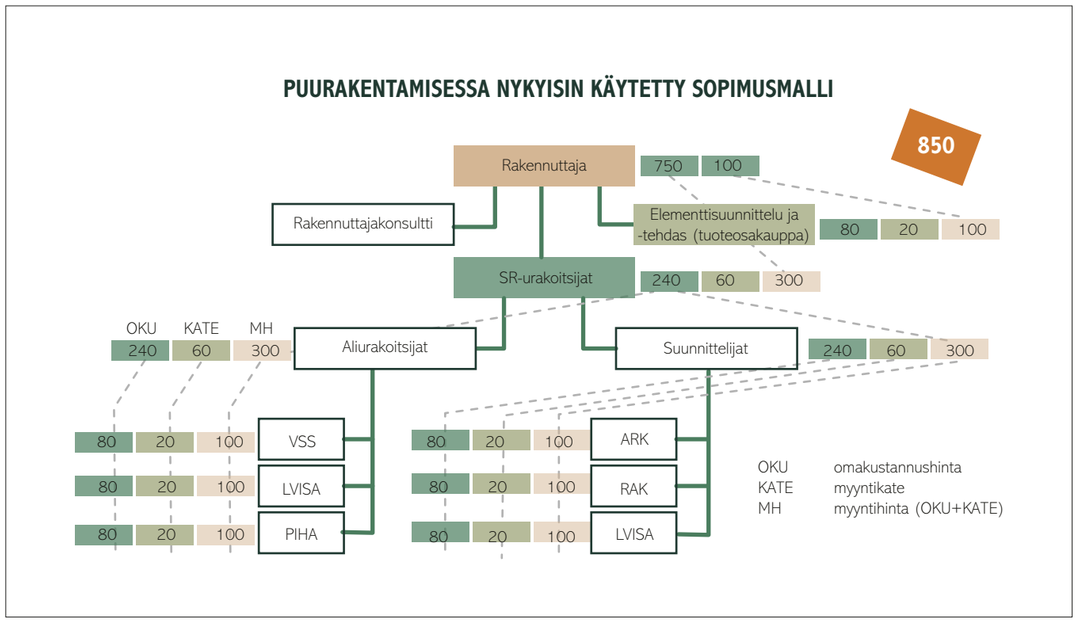
Betonirakentamisessa tasoelementit toimitetaan suoraan tehtaalta työmaalle ja pääurakoitsija lisää hankintojen päälle omat katetavoitteensa. Tilaelementtirakentamisessa moduulitehdas hankkii vastaavat tasoelementit ja asettaa omat katteensa hankintojen päälle. Moduulitehtaan osuus on noin 60 % kaikista hankinnoista. Mikäli pääurakoitsija asettaa näiden hankintojen päälle omat katteensa, kasvavat tilaajan kokonaiskustannukset edellä mainittujen liiketoimintamallien ja vastuukysymysten johdosta.

Valitun sopimusmallin tulisi kyetä vastaamaan edellä kuvattuihin erikoistarpeisiin.

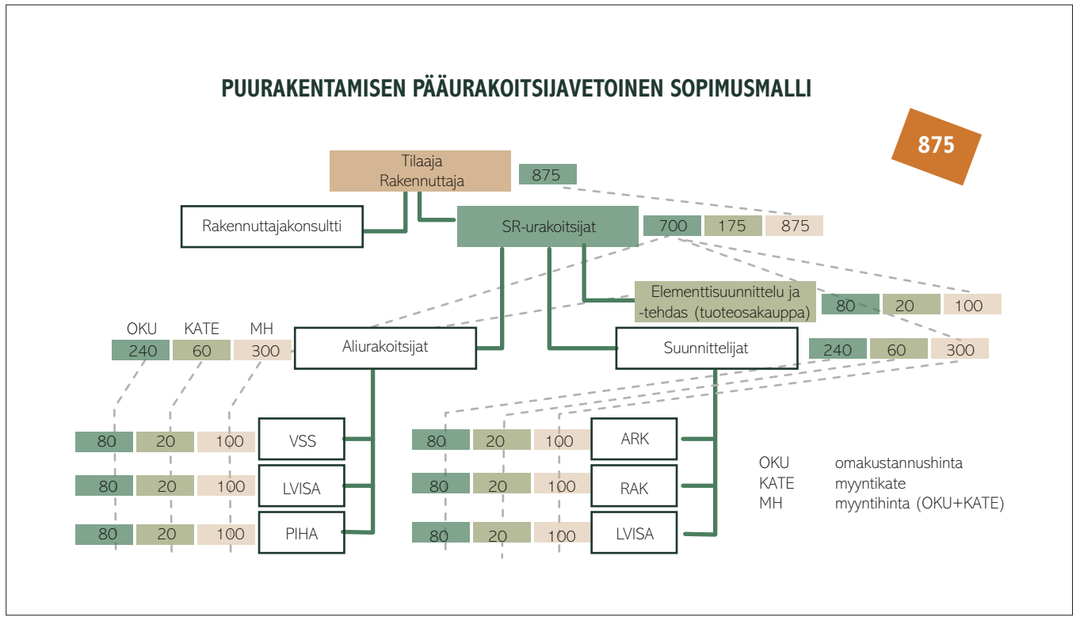
2.4. Verkostopohjainen sopimusmalli

Alan ja tilaajien yhteisenä tavoitteena on, että mahdollisimman moni toimija kykenisi tarjoamaan kohteita ja että toimijat pystyisivät keskittymään oman ydinosaamisensa kehittämiseen. Perinteiset kokonaistoimitukset vaativat merkittävästi isompia resursseja kuin tuoteosatoimitukset.

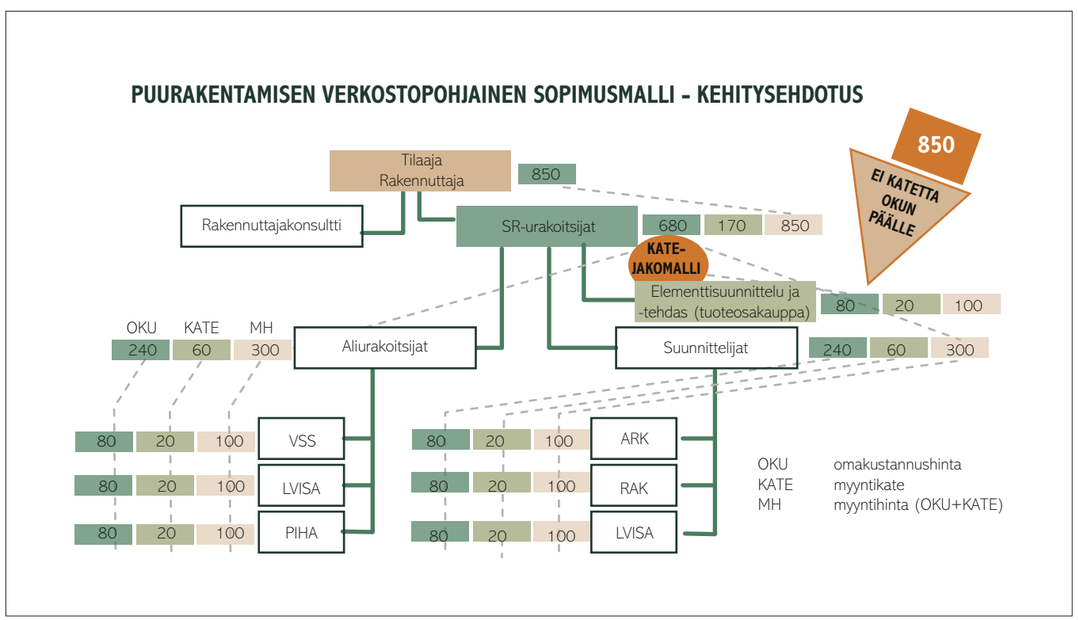
Kuvassa 4 esitetään nykyisin monissa kohteissa käytössä oleva sopimusmalli, jossa tilaaja hankkii joitain osatoimituksia erillishankintana. Tällaisia hankintoja voivat olla esimerkiksi pesulan varusteet, lukitus tai hissi. Kokonaisuuden kannalta hankintojen osuus on kuitenkin maltillinen. Kuvassa tummanvihreä laatikko edustaa esimerkinomaista omakustannushintaa (OKU), vaaleanvihreä katetta ja vaaleanruskea laatikko myyntihintaa, joissa OKU ja kate on laskettu yhteen.



Kuva 4. Puurakentamisessa nykyisin käytetty sopimusmalli. Tilaaja ottaa vastuuta ja hankkii suoraan osan toteutuksista, mikä vähentää katetta katteen päälle -mallia.



Kuva 5. Puurakentamisen pääurakoitsijavetoinen sopimusmalli. Katetta kertyy kaikkien hankintojen päälle.



Kuva 6. Kehitysehdotus puurakentamisen verkostopohjaiseksi sopimusmalliksi.

HANKEMUOTO JA SOPIMUSMALLI

Myös tilaelementtikohteissa on käytetty kuvan 4 mukaista jaetun urakan mallia. Elementtitoimituksen osuus on tällöin ollut kymmeniä prosentteja koko hankinnan arvosta. Tällöin tilaelementtitoimituksessa säästetyn katteen arvo on useita prosentteja koko hankinnan arvosta. Toisaalta tilaaja ottaa tällöin kokonaisvastuun erillishankinnasta ja joutuu resursoimaan hankkeen johtamisen.

Kaikki urakoitsijat eivät ole halukkaita tarjoamaan kohteita, joissa tilaelementin arvon poisjäännin takia pääurakan arvo jää pieneksi. Jaettu urakka koetaan myös riskialttiimmaksi vaihtoehdoksi, koska tilaajan erillishankinta eli tilaelementtitoimitus tahdistaa koko työmaan toiminnan ja usean toimijan mallissa urakkarajojen määrä kasvaa merkittävästi.

Urakoitsijan näkökulmasta uudella mallilla toiminen lisää aluksi riskejä perinteiseen urakkaan verrattuna, koska uusi malli tulee ottaa käyttöön eikä siitä ole vielä kokemuksia. Varsinkin viime vuosien hyvässä markkinatilanteessa lisääntyneiden riskien määrä sekä merkittävästi pienentynyt kauppahinta ovat vähentäneet huomattavasti urakoitsijoiden kiinnostusta tarjota pääurakkaa jaetun urakan kohteisiin.

Tilaajat voivat useista eri syistä haluta ostaa kokonaistoimituksen urakoitsijalta. Tällöin kaikkien hankintojen päälle lasketaan palkkio. Esimerkiksi KVR-sopimus on käytännössä kuvassa 5 esitetyn mallin mukainen. Tämän mallin valintaa puoltavat useat seikat, kuten se, että urakoitsija vastaa toimituksesta kokonaisuutena eivätkä urakkarajat ole haaste tilaajalle. Toisaalta jos tilaajaorganisaatiossa on vähän henkilökuntaa tai organisaatiolla ei ole omaa osaamista, voi olla perusteltua hankkia kohde kokonaistoimituksena. Lisäksi tässä esitetyssä staattisessa tarkastelussa ei oteta huomioon sitä, että kokonaistoimittaja kykenee kehittämään kokonaisuutta osien optimoinnin sijasta. Tästä syystä kokonaistoimittaja voi löytää kilpailukykyä parantavia ratkaisuja verrattuna osatoimittajiin.

Toisaalta kokonaistoimituksen kokoluokka kasvaa niin suureksi, että harvat uudet toimijat pystyvät tarjoamaan kokonaistoimituksia varsinkaan korttelikokonaisuuksiin. Kokonaistoimitus vaatii osaamista puuelementtien valmistamisesta sekä lisäksi hankekehityksestä, suunnittelusta, suunnittelun ohjaamisesta, työmaatoiminnoista, rahoituksesta ja isompien projektien johtamisesta. Tätä osaamista ei ole helppoa hankkia, eivätkä läheskään kaikki toimijat siksi kykene tarjoamaan kokonaistoimituksia. Jos toimijat lisäksi kehittävät kokonaistoimitusta, jää elementtien valmistamisen kehittäminen vähäisemmäksi eikä tehokkuus nouse nopeimmalla mahdollisella tavalla. Kokonaistoimitukset eivät siis yksin palvele koko toimialan kehittymistä eikä arvoketjujen muodostumista vaan voivat muodostaa alalletulokynnystä.

Tilaelementtitoimituksen pahin haaste voi olla, että sen arvo on merkittävästi suurempi kuin pääurakan. Näin ollen tilaelementtitoimituksesta maksettu toinen kate voi olla useita prosenttiyksikköjä koko hankkeen arvosta.

Kuva 6 esittää verkostopohjaista katteenjakomallia tilaelementtitoimituksiin. Malli on tietyllä tavalla kompromissi kahdesta edellä esitetystä mallista. Käytännössä kaikissa kolmessa mallissa elementinvalmistajan palkkio pysyy samana ja vertailu kohdistuu tilaajan ja urakoitsijan asemaan. Toisena kantavana teemana mallissa on sen läpinäkyvyys. Kun palkkiomalli on avoin, voi tilaaja arvioida paremmin, missä arvo syntyy ja toisaalta missä kustannuksia syntyy.

Kehitysehdotuksen katteenjakomalli on seuraavanlainen: Kohdistetaan kate/riskijako vain tietyille hankintakokonaisuuksille. Tavoitteena on saavuttaa nykyisen sopimusmallin kilpailukyky. Tehdas saa katteen projektin tuloksen ”palautuksina” = sitouttaminen/tulospalkkiomalli. Omakustannushinta (OKU) verkoston jokaiselta toimijalta + 20 %:n kate = myyntihinta (MH).

Jaetussa riskissä ja palkkiossa urakoitsija saa korvausta kokonaisvastuun kantamisesta, mutta toisaalta myös tilaaja saa hintahyötyä suuremman vastuun kantamisesta. Esitetty malli ei vaadi suuria muutoksia sopimuskäytäntöihin. Perinteiset YSE-pohjaiset sopimukset voidaan muokata tavanomaisissa kerrostalokohteissa vastaamaan mallin mukaista toimintaa. Projektinjohtomalli ja erilaiset yhteistoiminnalliset sopimukset voivat myös oikein johdettuna tuottaa saman edun kuin nyt esitetty verkostomalli. Esitetyn mallin etuina ovat kuitenkin sen yksinkertainen käyttöönotto sekä vain pienet muutokset vallitseviin käytäntöihin.

Verkostomallilla läpinäkyvyyttä ja hintahyötyä

Teollinen tehdasvalmistus muuttaa arvonmuodostusta suuresti, eivätkä perinteiset sopimusmallit aina vastaa uuden toimintamallin todellisuutta. Tilaelementtikohteessa jopa yli 60 % tuotetusta arvosta voidaan tehdä tehtaalla. Kärjistetysti sanottuna, jos tämä osuus ostetaan alihankintana 15 %:n katteella, projektin hinta nousee yhdeksällä prosentilla verrattuna tilaajan erillishankintaan.

Tässä luvussa esitetyllä jaetun urakan sopimusmallilla tilaaja näkee ja ymmärtää paremmin, missä kohteen arvo ja kustannukset muodostuvat. Verkostomallissa urakoitsijalle maksetaan korvausta pääurakoitsijana toimimisesta ja hankkeen johtamisesta toisin kuin suorassa jaetussa urakassa. Esitetty verkostomalli on helposti käyttöönotettavissa ja sovellettavissa pienin muutoksin nykyisiin sopimusmalleihin.

3 Suunnittelu

Jyväskylän Puukuokka. Kuva: Mikko Auerniitty

Puurakentamisen kilpailukyky nousee, kun suunnitteluprosessiin otetaan kokonaisvaltaisesti mukaan niin arkkitehtisuunnittelu kuin tuotannon, rakentamisen, tehtaan ja työmaan edustajiakin. Tuottavuutta tehostaa merkittävästi myös, kun suunnittelijoiden käyttöön tuotetaan ennalta mahdollisimman pitkälle vakioituja suunnitteluratkaisuja.

Niin sanotun perinteisen teollisen rakentamisen eli betonirakentamisen prosessi on pitkälle hiottu. Se saadaan vietyä läpi tehokkaasti, vaikka yhteistyö projektin eri toimijoiden välillä olisi vähäistä ja osapuolet toimisivat itsenäisesti. Tällaisessa siiloutuneessa toimintamallissa rakennusprosessin ympärillä toimiva liiketoiminta on niin vakiintunutta, että tietoa kustannuksista, työvaiheista, tuotteiden saatavuudesta, aikatauluista ja rakenneratkaisuista on jokaisen saatavilla riittävästi. Perinteisessä rakentamisessa myös esivalmistetut elementit ovat pääosin yksinkertaisia ja hyvin pitkälle vakioituja.

Teollisen tilaelementtipuurakentamisen esivalmistuksessa tehdyt elementit ovat paljon suurempia ja monimutkaisempia kuin betonirakentamisessa, eivätkä ne ole vielä vakioituja kuin korkeintaan yksittäisen toimittajan omassa tarjoamassa. Teollisen puurakentamisprojektin eri osapuolet eivät saa riittävästi itselleen tärkeää tietoa, mikäli prosessi viedään läpi siiloutuneella toimintamallilla.

Puurakentamisen yhtenä kilpailuhaittana on ollut ja on yhä suureksi koetut riskit. Kokonaisuudesta on tullut kallis useamman osatoimijan käyttämän riskilisän vuoksi. Teollisen puurakentamisen projektitason tehostaminen edellyttää siilojen purkamista. Rakentamisprojektista tulee tehdä suunnitteluvetoinen, jolloin jokainen osapuoli on mukana suunnittelussa mahdollisimman aikaisessa vaiheessa oikein mitoitetulla työpanoksella. Eri osapuolet tulee saattaa oikea-aikaiseen keskusteluyhteyteen, jotta päästään heti syvälle suunnittelutyöhön. Myös valmistettavuuden suunnittelun on oltava osa hankesuunnittelua alusta alkaen. Suunnittelun vakioinnilla riskien määrää voidaan merkittävästi pienentää.

Siiloutuneen projektimallin ja projektin aikataulutuksen lisäksi nykyisessä teollisessa puurakentamisessa on tunnistettu ongelmia suunnitteluprosessin eri toimijoiden välisessä tiedonsiirrossa. Koska suunnitteluprosessin rajapinnat syövät puurakentamisen kilpailukykyä, alalla olisi tilausta yrityksille, jotka pystyisivät ottamaan koko rakennushankkeen olennaisilta osiltaan omaksi toiminnakseen. Tällöin tilaelementteihin perustuvan puurakentamisen kilpailukyky olisi täysin vertailukelpoinen betonirakentamiseen verrattuna.

3.1. Kokonaisvaltainen suunnitteluprosessi

Rakennuksen suunnittelua ohjaavat sen alkuvaiheessa eri osapuolien toiveet ja reunaehdot, jotka liittyvät esimerkiksi asuntosuunnitteluun, rakennusrungon lujuustekniseen toimivuuteen sekä kokonaisuuden hintaan.

Suunnittelun tuottavuutta voidaan parantaa kokonaisvaltaisella suunnitteluprosessilla. Puukerrostalojen kilpailukyvyn kannalta on tärkeää, että kaikki hankkeen osapuolet ymmärtävät, kuinka rakentamiskustannukset muodostuvat ja mitkä ovat teollisen puurakentamisen reunaehdot ja ominaispiirteet. Arkkitehtisuunnittelu on otettava kiinteäksi osaksi myös toteutuksen suunnittelua, ja suunnitteluun on otettava mukaan myös tuotannon, rakentamisen, tehtaan ja työmaan edustajia.

Tilaelementtirakenteisen puukohteen suunnittelu jakautuu tyypillisesti elementtisuunnitteluun ja koko rakennuksen suunnitteluun. On olennaista, että hankkeen vastaava rakennesuunnittelija on mukana projektissa heti alusta asti ja että hän saa käyttöönsä tuotetoimittajan ennalta tunnetut vakioratkaisut.

Hankkeessa on myös selvennettävä vastuiden jakautuminen näiden kahden eri osapuolen kesken. Erityisesti elementtien liitosten suunnittelu osana koko rakennuksen jäykistämissuunnittelua on yksi tärkeimmistä rajapinnoista, jossa tiedon pitää kulkea heti ehdotussuunnitteluvaiheessa. Rakennuksen rungon mekaanisen käyttäytymisen hallinta liittyy kiinteästi tilaratkaisuihin sekä arkkitehtuuriin. Esimerkiksi vaakavoimia perustuksille välittävien seinien sijainti sekä niiden aukotus vaikuttavat suuresti koko rakennuksen jäykkyyteen. Samoin rakennuksen pystykuormien vienti perustuksille asettaa rajoituksia arkkitehtuurille.

Kilpailukykyisessä teollisen puurakentamisen hankkeessa on panostettava systeemitason suunnitteluun, jossa voidaan hyödyntää ja kilpailuttaa vakioituja ja teollisesti valmistettavia tuotteita. Tällöin olennaista on myös talousosaaminen. Hankkeen vetäjänä toimiikin nykyään usein rakennusliikkeen työnjohtaja. Optimitapauksessa hanketta vetävällä henkilöllä pitäisi kuitenkin olla sekä suunnittelu- että talousosaamista. Tämä on saavutettavissa pitkän ammattikokemuksen kautta mutta ennen kaikkea myös lisäämällä tietoutta sekä luomalla vakioituja ratkaisuja ja käytänteitä.

3.2. Suunnittelun ohjaus

Suunnitteluvaiheessa ratkaistaan myös se, kuinka paljon rakennuksesta voidaan valmistaa tehtaalla ja mikä jää työmaan osuudeksi. Lisäksi suunnitteluratkaisut vaikuttavat työn määrään sekä elementtivalmistuksessa että työmaalla. Kun suunnittelun ohjaus on tehokasta, tehdastyön osuutta voidaan kasvattaa ja kokonaistyömäärää vähentää. Keskeisiä suunniteltavia kokonaisuuksia ovat alimman kerroksen rakenne, tilaelementtien päämitat, talotekniset reititykset, käytävän rakenteet ja julkisivu.

Suunnitteluvaihetta ohjaamaan kootaan ryhmä, jossa on arkkitehdin ja rakennesuunnittelijan lisäksi edustajia kaikista talotek-

Kuva: Kimmo Räisänen

Kuva 1. Helsingin Honkasuolla rakennuksia on määrätty puurunkoisiksi ja puujulkisivuisiksi asemakaavalla.

nisistä suunnittelijatahoista sekä tehdas- ja työmaatuotannosta. Tämä ryhmä pohtii eri ratkaisuja tehdas- ja työmaa-asennettavuuden näkökulmista.

Aikaa kannattaa käyttää erityisesti taloteknisten ratkaisujen suunnitteluun. Talotekniikan reitit ja niiden yhteensovitus sekä tehdas- ja työmaatyövaiheet tulee käydä tekniikoittain läpi yhteisessä ryhmässä. Tavoitteena on, että asunnoissa on yksi niin sanottu märkäelementti. Tällöin keittiö, kylpyhuone ja asunnon tekniikkakuilu muodostavat kokonaisuuden, jossa kantavien lattiapalkkien läpivientejä ei tarvita. Lisäksi pyritään siihen, että käytävää palveleva talotekniikka sijaitsee asuntoelementin seinässä, jolloin käytävään ei tarvita alaslaskettua kattoa ja käytäväelementit voidaan tuoda kohteeseen valmiiksi pinnoitettuina. Talotekniikan osalta työmaaosuudeksi jää asuntokerrosten pystysuuntaisten liitosten tekeminen niin sanotuissa tekniikkakuiluissa.

Suunnittelu on kokonaisuuden hallintaa. Siksi alan koulutuksessa on lisättävä tietämystä eri suunnittelualojen välillä, jotta niin rakennesuunnittelija, arkkitehti, LVIS-suunnittelijat kuin tuotannon ja valmistuksen suunnittelijatkin ymmärtävät omien päätöstensä vaikutuksen muiden työhön.

3.3. Arkkitehtisuunnittelun sulautuminen suunnitteluprosessiin

Arkkitehtisuunnitteluun vaikuttavat merkittävästi rakennuspaikan asemakaava määräyksineen, tontin liittyminen ympäristöönsä, ilmansuunnat sekä tilaajan asettamat tavoitteet kohteelle.

Puurakentamista voidaan määrätä asemakaavalla ja asemakaavamääräyksillä niin julkisivujen kuin rakennusrungon osalta. Tästä on olemassa korkeimman hallinto-oikeuden päätös vuodelta 2015. Päätös koski Helsingin kaupungin Honkasuon aluetta, jossa asemakaavassa määrättiin rakennuksia puurunkoisiksi ja puujulkisivuisiksi. Puurakentamista voidaan edistää tehokkaasti myös sitä edellyttävillä tontinluovutusehdoilla.

Asemakaavassa määritellään rakentamisen lähtökohdat ja suuret linjat, jotka vaikuttavat myös rakentamisen kustannuksiin. Tällaisia asioita ovat esimerkiksi:

- rakennusoikeuden määrä
- rakennusten korkeus
- rakennusten perusmassoittelu (runkosyvyys, sisäänkäynnit, porrashuonejärjestelyt, kattomuoto, räystäsratkaisut, parvekejärjestelyt)
- julkisivumateriaalit.

Puukerrostalorakentaminen kasvuun Pirkanmaalla -hankkeen tuloksena on hiljattain ilmestynyt puurakentamisen edistämiseen tähtäävä kaavoitusopas.

Meneillään on myös Puu tulee kaupunkiin -hanke (1.4.2021–30.9.2022), jossa tarkastellaan kaupunkien kokemuksia puukerrostalojen kaavoituksesta ja asemakaavojen toteutuksista. Tarkasteltavina ovat etenkin kaavoitus, tontinluovutus ja rakennusvalvonta.

Hankkeen alustavissa tuloksissa korostuu kaupunkien yksilöllisyys. Kaavojen rinnalla tontinluovutuskäytännöillä on suuri merkitys, etenkin tilanteissa, joissa kaavan eteneminen on epävarmaa. Kaupungit odottavat rakennusten elinkaaripäästöjen ohjausta, koska ne otaksuvat sen olevan tulevaisuudessa tärkeää suoran

Kuva 2. Puurakentamisen kaavoitusopas.

Kuva 3. Puu tulee kaupunkiin -hankkeeseen osallistuu kymmenen kaupunkia.

puurakentamisen edistämisen rinnalla. Toinen laaja aihepiiri ovat kaupunkien omaksumat periaatteet, linjaukset ja strategiat, joilla ne edistävät nimenomaan puurakentamista. Tässä kaupunkikuvalla on suuri merkitys, koska sillä voidaan ilmentää puun erityisluonnetta ja puurakentamisen jatkumoa. Hankkeesta ilmestyy oppaan kaltainen yhteenveto syksyllä 2022.

3.4. Suunnittelun tehostaminen vakioinnilla

Suunnittelun, ja etenkin rakennesuunnittelun, suurimmat ongelmat ja samalla suurimmat tuottavuuskehityksen potentiaalit löytyvät asioista, joista ei ole olemassa yleispätevää ohjeistusta tai näkemystä. Tällaisia ovat esimerkiksi edellä mainitut kerrostalojen jäykistysratkaisujen suunnittelu ja mitoitus sekä elementti- ja kohdesuunnittelijan rajapinnassa olevat liitosratkaisut sekä niiden mitoittaminen. Muilta osin puukerrostalojen rakennesuunnittelu näyttää olevan insinööritoimistoissa nykyään perustyötä.

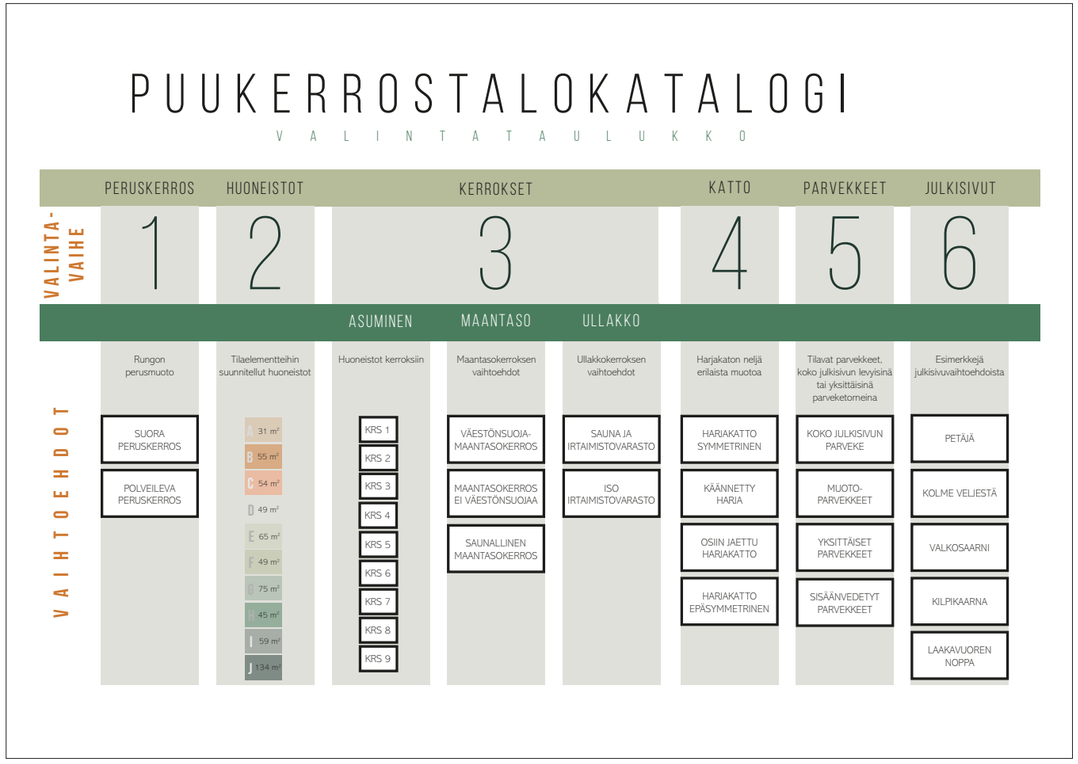
Siksi tuottavuutta voidaan merkittävästi tehostaa, kun suunnittelijoiden käyttöön tuotetaan ennalta mahdollisimman pitkälle vakioituja rakenneratkaisuja. Tällöin suunnittelijan tehtäväksi jää mitoittaa vakioidun ratkaisun mahdolliset parametrit vastaamaan rakennuskohteen vaatimuksia. Kun vakioinnin rinnalla hyödynnetään myös parametristä suunnittelua, saadaan rakennuksen kustannusarvio eri luonnosratkaisuille selvitettyä nopeasti heti suunnittelun alkuvaiheessa.

Tilaelementtirakentaminen tarjoaa erinomaiset edellytykset ratkaisujen pitkälle viedylle vakioinnille sekä parametrisen suunnittelun hyödyntämiselle. Kun tasoelementtirakentamisessa voidaan vakioida esimerkiksi rakenteen materiaalit, mitat sekä liitokset, tilaelementtirakentamisessa voidaan vakioida koko tilaelementti kaikkine rakenneratkaisuineen. Suunnittelijan työ helpottuu, kun suunnitteluohjelmistosta löytyy valmis tilaelementtiobjekti, jonka sisältämät parametrit suunnittelija säätää kohteeseen sopiviksi.

Ratkaisujen vakioinnilla saavutetaan myös se etu, että suunnittelusta tulee yhteensopivaa ja läpinäkyvää ja insinööritoimistojen nykyinen käytäntö tehdä suunnitelmat ”omalla tavallaan” jää historiaan. Koko hanke voidaan viedä läpi yhdellä suunnitelmalla, vaikka hankkeen jokin toimija vaihtuisikin kesken projektin. Nykyisin rakenneratkaisujen mallinnus- ja suunnittelutieto ei ole yleisesti tiedossa, vaan se riippuu suunnittelijasta ja tuotteen valmistajasta.

Vakioratkaisujen suurin etu on se, että kustannusarviot tarkentuvat olennaisesti, koska puurakennuksen suunnitteluprosessin epävarmuudet ja riskit pienenevät merkittävästi.

Tuottavuusloikka-hankkeessa kehitettiin kolme erilaista vakiointiratkaisua suunnitteluprosessin tehokkuuden parantamiseksi: tyyppipuukerrostalokonsepti, standardikirjasto ja parametrista suunnittelua hyödyntävä konfiguraattori. Tyyppipuukerrostalokonseptia on tutkittu ja kehitetty Tampereen yliopiston arkkitehtuurin yksikön puurakentamisen tutkimushankkeissa. Konseptia hyödynnettiin, jatkokehitettiin ja tarkennettiin edelleen Tuottavuusloikka-hankkeessa.



Kuva 4. Puukerrostalokatalogin valintataulukko.

3.5. Tyyppipuukerrostalokonsepti

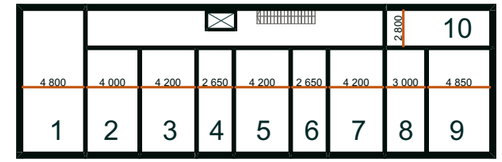
Jokainen rakennuspaikka on omanlaisensa, ja tämä tulee ottaa huomioon puukerrostalon suunnittelussa. ”Tyyppipuukerrostalon” kehittäminen on siksi haastavampaa kuin tyyppipientalon. Katalogimaiset ja tilaelementtirakentamiseen perustuvat vakioidut asuntopohjaratkaisut kuitenkin helpottavat ja nopeuttavat arkkitehtisuunnittelua ja alentavat suunnittelukustannuksia.

Seuraavaksi esitellään hankkeessa kehitetty tyyppipuukerrostalokonsepti, jonka avulla voidaan suunnitella sarjavalmistettava puukerrostalo. Jotta konseptia voidaan hyödyntää suunnittelussa, sen tulee mukautua vaihteleviin rakennustilanteisiin. Puukerrostalokonseptia voidaan käyttää suunnitteluprosessin lähtökohtana ja apuna perusratkaisussa. Kun eri toimijat voivat toistaa vakioituja ratkaisuja, säästetään aikaa ja kustannuksia suunnittelun ja tuotannon eri vaiheissa.

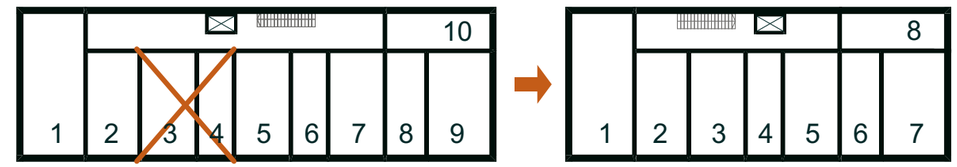
Työkalun avulla voidaan hahmotella rakennuksen perusratkaisu valitsemalla halutut rakennuksen ominaisuudet kuudessa eri vaiheessa. Tuloksena tilaaja saa nopeasti erilaisia kohteeseen sopivia puurakentamisen rakennusvaihtoehtoja. Puukerrostalon valmistaja puolestaan voi sisällyttää tuotevalikoimaansa katalogin sisältämät moduulit ja voi siten standardoida tuotantoaan.

Tyyppikerrostalon rakenteet on valittu niin, että saadaan aikaan toimivia, mahdollisimman yksinkertaisia ratkaisuja. Tällöin rakentaminen suoraviivaistuu ja on edullisempaa. Puiset tilaelementit muodostavat kerrostalon rungon ja samalla huoneistojen rajat. Tilaelementit on sijoitettu päällekkäin, kantavat seinät samankohtaisesti. Tekniikkahormit kulkevat suoralinjaisina rakennuksen läpi. Hormilinjat muodostavat olennaisen osan rakennuksen perusratkaisusta, ja niiden paikka määritellään jo suunnittelun alkuvaiheessa. Tekniikkahormeihin on pääsy porrashuoneen kautta. Tämä helpottaa sekä rakennusvaihetta että huollettavuutta, joka taas on tärkeää rakennuksen pitkäikäisyyden varmistamiseksi.

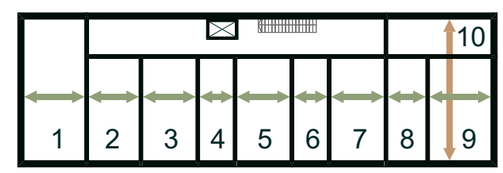
Tyyppipuukerrostalon suunnittelussa on käytetty tilaelementtijärjestelmää ja vakioituja rakenneratkaisuja. Tällöin rakennuksen suunnittelussa ei tarvitse määrittää, kuka rakennuksen toteuttaa



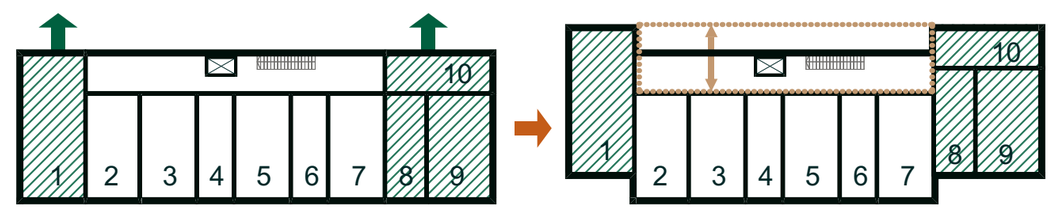
Kuva 5. Suunnitellun tyyppitalon peruspohjaratkaisu.



Kuva 6. Tilaelementtien määrä riippuu rakennuksen halutusta koosta.



Kuva 7. Tilaelementtien pituutta ja leveyttä voidaan muuttaa suunnitelmasta riippuen.



Kuva 8. Polveilevan tyyppitalon pohjaratkaisuperiaate. Rakennuksen reunoilla olevien elementtien asuntoja voidaan suunnitella monipuolisemmin, kun huomioidaan, että tekniikkaroiloihin on pääsy porraskäytävän puolelta.

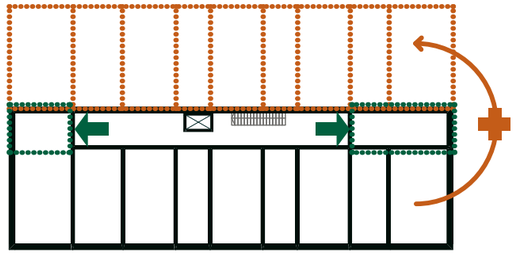
tai minkä toimittajan ratkaisuja rakennuksessa käytetään. Standardoidut rakenneratkaisut edistävät eri toimijoiden yhteistyötä rakennushankkeissa, ja rakentamiskonseptia voidaan kehittää ja toteuttaa useamman tahon toimesta.

Tilaelementeistä muodostuvan kerrostalon peruspohjaratkaisu tulee määritellä suunnittelun alkuvaiheessa. Elementtien leveyttä ja pituutta muuttamalla voidaan varioida huoneistojen kokoa, ja elementtien määrää muuttamalla voidaan vaihdella rakennuksen dimensioita ja asuntojen määrää. Tässä esiteltyjä tyyppitaloja voidaan yhdistää toisiinsa rakennuksen lyhyeltä sivulta.

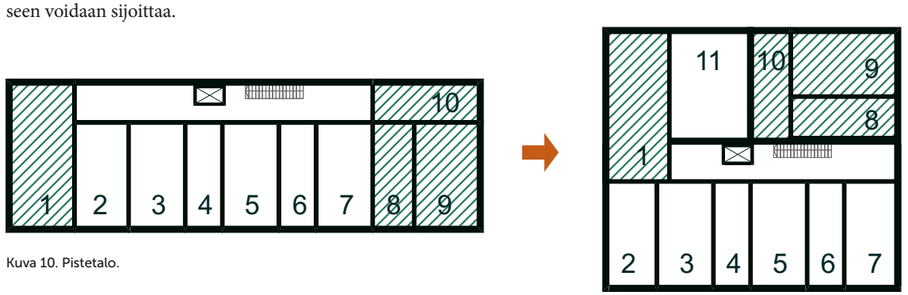
Elementtien suuntaamista muuttamalla tyyppipuukerrostalo voi olla pistetalo, keskikäytävätalo tai sivukäytävällinen rakennus. Seuraavaksi esiteltävät pohjat ovat sivukäytävälliseen rakennukseen suunniteltuja huoneistoja.

Parvekkeilla voidaan muokata rakennuksen julkiasua. Niiden kokoa ja sijoittelua vaihtelemalla voidaan vastata myös paikan ja käyttötarkoituksen mukaisiin vaatimuksiin. Parvekkeet voivat tyyppitalossa olla joko rakennuksen massaan sisään upotettuja, julkisivusta ulospäin sijoitettuja, erillisistä parveketorneista koostuvia tai esimerkiksi koko yhden julkisivun mittaisia vyöhykkeitä. Parvekkeet tuovat monipuolisuutta ja jatketta sisätiloille.

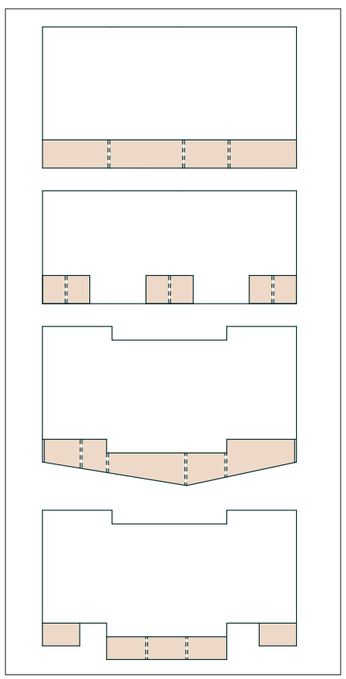
Katon muoto vaikuttaa rakennuksen julkisivuun ja kiinnittää rakennuksen ympäröivään rakennuskantaan. Katon muoto vaikuttaa myös siihen, millaisia tiloja rakennuksen ylimpään kerrokseen voidaan sijoittaa.



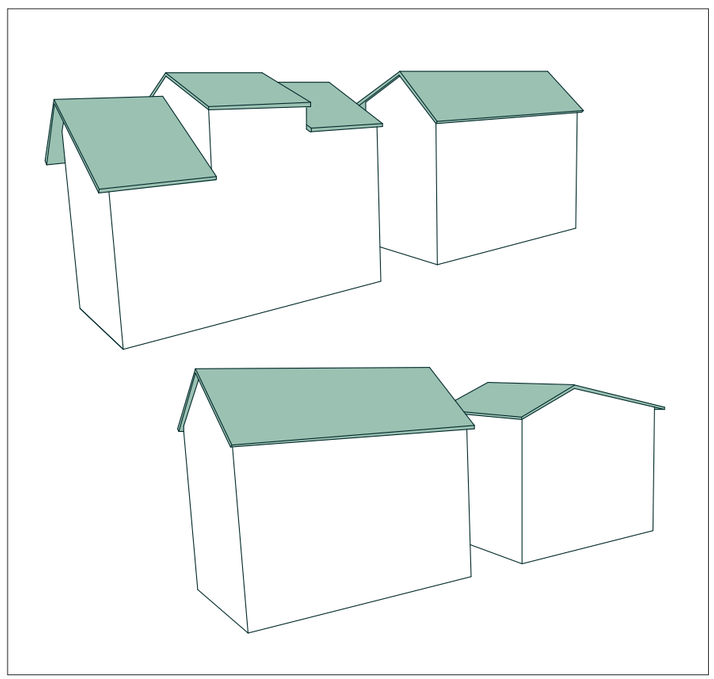
Kuva 9. Keskikäytävätalo.



Kuva 10. Pistetalo.



Kuva 11. Parvekevaihtoehtoja.



Kuva 12. Kattovaihtoehtoja: Osiin jaettu katto, epäsymmetrinen harjakatto, symmetrinen harjakatto ja käännetty harjakatto.

Kuva 13. Petäjä. Visualisointi puukerrostalokatalogin avulla suunnitellusta kerrostalosta.

Kuva 14. Kolme veljestä. Visualisointi puukerrostalokatalogin avulla suunnitellusta kerrostalosta.

Kuva 15. Kilpikaarna. Visualisointi puukerrostalokatalogin avulla suunnitellusta kerrostalosta.

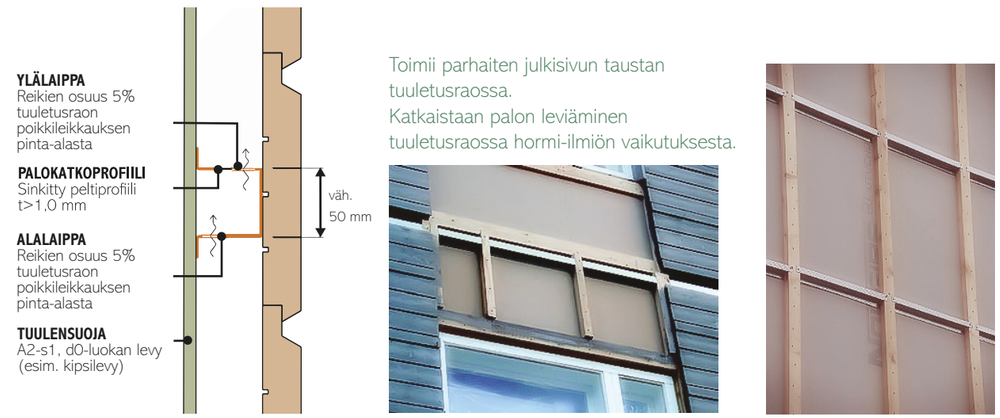
Kuva 16. Valkosaarni. Visualisointi puukerrostalokatalogin avulla suunnitellusta kerrostalosta.

Julkisivun pintakäsittelyn vaihtoehdot ovat moninaiset. Kustannusten kannalta on edullista, että julkisivujen kiinnitys ja käsittely suunnitellaan tehtäviksi tehdasolosuhteissa.

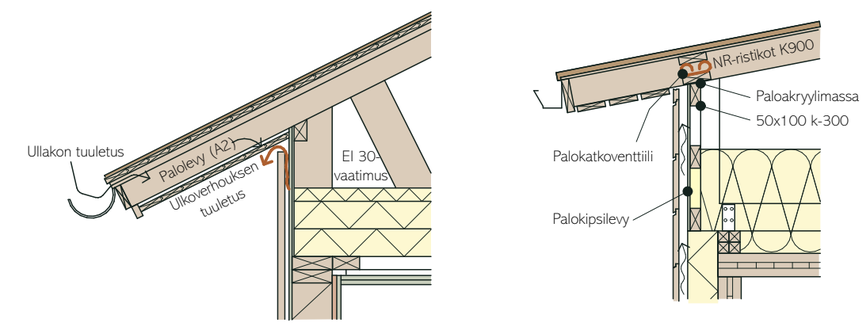
Puukerrostalon julkisivujen suunnittelussa (elementtisuunnittelussa) on otettava huomioon seuraavat palotekniset asiat:

- Ensimmäisen kerroksen julkisivu tulee olla B-paloluokkaa. Tämä saavutetaan myös palosuojatulla puulla.
- Julkisivujen tuuletusraossa on oltava palokatkot vähintäänkin jokaisen kerroksen välissä.
- Puukerrostalo on varustettava niin kutsutulla paloräystäällä. Näistä on esitetty tyyppiesimerkkiratkaisuja kuvissa 17–18.

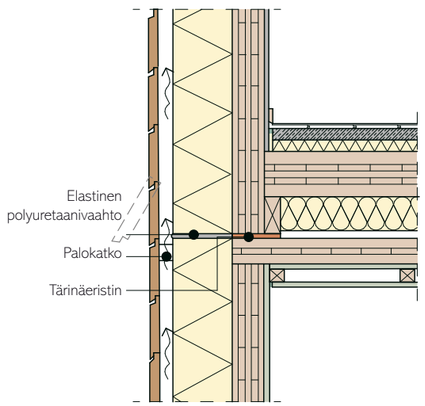
Tilaelementtien välinen sauma voidaan ”häivyttää” julkisivuverhouksessa sekä vaakapanelointiverhous- että pystyrimalautaverhousratkaisussa kuvissa 19 ja 20 esitetyllä tavalla.



Kuva 17. Julkisivun palokatko.

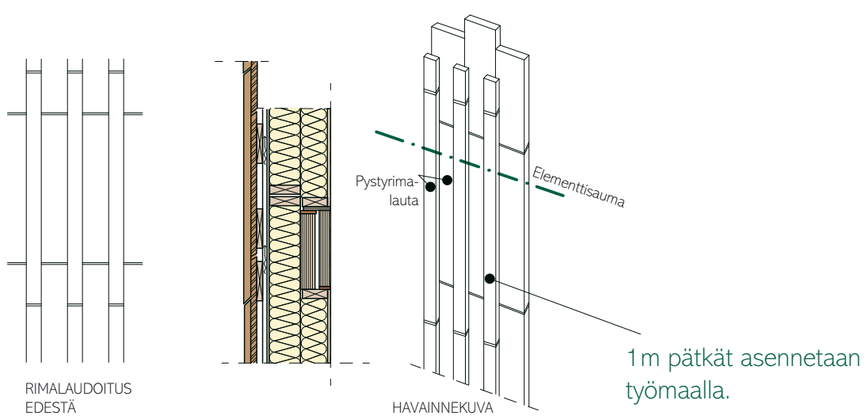


Kuva 18. Ullakko ja julkisivu on tuuletettava toisistaan erillään, osastointi EI30-rakentein. Voidaan käyttää hyväksi myös palotilanteessa sulkeutuvia tyyppihyväksyttyjä palokatkoprofiileja.



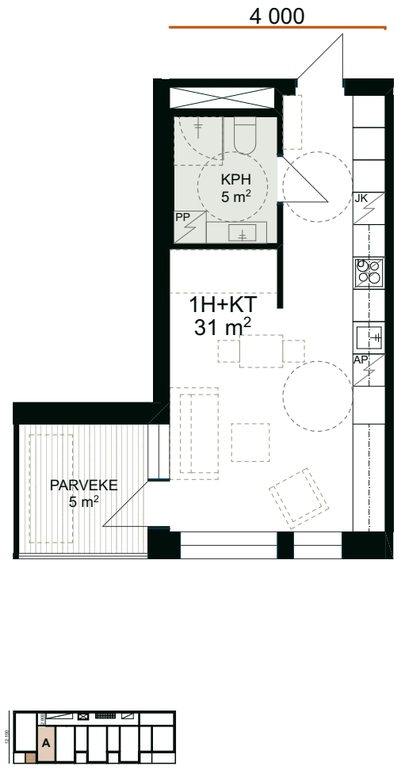
Elementtien saumakohdassa puuttuvat vaakapaneelit (1-2 kpl) asennetaan paikoilleen työmaalla.

Kuva 19. Julkisivudetalji: yhtenäinen vaakapanelointi.

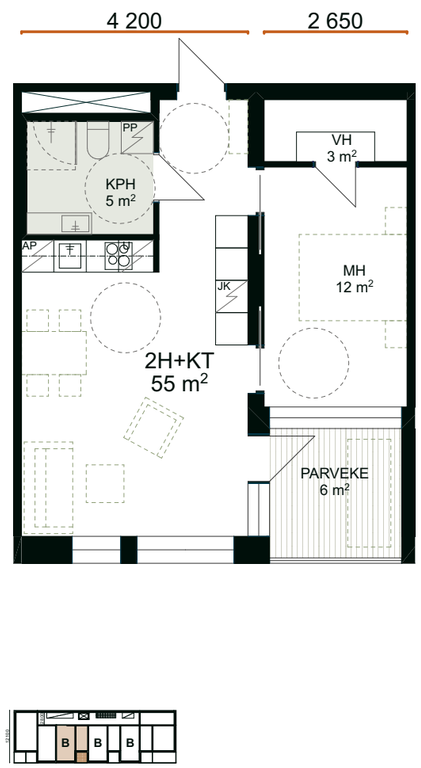


1 m pätkät asennetaan työmaalla.

Kuva 20. Julkisivudetalji: yhtenäinen pystyrimalaudoitus.



Kuva 21. Tyyppipuukerrostalon mallipohjia. Asunto A.



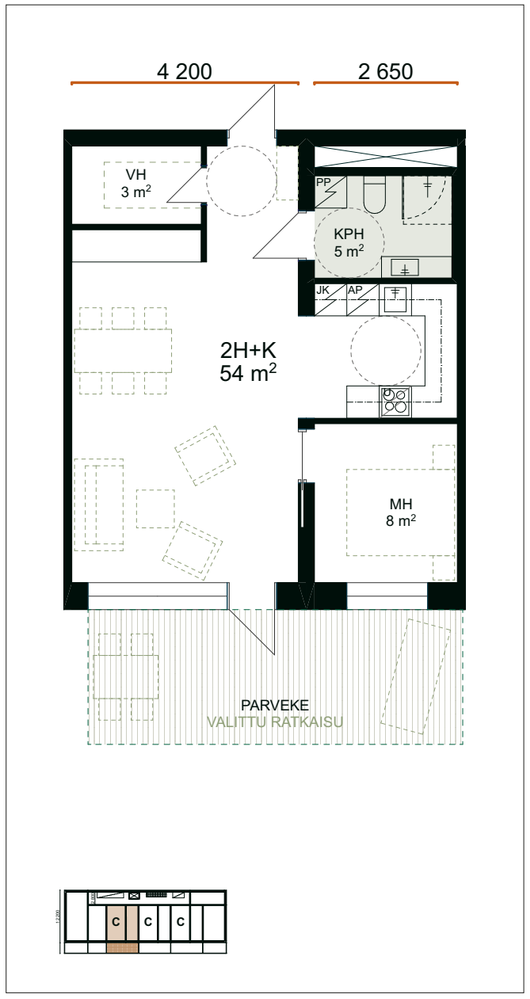
Kuva 22. Tyyppipuukerrostalon mallipohjia. Asunto B.

Tyyppipuukerrostalon huoneistojen suunnittelussa on pyritty hyvään asuttavuuteen ja tilojen muunneltavuuteen. Yksi huoneisto voi koostua yhdestä tai useammasta tilaelementistä. Huoneistojen märkätila on tyyppitalossa suunniteltu porrashuoneen vastaiselle seinälle tekniikkahormeja vasten. Keittiötilat on suunniteltu samaan tilaelementtiin märkätilan kanssa. Tämä helpottaa viemäröintejä valmistusvaiheessa ja huollettavuutta myöhemmin.

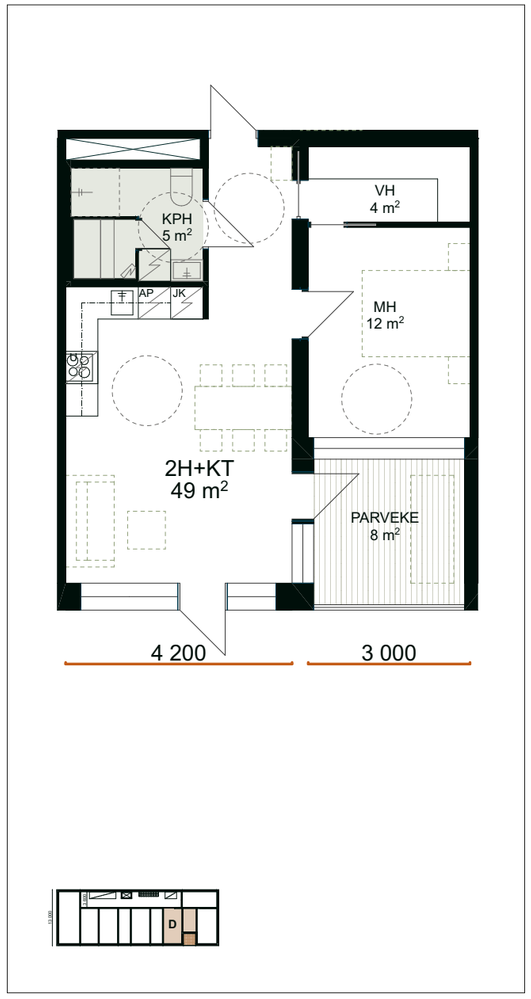
Putkimaisissa asunnoissa ikkunoita on useimmiten paljon tilaelementtien julkisivujen puoleisilla sivuilla. Tämän vuoksi tilaelementtien jäykistys ja aukotukset ovat haastavia. Asuntosuunnittelua koskevassa ympäristöministeriön asetuksessa asuin-, majoitus- ja työtiloista todetaan asuntojen ikkunoiden määrästä seuraavasti (5 §):

”Asuin- ja majoitustilan ikkunan valoaukon on oltava vähintään 1/10 huonealasta. Ikkunan sijoituksen ja muun järjestelyn on varmistettava huoneen valoisuus, näkymä ulos huoneesta sekä huoneen kalustettavuus. Asuinhuoneen ja majoitustilan ikkunan tai sen osan on oltava avattavissa. Jos työtilassa on oltava ikkuna, valoaukon on oltava vähintään 1/10 työtilan huonealasta.”

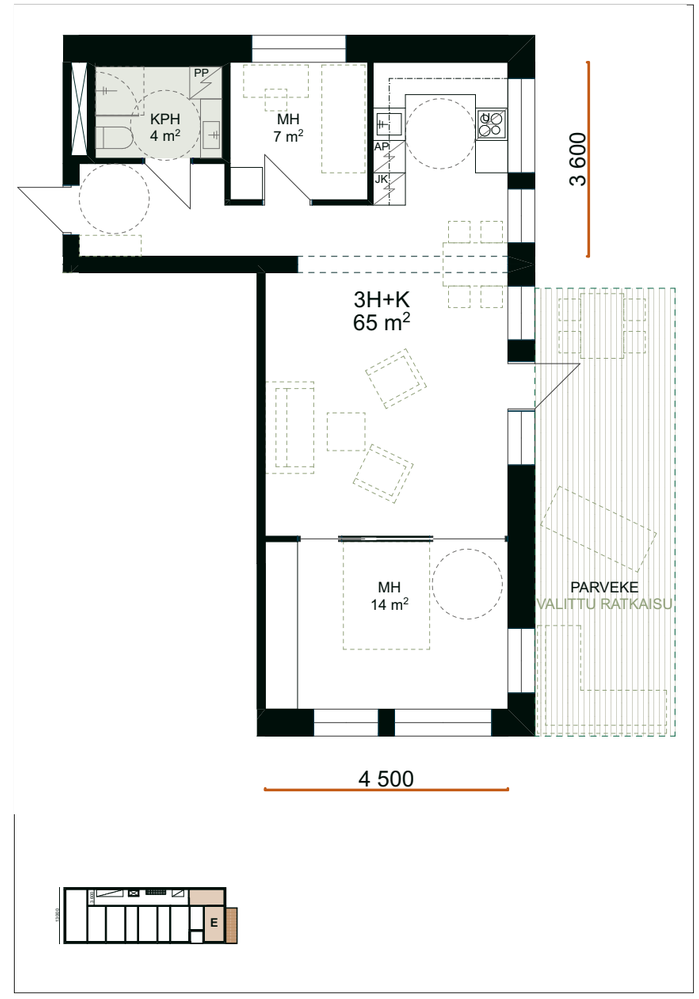
Kuvissa 21–26 on esitelty tyyppipuukerrostalon erikokoisia asuntotyyppejä, joissa on huomioitu tilaelementtien suositeltavat koot sekä talotekniikan asennusten pystyroilovaraukset. Tavoitteena on osoittaa, että myös tilaelementtitekniikalla saadaan aikaan muuntojoustavia ja käytettävyydeltään mallikelpoisia asuntoratkaisuja.



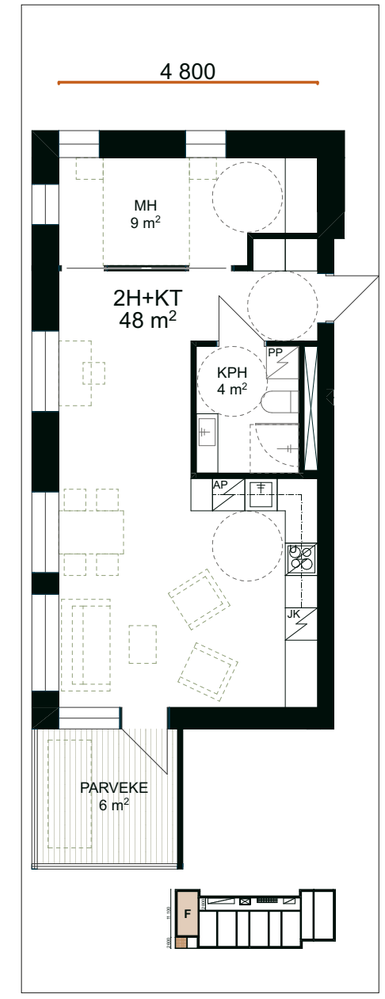
Kuva 23. Tyyppipuukerrostalon mallipohjia. Asunto C.



Kuva 24. Tyyppipuukerrostalon mallipohjia. Asunto D.



Kuva 25. Tyyppipuukerrostalon mallipohjia. Asunto E.



Kuva 26. Tyyppipuukerrostalon mallipohjia. Asunto F.

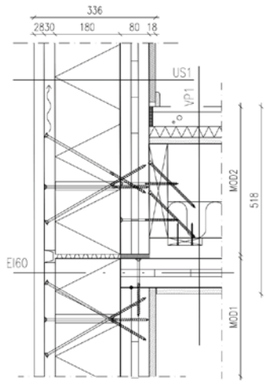
3.6. Standardikirjasto

Tuottavuusloikka-hankkeessa luotiin ehdotuksia teollisen puurakentamisen vakioratkaisuiksi, jotka tehostavat rakentamisprojektia ja sujuvoittavat suunnitteluprosessia. Vakioratkaisut työstettiin nykyiseen muotoonsa alan asiantuntijoiden yhteisessä työpajassa. Hankkeen aikana ilmeni tarve laajemmankin tilaelementtirakentamisen suunnitteluohjeistuksen (TilaPES) tarpeesta olemassa olevien RunkoPES:n ja HalliPES:n rinnalle.

Hankkeen toimijat julkaisevat vakioidut päärakennetyypit ja detaljit syksyllä 2022, ne tulevat olemaan avoimesti saatavilla. Tyypistö ja detaljit päivittyvät ja laajenevat ajan myötä. Aikaisempien vakiorakennekirjastojen haasteena on ollut, että ne eivät ole päivittyneet parempien käytäntöjen myötä tai uusien käytäntöjen yleistyessä. Tyyppien päivittämisestä sovitaan jatkohankkeissa.

Hankkeessa selvitettiin opinnäytetyön avulla myös tilaelementtirakenteisen puukerrostalon rungon jäykistyssuunnittelun erilai-

US-VP PYSTYDETALJI



Ulkoseinärakenne 365 mm
Kipsilevy 15-18 mm
CLT-levy 80-100 mm
Eriste 180 mm
Verhoukset

U-arvo 0,17 W/(m²K)

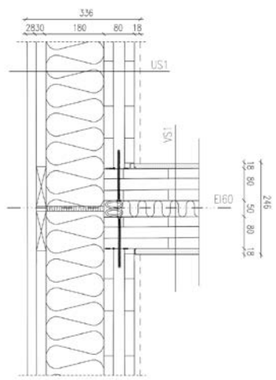
R_w > 44dB
R_w + C > 43dB
R_w + C/tr > 40dB

Välipohjarakenne 500 mm
Pintamateriaali
Pintalaatta (kipsi/betoni)
(tai kuiva kipsilevylattia)
Askeläänieriste
Pontattu lattialevy
Kantava palkisto
Kerto-S 51x260
+ ääneneristevilla
Ilmarako
CLT-levy 80 mm

REI 60

$D_{nT,w}$ >55dB
$L`_{nT,w}$ + $CI_{,50-200}$ < 53dB

US-VS VAAKADETALJI



Ulkoseinärakenne 365 mm
Kipsilevy 15-18 mm
CLT-levy 80-100 mm
Eriste 180 mm
Verhoukset

U-arvo 0,17 W/(m²K)

R_w > 44dB
R_w + C > 43dB
R_w + C/tr > 40dB

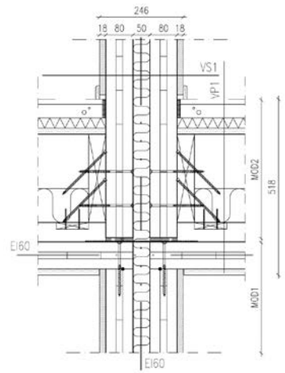
Väliseinärakenne 250 mm
Kipsilevy 15-18 mm
CLT-levy 80-100 mm
Eriste 50 mm
CLT-levy 80-100 mm
Kipsilevy 15-18 mm

REI 60

$D_{nT,w}$ >55dB

Kuva 27. Vakiodetaljit 1.

VS-VP PYSTYDETALJI



Välipohjarakenne 500 mm
Pintamateriaali
Pintalaatta (kipsi/betoni)
Askeläänieriste
Pontattu lattialevy
Kantava palkisto
Kerto-S 51x260
+ ääneneristevilla
Ilmarako
CLT-levy 80 mm

REI 60

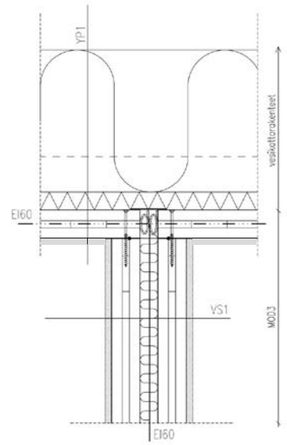
$D_{nT,w}$ >55dB
$L`_{nT,w}$ + $CI_{,50-200}$ < 53dB

Väliseinärakenne 250 mm
Kipsilevy 15-18 mm
CLT-levy 80-100 mm
Eriste 50 mm
CLT-levy 80-100 mm
Kipsilevy 15-18 mm

REI 60

$D_{nT,w}$ >55dB

YP-LIITTYMÄN PYSTYDETALJI



Väliseinärakenne 250 mm
Kipsilevy 15-18 mm
CLT-levy 80-100 mm
Eriste 50 mm
CLT-levy 80-100 mm
Kipsilevy 15-18 mm

REI 60

$D_{nT,w}$ >55dB

Yläpohjarakenne
Kivivilla 450 mm
CLT-levy 80-100 mm
Kipsilevy 15-18 mm

R_w > 43dB
R_w + C > 42dB
R_w + C/tr > 40dB

Kuva 28. Vakiodetaljit 2.

sia käytäntöjä Suomessa. Selvityksen perusteella tehtiin esitys jäykistysmitoituksen yhdenmukaistamiseksi sekä yksilöitiin siihen tarvittavat tutkimustarpeet. Tämä selvitys on löydettävissä Tampereen yliopiston julkaisuportaalista.

Tyyppiratkaisut eivät ota huomioon vain perinteistä insinöörituotekehitystä eli materiaalikäytön optimointia, vaan esitetyt rakenteet voidaan tuottaa teollisesti tehtaissa. Detaljien vakiointityöhön osallistuivat hankkeen osapuolten lisäksi useampi alalla aktiivisesti toimiva suunnittelutoimisto. Esitetyt ratkaisut täyttävät määräysten vaatimukset, ja niitä on käytetty jo toteutuneissa kohteissa. Erityistä huomiota on tuotannollisuuden ja kustannustehokkuuden lisäksi kiinnitetty esitettyjen rakenteiden ääni-, palo- ja energiatehokkaaseen toimivuuteen.

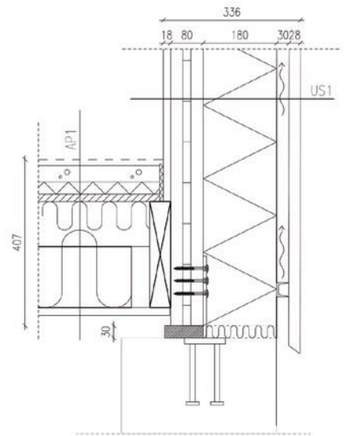
Detaljit eivät ole lopullisia, vaan jokaiseen hankkeeseen ja tehtaaseen tulee laatia lopullinen esitys tyyppiratkaisujen perusteella. Esimerkiksi kiinnityskappaleiden ja ruuvien lopulliset paikat, määrät ja tyypit riippuvat kohteen mitoituskuormista, valmistetun elementin mitoista ja tuotantolaitoksen käyttämistä, sille optimoiduista ratkaisuista. Tyypeissä on kuitenkin ratkaistu tuotannolliset reunaehdot, joiden pohjalta hankkeet pystytään hinnoittelemaan luotettavasti jo alustavien suunnitelmien pohjalta ja tilaaja voi varmistua siitä, että kohteen ratkaisut ovat tehokkaasti elementoitavissa.

Tyyppiratkaisuja voidaan käyttää CLT-tilaelementtikerrostalon suunnittelussa. Ratkaisut soveltuvat P2-paloluokan kerrostalon toteutukseen, ja niiden paloteknisenä perustana on käytetty taulukkomitoitusta. Kerrostalon maksimikorkeus on 28 metriä eli käytännössä kahdeksan kerrosta. Esitetyt ratkaisut eivät ota kantaa koko rungon jäykistykseen, vaan se pitää suunnitella kohdekohtaisesti. Ratkaisut on kuitenkin suunniteltu niin, että niiden avulla voidaan helposti toteuttaa yleisimmin käytetyt jäykistysratkaisut. Liitosten tyypilliset paikat ja määrät on huomioitu tyyppiratkaisuissa. Lopullisessa suunnitteluratkaisussa tulee käyttää rakennesuunnittelijan määrittelemiä tärinäeristimiä, jotka määritellään hankekohtaisesti.

Esitettyjä detaljeja tuleekin käyttää laajasti heti tarveselvityksestä ja hankesuunnittelusta lähtien. Pääsuunnittelija pystyy tekemään alustavat suunnitelmat oikeilla tilavarauksilla, ja heti hankkeen alusta lähtien pystytään tekemään oikeat laskelmat kohteen tehokkuudesta. Toinen merkittävä hyöty tilaajalle on, että useat toimijat kykenevät toteuttamaan nämä rakenteet tehokkaasti. Tä-

SUUNNITTELU

AP-LIITTYMÄN PYSTYDETALJI



Ulkoseinärakenne 365 mm
Kipsilevy 15-18 mm
CLT-levy 80-100 mm
Eriste 180 mm
Verhoukset

U-arvo 0,17 W/(m²K)

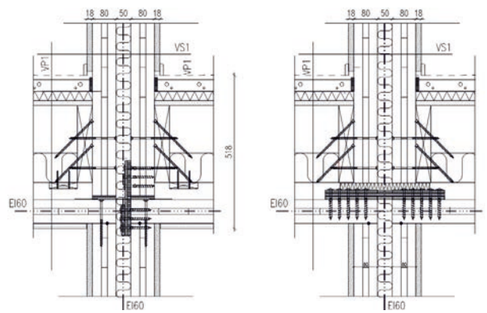
R_w > 44dB
R_w + C > 43dB
R_w + C/tr > 40dB

Alapohjarakenne 500 mm
Pintamateriaali
Pintalaatta (kipsi/betoni)
Askeläänieriste
Pontattu lattialevy
Kantava palkisto +
lämmöneristevilla

U-arvo 0,17 W/(m²K)

REI 60

KIINNIKKEIDEN PERIAATTEET, PYSTYDETALJI



Tilaelementtien pystyliittymät:
Teräsliitososat 2-4 kpl / jäykistävä linja.

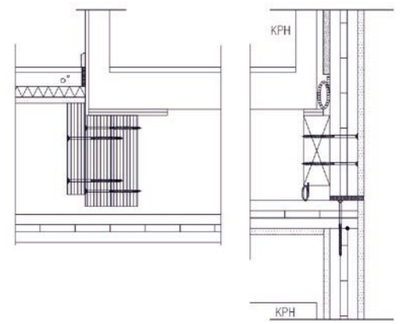
Tärinäeristeet levyn molemmin puolin.

Tilaelementtien vaakaliittymät:
Teräs-/vaneriliitososat 2 kpl/jäykistävä linja.

Tärinäeristeet levyn molemmin puolin.

Kuva 29. Vakiodetaljit 3.

MÄRKÄTILAMODUULIN LIITTYMÄT TILAELEMENTTIIN, PYSTYDETALJI



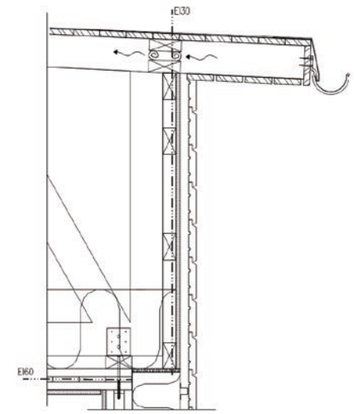
Märkätilamoduulin asennuskorko n. -200 mm lattiapinnasta.

Vältettävä palkiston läpivientejä.

Seinäliittymissä tuplarakenne:

MEL 60 mm
Asennusrako 20 mm
TEL seinärakenne

ULKOSEINÄN PERIAATELIITTYMÄ YLÄPOHJAAN, PYSTYDETALJI



Paloräystäsrakenne
Ullakon seinärakenne

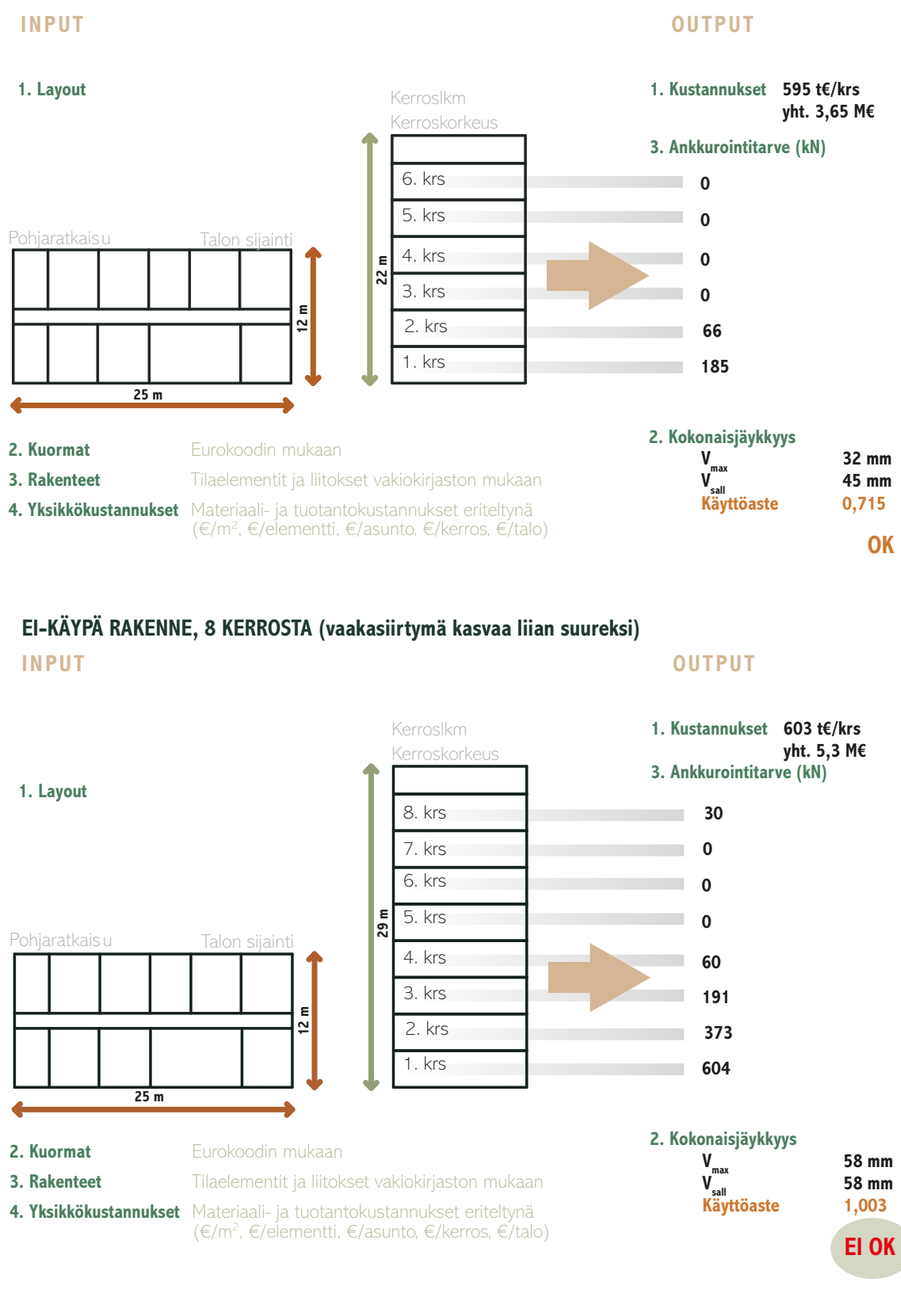
Kuva 30. Vakiodetaljit 4.

mä helpottaa osaltaan kilpailutusta. Toimijoille tyyppiratkaisujen käyttö mahdollistaa sen, että linjoja ja tuotantotapoja voidaan vakioida pidemmälle. Tyyppirakenteet helpottavat ja nopeuttavat hinnoittelua ja osaltaan vähentävät kaikkien osapuolten riskejä hankkeessa.

Tässä julkaisussa on esitetty tärkeimmät tyyppiratkaisut tilaelementin vaaka- ja pystyrakenteista. Elementin kehään liittyvät tärkeimmät rajapinnat toisiin elementteihin, kattoon ja julkisivuun on esitetty kuvissa 27–30. Lisäksi on esitetty märkätilaelementin liittyminen asuntoelementtiin. Käytävän ja parvekkeen osalta toimijat käyttävät toisistaan poikkeavia ratkaisuja, ja näiden osalta vakiointityötä on tarkoitus jatkaa jatkohankkeessa. Myös asennus- ja kuljetusjärjestelmissä on toimijakohtaisia eroja. Näidenkin vakiointia jatketaan jatkohankkeissa.

Tuotannollisuus näkyy ratkaisuissa useissa eri kohdissa. Elementtien seinät ja välipohjat voidaan valmistaa tasolinjoilla erillisinä elementteinä ennen kokoamista tilaelementiksi. Välipohjaelementin rakenne on suunniteltu niin, että sen tarvitsemat kiinnitykset pystytään tekemään elementin ulkopuolelta tasopöydiltä, mikä tekee valmistuksesta tehokasta. Myös elementin kokoamisessa tarvittavat liittimet pystytään kiinnittämään elementin ulkopuolelta, ja kiinnitys on näin tehokasta. Kovavilla pitää sisällään tuulensuojan, eikä eristeen asennukseen tasopöydälle tarvita erillisiä runkoja. Vinoruuvaus on todella nopeaa ja tehokasta.

Esitetyt tuotteet on helppo optimoida käytetyn kerrosmäärän ja kohteen jännevälien mukaan. Esimerkiksi välipohjassa käytetyn palkiston dimensioita voidaan muuttaa tuotantotapaa tai käytettyä detaljiikkaa muuttamatta. Vastaavasti pystyrakenteissa CLT:n paksuutta voidaan kasvattaa kerrosmäärän kasvaessa. Esitetyt ratkaisut mahdollistavat sen, että voidaan käyttää tehdasasenteista julkisivua ja hyödyntää tehdasvalmisteista kylpyhuone-elementtiä osana valmistusprosessia.



Kuva 31. Tilaelementtitalon konfiguraattori.

3.7. Parametrinen suunnittelu ja konfiguraattori

Tilaelementtirakentamisessa suunnitteluratkaisujen vakiointi sekä parametrisen suunnittelun soveltaminen mahdollistavat sen, että voidaan käyttää verrattain pitkälle vietyä suunnitteluautomatiikkaa. Esimerkiksi tilaelementtitoimittaja tai jokin muu toimija voi tehdä etukäteen koko rakennuksen parametrisen laskentamallin, jossa tilaelementtien päämittojen ja aukotusten sallitaan muuttua tietyissä rajoissa. Syöttämällä tietyn pohjaratkaisun mukaiset parametrit malliin saadaan selvitettyä, onko kyseinen runko rakennettavissa eli ovatko rakennuksen jäykistys sekä pystykuormien vienti perustuksille säädösten mukaiset.

Kun haluttua pohjaratkaisua vastaava käypä runko on tiedossa, voidaan määrittää rakennuksen kustannukset eri osatoimittajien tuotehintojen perusteella. Parametrisen suunnittelun ei tarvitse rajautua pelkän rungon lujuustekniseen mitoitukseen ja optimointiin, vaan siihen voidaan sisällyttää systemaattisesti muutakin teknistä suunnittelua, kuten tilaelementin päämittojen mukana muuttuvaa tilavarausta LVIS-tekniikalle kustannuksineen.

Tällaisia parametriseen suunnitteluun perustuvia työkaluja eli niin sanottuja konfiguraattoreita käytetään yleisesti teollisuudenaloilla, joilla valmistettavan tuotteen lujuusopilliseen käyttäytymiseen vaikuttavat tuotteen mitat tai ominaisuudet vaihtelevat tietyissä rajoissa asiakkaan toiveen mukaisesti. Konfiguraattoreita on käytetty esimerkiksi erilaisten nostolaitteiden suunnittelun automatisoinnissa.

Kuvassa 31 havainnollistetaan tässä hankkeessa kehitettyä konfiguraattoria, joka on tarkoitettu tilaelementtirakentamiseen. Teknisinä lähtötietoina tarvitaan rakennuksen asuntosijoittelu, rakennuksen päämitat sekä rakennuspaikka (maastoluokka). Lisäksi tarvitaan hankkeessa esitetyn vakiokirjaston mukaiset tilaelementit detaljeineen sekä vakioratkaisuissa käytettyjen työ-, materiaali- ja muiden yksikkökustannusten arvot.

Tämän jälkeen konfiguraattori etsii manuaalisesti sellaisen runkoratkaisun, joka täyttää rakennetekniset vaatimukset, ja antaa tälle kokonaisuudelle kustannukset. Pidemmälle vietynä konfiguraattoriin voidaan lisätä matemaattiseen optimointiteoriaan perustuvia algoritmeja, jotka etsivät optimaalisen runkoratkaisun esimerkiksi kustannusten perusteella. Muuteltavia parametrejä konfiguraattorissa ovat muun muassa kantavien seinien sijoittelut ja paksuudet, seinien aukotukset, kerroskorkeus ja elementtien välisten liitosten ominaisuudet.

Konfiguraattori on vain yksi systemaattinen tapa varmistua rakennusprosessin alkuvaiheessa tehtyjen päätösten soveltuvuudesta ja niiden kustannusvaikutuksista. Konfiguraattoria voidaan kehittää yllä esitetystä karkeasta alkuvaiheen luonnostyökalusta aina pitkälle jalostettuun suunnitteluautomaattiin, joka optimoi suunnitteluparametrien arvot haluttujen kriteerien mukaisiksi. Tällaiset suunnitteluautomaatit kannattaa rakentaa yhteensopiviksi käytössä olevien rakennesuunnitteluohjelmistojen kanssa joko rajapintojen avulla tai ohjelmistojen omia mahdollisuuksia hyödyntämällä.

Kuva: Puurakentajat Group Oy

Kuva 32. Kun massiivipuuratkaisut on hyvin suunniteltuja, ne ovat millintarkkoja työmaalle asti.

Kokonaisvaltainen suunnittelu keskiössä

Suunnittelu on avaintekijä tuottavuuden kasvattamisessa. Ilman kokonaisvaltaista suunnittelua tuotannon tehokkuusloikkaa ei kyetä ottamaan. Kokonaisvaltaisella suunnittelulla tarkoitetaan kaikkien osapuolten panosta kaavoituksesta toteutukseen asti. Tässä luvussa esitetyt arkkitehtuurin ja rakenteiden tyyppiratkaisut ovat alan toimijoiden laajan tutkimustyön ja laaja-alaisen lautakuntamaisen työn tulosta.

Suunnitteluratkaisujen optimointi ei kohdistu vain materiaalikäytön optimointiin, vaan työssä on huomioitu esitettyjen ratkaisujen teollinen valmistaminen, logistiikka, työmaatyö ja arkkitehtuuri.

Suunnittelussa on paljon kehityspotentiaalia, ja vakiointityötä on tarkoitus jatkaa jatkohankkeissa. Automatisoidut tai parametriset suunnittelumenetelmät tuovat merkittävää kehityspotentiaalia koko toimialalle.

4 Tilaelementtien valmistus

HOAS Tuulinniitty. Kuva: Miika Ullakko

Tilaelementtien valmistuksessa kannattaa soveltaa muusta teollisuudesta opittuja parhaita menetelmiä ja periaatteita. Tuottavuutta saadaan parannettua, kun tuotantolinjalla tapahtuvan valmistuksen lisäksi kiinnitetään erityistä huomiota tuotantoa edeltävien vaiheiden suunnitteluun sekä myös tuotannon jälkeiseen tuottavuuden ja laadun mittaamiseen.

Tilaelementtien valmistus on tehokasta, kun tuotanto saadaan virtaamaan. Siksi se kannattaa organisoida tuotantolinjaksi. Miksi tuotantolinja eikä solu? Tuotantolinjalla on merkittäviä etuja:

1. Materiaalivirta valmistuspisteisiin (sisälogistiikka) on pienempi kuin solumallissa, koska yhdessä työvaiheessa tarvitaan vain sen vaiheen materiaalit. Linjan työpisteen viereen voidaan esivalmistaa ja toimittaa seuraavan elementin osat edellistä elementtiä vielä koottaessa.
2. Työvaihekohtainen organisointi mahdollistaa sen, että henkilöstö voi erikoistua kyseiseen vaiheeseen ja harjaantumisaika on siten lyhyempi. Vaiheita voidaan myös kehittää ja koneellistaa vaihe kerrallaan. Laitteita ei tarvita jokaiseen soluun vaan vain asianomaiseen vaiheeseen.
3. Useasta vaiheesta koostuva linja voidaan tasapainottaa valittuun tahtiaikaan. Tämä edellyttää hyvää työnsuunnittelua aina, kun uusi kohde tulee työn alle. Elementit todennäköisesti vaihtelevat kohteen mukaan, joten linjan henkilöitä ja työvaiheita pitää säätää.
4. Tahdistetun ja tasapainotetun linjan saanto on hyvin ennakoitavissa. Esimerkiksi neljän tunnin tahtiajalla valmis elementti tulee pakattuna hallista ulos neljän tunnin välein.
5. Linjamallissa voidaan käyttää myös sellaista hallia, jossa ovet ovat hallin päissä. Käytännössä tilaelementtien siirtely toistensa ohi olisi hankalaa ja työvaiheena turha.

Tuotantolinjaa suunniteltaessa ja käytettäessä työvaiheiden sisällöt, kestot sekä työmenetelmissä käytetyt tekniikat ja niiden kehitys tulee tietää tarkasti, koska linjaa on jonkin verran säädettävä elementtien muuttuessa.

Kuvan 1 taulukossa on esimerkki elementtitehtaan työmäärälaskimesta saaduista ensimmäisen seinänvalmistuspisteen työvaiheista ja vaiheajoista. Vaiheajat on kellotettu perinteisesti tavanomaisia työntutkimuksen periaatteita noudattaen. Koko linjan tahtiajaksi on asetettu neljä tuntia. Koska seinäelementtejä tarvitaan kuhunkin tilaelementtiin neljä (tässä tapauksessa kolme väliseinää ja yksi ulkoseinä), saadaan tarvittava työaika yhtä tilaelementtiä varten. Kun työpisteessä on suunniteltu olevan kaksi työntekijää, nähdään, että he tarvitsevat 2 h 36 min neljästä tunnista tahtiajassa pysyäkseen. Aikaa jää siis ongelmien selvittelyynkin.

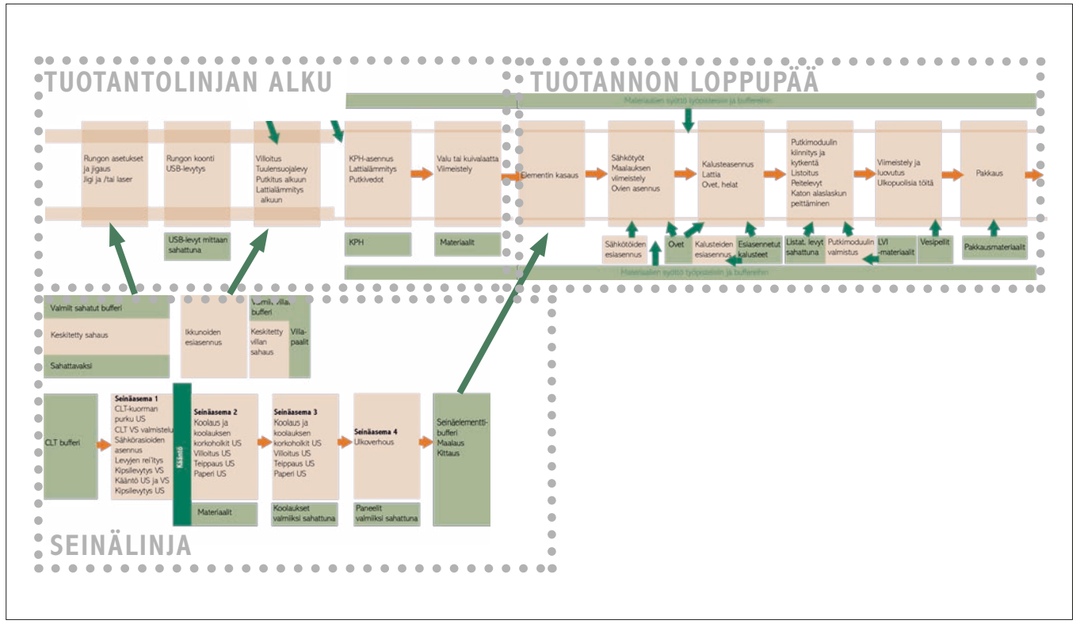
Kun työvaiheet tunnetaan kuten edellä olevassa esimerkissä (ja tarkemminkin), voidaan helposti laskea erilaisten elementtityyppien vaikutukset työvaiheeseen.

Esimerkissä kannattaa huomioida, että vaiheisiin ei kuulu materiaalien hakeminen tai työkalujen etsiminen, vaan työvaiheelle tuodaan valmiiksi kaikki tarvittavat materiaalit ja työkalut. Tämäkin työmäärä on toki olemassa ja tulee huomioida kustannuksena, mutta ideana on keskittyä vain ja ainoastaan kyseiseen suunniteltuun jalostusvaiheeseen.

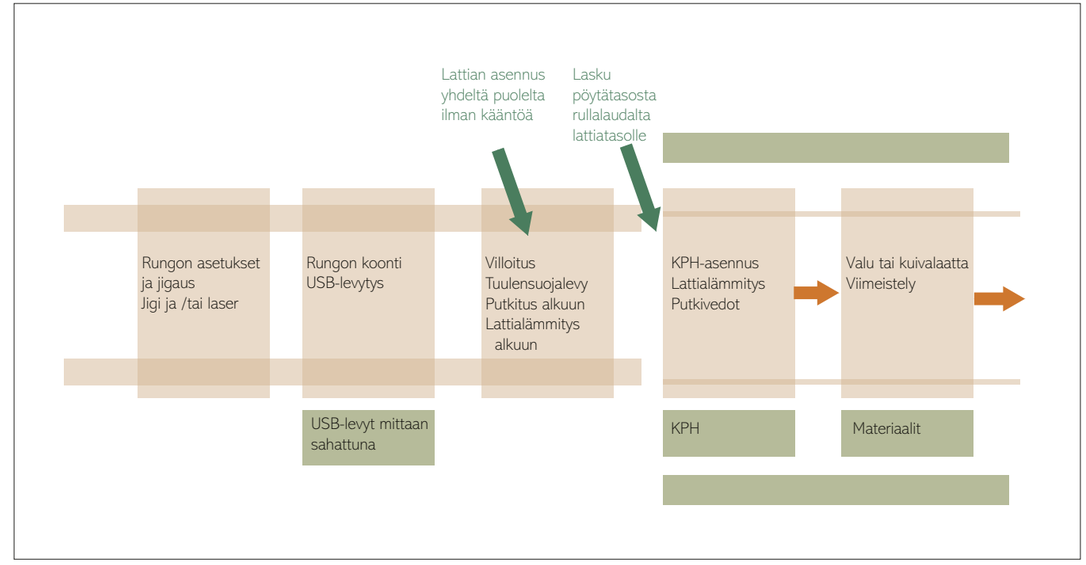
TYÖVAIHEET JA AJAT

1. Seinälevyasema		min
	CLT-kuorman purku US ja VS	7,5
	CLT-valmistelu (nostolenkit) US ja VS	10
	Sähkörasioiden asennus US ja VS	15
	Levyjen rei'itys (rasioille) US ja VS	10
	Kipsilevytys (1-kerros) VS	20
	Kääntö US ja VS	5
	Kipsilevytys (3-kerros) US	40
3VS + 1US	Aika yhteensä 4 seinälle	310 min
	Aika yhteensä kahden hengen työparilla	2,6 h

Kuva 1. Esimerkki ensimmäisen seinäelementtityöpisteen työvaiheista (US=ulkoseinä, VS=väliseinä).



Kuva 2. Esimerkki tuotantolinjan järjestelyistä.



Kuva 3. Tuotantolinjan alku lattianvalmistuksessa.

4.1. Tuotantoa edeltävät vaiheet

Työnsuunnittelu ja -vaiheistus

Työnsuunnitteluvaiheessa selvitetään elementtipiirustuksista, mitä työvaiheita työhön liittyy. Samalla suunnitellaan, kuinka sisäiset ja ulkoiset alihankinnat toteutetaan. Osa alihankittavista töistä (esimerkiksi märkätila) on päätetty jo aikaisemmin, mutta ratkaistavaa jää vielä tähänkin vaiheeseen – esimerkiksi sahataanko lattiaelementtien palkit mittaan itse vai tilataanko työ ulkoa.

Tämän jälkeen työn sisältöä verrataan olemassa olevaan linjaan ja päätetään linjan säädöistä. Jos esimerkiksi kalusteiden tai lattian asennukseen tuleekin kulumaan normaalia enemmän aikaa, on päätettävä, lisätäänkö työvoimaa vai jaetaanko työtä eri tavalla vaiheiden välillä halutun tahtiajan saavuttamiseksi.

”Standarditalojen” tai ”bulkkirakentamisen” välttämiseksi elementtivalmistuksesta tulee tehdä riittävän joustavaa. Mitä paremmin työnsuunnitteluvaihe tehdään, sitä sujuvampaa työ elementtituotannossa on ja myös valmistuskustannukset pystytään laskemaan melko tarkasti.

Tyypillisesti suunnitteluprosessi ei kuitenkaan monesti ole vielä yksityiskohdiltaan valmis, kun elementtien valmistuksen pitäisi jo alkaa. Jos työnsuunnittelulle ei varata tarpeeksi aikaa, tuotannon tehokkuus kärsii ja tuotantolinja alkaa muistuttaa ”rakennustyömaata katon alla”. Perinteisessä rakennusprosessissa yksityiskohtia voidaan miettiä vielä rakennusvaiheessa, mutta elementtivalmistuksessa idea on, että ne ovat täysin valmiita jo ennen pystytyksen aloittamista.

Mallielementit

Tilaelementtiprojekteissa tehdään usein niin sanottu mallielementti, jossa suunniteltuja ratkaisuja ja toteutuksen laatua tutkitaan. Vaikka idea on hyvä, mallielementti antaa tietoa vain yhdestä tapauksesta. Mallielementtikatselmukset näyttävät myös monesti keskittyvän ulkoiseen laatuun ja valittuihin materiaaleihin, harvemmin itse valmistamiseen. Kohteessa on kuitenkin tyypillisesti useita eri elementtityyppejä. Jos ne valmistettaisiin etukäteen, työnsuunnitteluun saataisiin hyvää tietoa ja mahdollisesti piiloon jäävät vaikeudet tai hankalat ratkaisut voitaisiin muuttaa. Käytännössä tämän järjestäminen ja rahoittaminen on haastavaa, mutta edut ovat ilmeisiä.

Tavoiteajan asettaminen

Kun uuden kohteen elementit on suunniteltu hyvin ja työvaiheet tasattu tuotantolinjalla, voidaan tutkia ja päättää, mikä on järkevä tahtiaika kyseisessä kohteessa. Esimerkissämme on käytetty neljän tunnin tahtiaikaa, mutta kohteesta ja hankkeesta riippuen se voi vaihdella. Esimerkiksi kovin työlään välipohjan valmistaminen voi osoittautua tuotannon pullonkaulaksi ja siten säätää muidenkin vaiheiden tahdistuksen. Olennaista on tunnistaa pullonkaulat ja pitää ne aina käynnissä ja hyvin resursoituna. Vastaavasti muita työvaiheita ei kannata pitää kovin alhaisella käyttöasteella.

Tuotannonsuunnittelu

Tuotannonsuunnittelu on teollisen tuotannon keskeinen tehtävä. Sen tarkoitus on varmistaa, että tuotanto-ohjelma toteutuu häiriöttömästi. Tuotannon virtauksen kannalta on tärkeää, kuinka eri elementtityypit seuraavat toisiaan linjalla. Henkilöstön harjaantumisesta riippuen saattaa olla edullista tehdä samankaltaiset elementit sarjana, mutta niiden valmistuminen harvoin osuu samaan tahtiin asennusjärjestyksen kanssa.

Materiaalien, osavalmistuksen ja alihankintojen ohjauksella on suuri merkitys häiriöttömän ja virtaavan tuotannon aikaansaamiseksi. Visuaalisia ohjausmenetelmiä kannattaa käyttää aina kun mahdollista. Esimerkiksi työpisteellä pitää olla tulevalle materiaalille oma lattiaan maalattu ruutunsa. Kun ohjaus on selkeästi suunniteltu, nähdään helposti, milloin seuraavan työn materiaalit on saatu paikalle ja työ voidaan häiriöttä aloittaa. Tätä voidaan vielä korostaa käyttämällä vaikkapa vihreää merkkilippua materiaaliruudussa.

4.2. Tuotantolinja

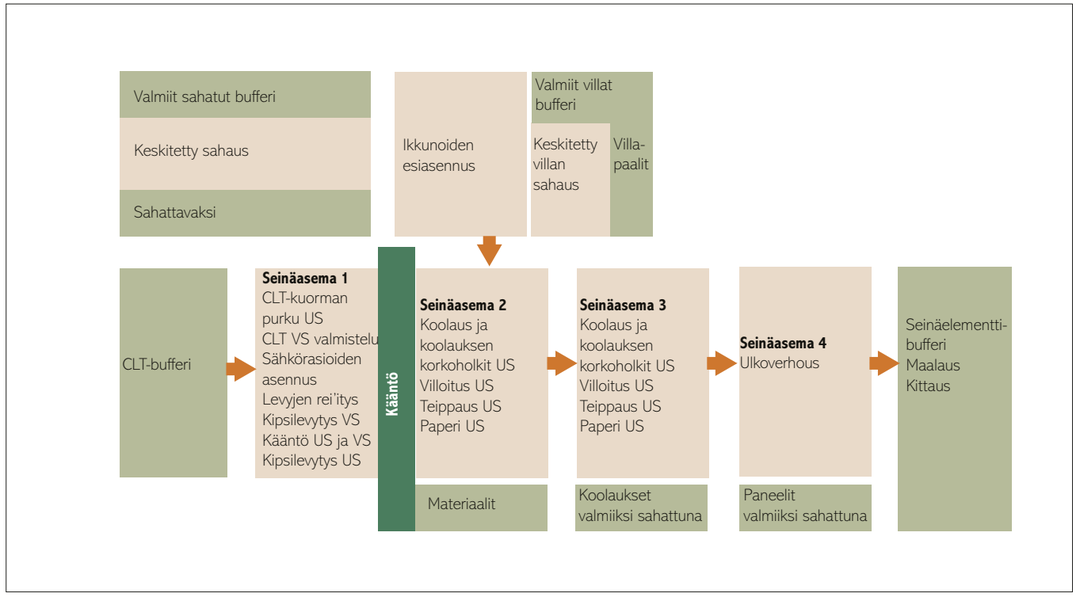
Seuraavaksi esitetään esimerkki CLT-tilaelementtien tuotantolinjasta. Linja on edellä kuvatun mukaisesti joustava, ja sillä pystytään tuottamaan hyvinkin erilaisia elementtejä. Työvaiheiden automatisointi on investointina aika kallis, ja riskinä on, että vaikkapa ikkunan asentamiseen tarkoitetun robotin liikeradat eivät riitäkään seuraavaan kohteeseen. Jos tuotantoa halutaan automatisoida, se on järkevintä toteuttaa työpisteen sisällä pistemäisillä roboteilla. Periaatteessa voidaan automatisoida myös useampia peräkkäisiä vaiheita, mutta kokonaisuudesta ei tule kovin joustava.

Kuvassa 2 tuotantolinjan työ alkaa lattian asennuksella (kuvan vasen reuna), etenee kolmen työvaiheen ajan korkeammalla radalla ja laskeutuu sitten lattiatasoon ennen varsinaisen lattiamateriaalin asennusta (kuivalattia tai valu). Tämän jälkeen työ etenee kiskoilla vaiheittain, kunnes viimeisessä vaiheessa elementti pakataan. Kuvan alaosassa havainnollistetaan seinäelementtien valmistusta: seinä- ja kattoelementit tehdään puskuriin (pintakäsittelyn kuivuminen) odottamaan asentamista päälinjan kuudennessa työvaiheessa.

Ruskea väri kuvastaa työvaihetta ja vihreä materiaalin puskurointia tai kuljettamista. Materiaalivirta on suunniteltu niin, että kaikki työvaiheeseen tarvittava materiaali tuodaan valmiiksi työvaiheen laidalle. Tätä sisälogistiikkaa varten tarvitaan oma organisointinsa. Myös materiaalin vastaanotto ja esikäsittely tarvitsevat oman tilansa.

Kuva 3 esittää tuotannon alkupäätä. Materiaali tuodaan linjan alkuun valmiiksi sahattuna ja asetetaan asennusjigiin (asetuksen teossa voidaan käyttää laseria, mutta yksinkertainen jigipöytäkin on toimiva). Tässä lattia on suunniteltu niin, että sitä ei tarvitse kääntää vaan se voidaan asentaa yhdeltä puolelta valmiiksi. Esimerkissä käytetään alihankinnasta tulevaa valmista kylpyhuone-elementtiä, joka asennetaan paikalleen ennen lattian pintamateriaalien asennusta. Näiden työvaiheiden jälkeen lattia on valmis seinien kiinnittämistä varten, mutta mahdollisen lattiavalun kuivumisaika on tällöin huomioitava.

Seinälinjalla (kuva 4) valmistetaan väli- ja ulkoseinäelementit, jotka voidaan tehdä valmiiksi tai joiden viimeistelyvaihe voidaan jättää tilaelementtilinjalle tehtäväksi. Mitä valmiimpina seinäelementit voidaan asentaa, sitä virtaavammaksi itse päälinja saadaan.



Kuva 4. Seinälinja.

Kuva: Karri Kosonen)

Kuva 5. Tilaelementtejä tuotantolinjalla.

Seinälinjan työ alkaa valmiiksi työstetyistä CLT-elementeistä, joihin asennetaan ikkunat, kipsilevytykset, sähköistys (kojerasiat ja kaapelointi) ja mahdollinen ulkoverhous (esimerkiksi panelointi).

Seinä- ja kattoelementeille on hyvä varata puskuri, jotta saadaan pintakäsittelylle kuivumisaikaa. Seinäelementit voidaan tehdä ohjauksellisesti jonkin verran (esimerkiksi vuorokauden) etuaikaan, jotta varmistetaan päälinjan virtaus.

Tilaelementti kootaan lattia- ja seinävalmistuksen risteyskohdassa (kuva 6). Tämän jälkeen koottuun tilaelementtiin asennetaan muun muassa esivalmistettu sähkökeskus, esivalmistettu LVI-moduli, kiintokalusteet ja lattian pintamateriaalit. Lopuksi tilaelementti pakataan lyhyttä varastointia ja kuljetusta varten.

Tavoitteena on, että valmis tilaelementti voidaan nostaa työmaalla paikalleen niin, että siihen ei enää tarvitse kajota.

4.3. Tuotannon mittaaminen

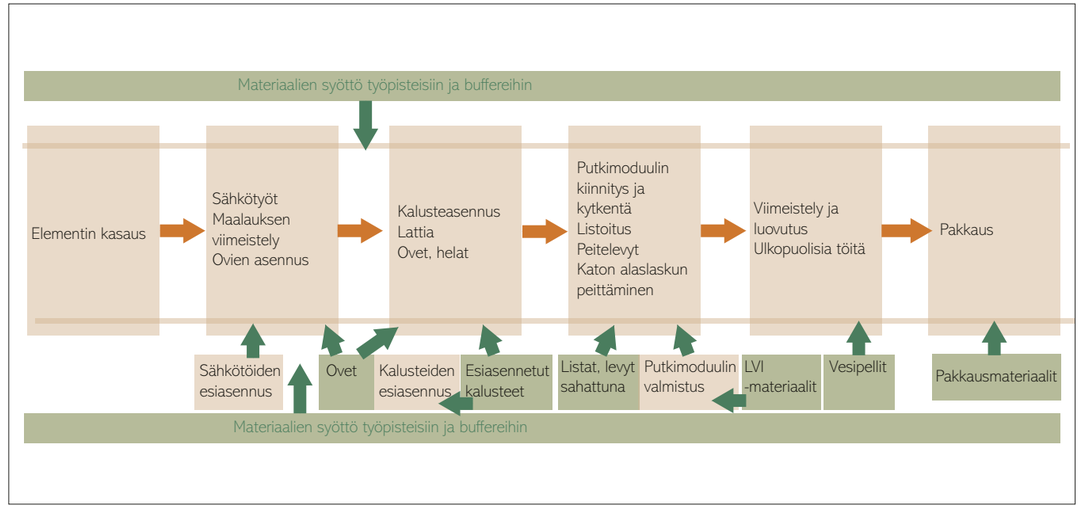
Työn tuottavuus

Työn tuottavuutta mittaamalla nähdään, kuinka hyvin tuotantoa edeltävissä tehtävissä on onnistuttu. Työ on tuottavaa, kun tuotanto virtaa häiriöttömästi ja työntekijät voivat keskittyä suunniteltujen työvaiheiden tekemiseen.

Työn tuottavuutta voidaan mitata suunnitellun työarvoajan ja toteutuneen työajan suhteena, esimerkiksi kuukauden aikana kellotettujen tuntien suhteena maksettuihin valmistuksen työtunteihin.

Vaiheajan toteutuminen ja virtaus

Valmistuksen virtauksen mittaaminen kertoo, kuinka hyvin prosessi on kokonaisuudessaan saatu toimimaan, ja se ennustaa myös toimitusten onnistumista. Virtausta on helppo mitata esimerkiksi viikoittaista saantoa seuraamalla ja vertaamalla sitä suunniteltuun. Esimerkiksi yhden tuotantolinjan tehdas, jossa on neljän tunnin tahtiaika, tuottaa kahdessa vuorossa ja viiden päivän työviikossa 20 elementtiä.



Kuva 6. Tuotannon loppupää, varustelu ja pakkaus.

Laatu

Valmistuksen laatua mittaamalla saadaan selville, kuinka hyvin työt tuotantolinjalla tulevat tehdyiksi. Vaikka tiedetään, että kuljetuksessa ja asennuksessa tapahtuu vaurioita, jotka on työmaalla korjattava, mittauspiste kannattaisi silti sijoittaa työmaalle. Virheiden (korjaustyön) määrää voidaan seurata tunteina tai euroina.

Olennaista on analysoida tulokset niin, että virhelähteet pystytään jakamaan työmaan, kuljetuksen ja tuotantolinjan välille. Virheettömyyttä voidaan toki mitata myös tuotannon lopuksi, mutta tällöin kuljetusten ja työmaan osuus saattaa jäädä pimentoon eikä kokonaiskuvaa synny.

Tuotantosuunnittelu tuo tehokkuutta

Työn tekeminen on monin verroin tehokkaampaa tehtaalla kuin työmaalla. Tehokkaampi työ vaatii pitkälle vietyä, yksityiskohtiin asti ulottuvaa tuotantosuunnittelua. Perinteisien pääsuunnitelmien ja elementtikuvien lisäksi valmistus pilkotaan linjatuotannossa osiin, ja jokaiselle työvaiheelle ja vaiheen osalle suunnitellaan työpiste, resurssi ja työaika. Työaikoja seurataan jatkuvasti. Tuotannosta saatava jatkuva data toimii pohjana tuotannon jatkuvalle parantamiselle, tasapainottamiselle ja tehokkuudelle.

Todellisuudessa kohteiden asuntojen pinta-alat ja niissä käytetyt tuotteet, kuten ikkunat, ja niiden määrät vaihtelevat. Siksi tuotanto täytyy suunnitella ja tasapainottaa erikseen jokaiseen hankkeeseen ja jokaiselle tuotteelle. Tasapainoisessa virtauksessa tämä johtaa erilaisiin resursointeihin työpisteillä. Tuotantosuunnittelun merkitys on suuri, ja se tulee aikatauluttaa osaksi koko hankkeen aikataulua. Uusissa tuotteissa mallielementtien ja nollasarjojen hyödyntäminen mahdollistavat sen, että todellista kellotustietoa voidaan käyttää tuotannonsuunnittelun ja tasapainotuksen pohjaksi. Näin mallielementtejä ei hyödynnetä vain osana laatuprosessia.

Tuotannon pilkkominen työpisteisiin ja osavalmisteisiin mahdollistaa vaiheittaisen kehittämisen ja jatkuvan parantamisen. Yksittäisiä osia voidaan vakioida tai standardoida ja silti modulaarisesti tuottaa hyvin erilaisia lopputuotteita. Yksittäisten osien teko voi olla tehokkaampaa siihen erikoistuneella alihankkijalla tai kehitystoiminta voidaan kohdistaa yksittäiseen työvaiheeseen kerrallaan. Työpistekohtainen toiminta mahdollistaa tarkan mittaroinnin ja siten erinomaisen pohjan todelliselle päätöksenteolle ja kehittämiselle.

5 Logistiikka

KOAS Seminaarimäki. Kuva: Mika Huisman

Tilaelementtien logistiikka vaikuttaa tilaelementtirakentamiseen merkittävästi. Kuljetukseen liittyy rajoitteita ja kustannusvaikutuksia, jotka tulee ottaa huomioon teollisessa rakentamisessa. Hyvin suunnitellussa kohteessa kuljetus ei kuitenkaan juurikaan rajoita suunnitteluratkaisuja tai ohjaa suunnittelua määräänsä enempää.

Kuljetukseen ja kustannusten muodostumiseen vaikuttavat tilaelementin kaikki päämitat. Kuvan 1 taulukossa on esitetty Tuottavuusloikka-hankkeen osapuolten, Elementti Sammon ja JVR:n, käyttämät maksimimitat. Yleinen harhaluulo on, että kuljetus muuttuu automaattisesti kalliimmaksi, kun elementtien leveys kasvaa. Toimijoiden mukaan leveys ei rakennettua neliötä kohden juurikaan lisää kustannuksia, kun pysytään sallituissa mitoissa. Tämä perustuu siihen, että vaikka saattoautojen määrä kasvaa, myös myytävien ja kuljetettujen neliöiden määrä kasvaa. Kohteissa tulee aina tarkistaa, että käytetylle maksimileveydelle löytyy kuljetusreitti kohteelle asti. Kohteen suunnittelua ei tule optimoida saattoautojen optimoinnin mukaan.

Taulukon mitat ovat elementtien todellisia ulkomittoja, jotka sisältävät elementin suojaukset. Maksimipituuden lisäksi tulee huomioida, että tyypillisesti etuautoon mahtuu enintään 8,5 m pitkä elementti. Tämä mitta voi poiketa kuljetusliikkeen käyttämän kaluston mukaan. Jos kohteessa on vain pitkiä elementtejä, joudutaan kuljettamaan puolikkaita kuljetuksia, mikä on kallista.

Korkeuden osalta nyrkkisääntönä on, että lavetin korkeus on metrin verran maan pinnasta. Tämäkin mitta riippuu käytetystä kuljetuskalustosta. Yleisesti elementin maksimikorkeus on näin ollen 3,4 m normaalilla reitillä. Elementtien paino hyvin harvoin ohjaa kuljetusta. Käytännössä paino vaikuttaa työmaan nostopaikkojen ja käytettävien nostimien suunnitteluun.

Suomen maanteiden normaaliliikenteessä kuljetuksen enimmäisleveys on 2,6 m ja suurin sallittu korkeus on 4,4 m. Pituuden enimmäismittana voidaan pitää 23:a metriä. Kaikki tätä suuremmat kuljetukset ovat Suomessa erikoiskuljetuksia. Enintään 4 m leveät ja 4,4 m korkeat kuljetukset ovat erikoiskuljetuksia, joille ei kuitenkaan tarvita maksullista kuljetuslupaa. Luvanvaraisten erikoiskuljetusten piiriin kuuluvat yli 4 m leveät ja yli 4,4 m korkeat maantiekuljetukset. Mitä enemmän kuljetuksen leveys kasvaa mittarajoista, sitä enemmän kuljetuksissa tarvitaan varoitus- ja saattoautoja sekä liikenteenohjausta. Yli 7 m leveistä kuljetuksista päättää poliisi.

Elementtimitta	Tehdas	Tieliikenne	Työmaa
Max. leveys	5,5 m (ES) 5,7 m (JVR)	6 m (ELY:n ohje 2/21) Trafin taulukossa varoitusauto-mitoitus yli 7 m kuljetuksille.	
Max. pituus	12,0 m (ES) 12,5 m (JVR)	40 m (ELY:n ohje 2/21) Taulukossa varoitusauto-mitoitus yli 50 m kuljetuksille.	
Korkeus	Min. 3,04 m (ES & JVR)	Maksimikorkeus: 4,4 m (Tieliikennelaki), siltojen korkeusrajoitukset yleisesti max. 4,4 m. 5 m korkea reitistö (ELY:n ohje 2/21)	
Max. paino		Ajoneuvon suurin sallittu massa 76 t	Nosturin nostokyky yleisesti 70-500 t

Kuva 1. Elementin suositeltavat päämitat.

Kuva: JVR-Rakenne Oy

Kuva 2. Ajoreittien ja varastopaikkojen suunnittelu tontille on tärkeää. Kuopion Kallaveden rannan työmaalle varastoituja elementtejä.

Kuva: JVR-Rakenne Oy

Kuva 3. Nosturin paikkaa valittaessa on huomioitava nostoetäisyydet sekä elementtien varastointi nosturin nostoetäisyydelle.

Varoitusautojen tai EKL-autojen vähimmäismäärä erikoiskuljetuksessa						
Korkeus yli 5,00 m, varoitusautoa tai EKL-autoa on käytettävä kuljetuksen edessä						
	Leveys (m)					
Pituus (m)	enintään 3,00	yli 3,00	yli 3,50	yli 4,00	yli 5,00	**) yli 7,00
enintään 30,00			1	2	3	4
yli 30,00	*)	1	1	2	3	4
yli 35,00	1	2	2	3	3	4
yli 40,00	2	2	3	3	3	4
yli 45,00	2	3	3	3	3	4
yli 50,00	3	3	3	3	3	4

EKL-auto on ajoneuvo, joka täyttää varoitusauton vaatimukset. Sen leveydestä, opasteista, väristä ja muista ominaisuuksista on annettu erikseen ohjeet.

*) Varoitusautoa on käytettävä, jos kuljetuksen leveys on yli 2,60 metriä ja pituus on yli 30,00 metriä ja ajoneuvoyhdistelmä ei täytä kuormaamattomana tieliikennelain 132 §:n mukaista kääntyvyysvaatimusta.

**) Yli 7 metriä leveässä erikoiskuljetuksessa on käytettävä vähintään neljää varoitusautoa, joista yksi tai useampi voi olla hälytysvarusteinen poliisiauto.

Kuva 4. Varoitusautojen vähimmäismäärä erikoiskuljetuksessa.

Muita kuljetukseen liittyviä logistisia seikkoja:

- Kustannustehokas kuljetustapa: kahden varoitusauton kuljetus – kolmen rekan letka, kukin alle 5 m leveä ja alle 35 m pitkä (2 elementtiä/rekka)
- Kunnilla on omia kuntakohtaisia erikoiskuljetusten aikarajoitteitaan
- Trafin säännöt erikoiskuljetuksille
  - Erikoiskuljetuksia saa olla ryhmässä enintään neljä
  - EKL-autoja tai varoitusautoja ja liikenteenohjaajia on oltava vähintään:
    1. niin monta kuin ryhmän suurin kuljetus yksin kuljetettaessa mitoiltaan edellyttää
    2. yksi ryhmän edellä ja yksi ryhmän takana; kahden tai kolmen kuljetuksen ryhmässä kuitenkin yksi, jos kaikkien kuljetusten leveydet ja pituudet ovat enintään tiellä yleisesti sallitut
    3. neljän kuljetuksen ryhmässä yksi kahden kuljetuksen jälkeen, jos kuljetuksista vähintään yksi ylittää tiellä yleisesti sallitun leveyden tai pituuden
    4. yksi jokaisen yli 6 metriä leveän tai yli 40 metriä pitkän kuljetuksen edellä ja takana.

Edellisestä voidaan päätellä, että logistiikka harvoin mitoittaa suunnittelua tai tilaelementtejä. Käytännössä elementtien leveyttä rajoittaa useammin rakennesuunnittelu (välipohjan paksuus, jännevälit) tai tehtaan tuotantolinjan koko. Pituuden osalta tarvitaan harvoin yli 12 metriä pitkiä tiloja. Logistiikka tulee huomioida tehokkaassa rakentamisessa, mutta sen ei saa antaa dominoida tilasuunnittelua.

Tuotannon ja kuljetusten kannalta tilaelementtien ihannekoko on 30–33 m². Tällöin tilaelementti painaa noin 15–17 tonnia ja myös työmaalla voidaan käyttää tavanomaista nostokalustoa. CLT-tilaelementti painaa karkeasti arvioituna 450 kg/m².

Tilaelementtien kuljetus

- Tilaelementtejä voidaan kuljettaa erikoiskuljetuksena maantiellä. Erilevyisissä ja -pituisissa kuljetuksissa tarvitaan eri määrä saattoautoja viranomaisten ohjeistuksen mukaan.
- Suunniteltujen elementtien leveys ei merkittävästi nosta kustannuksia €/asm², koska leveämmissä kuljetuksissa kustannusten lisäksi kasvaa myös kuljetettujen neliöiden määrä.
- Suositellut maksimimitat ovat: leveys 5,5 m, pituus 12 m ja korkeus 3,04 m.

6 Työmaa

As Oy Kirkkonummen Tinankartano. Kuva: Kuvatoimisto Kuvio Oy

Oikeilla menetelmillä tilaelementtien asennuksen tuottavuutta voidaan nostaa jopa yli 60 prosenttia. Tässä luvussa esitellään tärkeimpiä havaintoja, jotka nousivat esiin Tuottavuusloikka-hankkeen aikana kahden eri tilaelementtikohteen työmailla.

6.1. Tuottavuusloikka-hankkeiden kohteet

Tuottavuusloikka-hankkeen tarkoituksena oli havainnoida kahden kohteen työmaata ja niiden tuottavuutta: Hipposta Tampereella ja Kalonia Jyväskylässä.

Hippoksen hankkeessa rakennetaan yli 600 opiskelija-asuntoa yhden korttelin alueelle. Hanke toteutuu osin puurakenteisena ja osin betonirakenteisena. Hanke on viivästynyt alkuperäisestä aikataulusta: työmaan maanrakennustyöt käynnistyivät keväällä 2022, ja elementtiasennus alkaa arvioiden mukaan keväällä 2023. Tuottavuusloikka-hankkeen aikana Hippoksen kohteessa ei päästy tekemään työmaahavainnointia.

Kalonin hankkeessa rakennetaan Jyväskylään viisi kerrostaloa, joissa kaikki asuntokerrokset toteutetaan puurakenteisina ja alimmat kerrokset betonirakenteisina. Rakennuskustannusten nousun ja epäselvän kustannustason ja saatavuuden johdosta kohteen aloituspäätöstä ei ole tehty. Tuottavuusloikka-hankkeen aikana Kalonin kohteessa ei päästy tekemään työmaahavainnointia.

Hippos-hankkeen viivästyttyä työmaahavainnointia päätettiin sen sijaan tehdä Lumipuun opiskelija-asuntokohteen työmaalla Tampereen Hervannassa. Työmaavierailuilla havainnoitiin elementtiasennusta ja elementtiasennuksen jälkeisiä työvaiheita.

Kalon-hankkeen pysähtymisen johdosta työmaahavainnointia päätettiin tehdä Kuopion Nila -kohteessa, jossa havainnoitiin sekä elementtiasennusta että sisävalmistustöitä.

Seuraavaksi tarkastellaan keskeisiä työmaa-asennuksen tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä ja arvioidaan niiden kustannusvaikutuksia.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 1. Lumipuun julkisivun elementtien väliset vaaka- ja pystysaumat viimeisteltiin työmaalla.

6.2. Julkisivu

Lumipuun kohteessa julkisivut oli asennettu pääosin tehtaalla. Osa julkisivuista ja parvekekaiteista asennettiin työmaalla. Lisäksi julkisivujen elementtien väliset vaaka- ja pystysaumat viimeisteltiin työmaalla ja vesikattoon liittyvät seinäosuudet rakennettiin työmaalla.

Nilan kohteessa julkisivut ja niiden alle tulevat vaakakoolaukset asennetaan työmaalla. Julkisivu asennetaan työmaalla pystylaudoituksena, jossa laudat ylittävät elementtien rajapinnan.

Julkisivujen asentaminen työmaalla on työläämpää ja vaatii tehdasasennusta enemmän koneita. Se on myös alttiimpaa sään aiheuttamille häiriöille. Näin ollen työmaalla asennettu julkisivu on kustannuksiltaan kalliimpi ratkaisu verrattuna tehtaalla asennettuun julkisivuun. Työmaalla julkisivun asennustyöt vaativat nostokonekalustoa ja materiaalien siirto tai nosto kiinnityskohtaan on hitaampaa. Asennustyö tehdään työmaalla pystysuoraan seinään, kun taas tehtaassa on mahdollisuus asentaa vaakasuorassa. Työmaalla myös säästä johtuvat tekijät (lumi, jää, vesisade, tuuli, lämpötila) saattavat hidastaa asennusta ja siten kasvattaa kustannuksia.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 2. Kuopion Nila.

6.3. Ensimmäinen kerros

Lumipuun kohteessa toisen talon ensimmäinen kerros rakennettiin betonista, jonka päälle asennettiin asuntoelementit. Toisessa talossa asuntoelementit asennettiin suoraan perustusten päälle.

Nilan kohteessa elementit asennettiin suoraan sokkelin päälle lukuun ottamatta väestönsuojaa, joka rakennettiin betonisena työmaalla.

Betoninen ensimmäinen kerros pidentää työmaan läpimenoaikaa ja kasvattaa siten työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksia.

Kannattaa verrata, voisiko rakennuksen toteuttaa kokonaan puisena, jos väestönsuoja toteutetaan rakennuksen ulkopuolelle.

Ensimmäisen kerroksen rakentamiseen kytkeytyvää työmäärän ja -kustannusten ja toisaalta materiaalimäärän ja -kustannusten vertailua betoni- ja puutilaelementtivaihtoehtojen välillä ei saatu tehtyä. Vertailuun liittyvää kustannustietoa on puutilaelementtien osalta saatavissa, mutta työmaalla rakennettavan betoniratkaisun työt ja materiaalivirrat ovat vaikeampia kohdistaa vain ensimmäisen kerroksen osalle. Erillistutkimuksena se voidaan tehdä.

6.4. Tilaelementtien asennus

Valmistelevat työt

Lumipuun kohteessa kuusi elementtiä oli tuotu yöllä pihalle ja laskettu pukkien päälle. Kaksi elementtiä odotti kahden rekan lavalla. Nilan kohteessa rekan lavoilla ja pukeilla oli neljä elementtiä.

Tilaelementtejä on tyypillisesti tehtaalla valmiina enemmän kuin työmaalle on toimitettu. Tehtaiden nykykapasiteetilla ei elementtejä valmisteta samalla tuotantovauhdilla kuin niitä pystytään asentamaan. Näin ollen kuljetuskapasiteetti tahdistaa asennuksen, eikä mikään teknisesti estä asennuksen nopeampaa toteutusta.

Elementtejä kuljetetaan yleensä yöllä, koska kuljetusaikoja on usein rajoitettu kaupunkialueella. Elementtejä voidaan asentaa suoraan autosta, mutta tontin salliessa nosturin purkuetäisyydelle kannattaa tuoda kuorma elementtejä odottamaan aamun tai seuraavan päivän asennuksia. Tämä tuo myös joustoa työsuunnitteluun mahdollisten sääpäivien osalta.

Varastopukkina voidaan käyttää vakioitua jalkaa, jonka päälle elementit voidaan laskea ilman nosturia. Tämän ansiosta kuorma voidaan purkaa joustavasti ilman nostinta. Tontin käytön suunnittelussa tulee huomioida nosturin lisäksi elementtien varastopaikat nosturin ympärillä ja pitkän yhdistelmän ajoreitti niin, että elementit voidaan ajaa suunnitelluille paikoille. Lisäksi varastopaikkojen tulee olla tasattuna ja rakennettuina kantaviksi.

Elementtiasennuksen valmistelu alhaalla

- **Resurssit**
  - 2 henkilöä + autonosturi kuljettajineen (sekä Lumipuussa että Nilassa)
- **Läpimenoaika:** Lumipuu 20–30 minuuttia, Nila 15–20 minuuttia
- **Työvaiheet/havainnot**
  - Pakkauksen purku
  - Nila: poistettiin osa kuljetustuista ja lisättiin parvekkeelle väliaikaisia työmaakaiteita
  - Nila: nostorautojen kohdalle julkisivun alalaitaan sahattiin eristeeseen lovi
  - Turvalenkin kiinnitys elementin katolle
  - Koukkujen kiinnitys Lumipuussa nostoliinoihin, Nilassa nostorautoihin
  - Lumipuu: nosto pukeilta pihapedille, Nilassa nostettiin suoraan ylös
  - Lumipuu: julkisivusauman suojamuovin asennus niittaamalla (voitaisiin tehdä tehtaalla valmiiksi), Nilassa koko julkisivun peittävä suojamuovi asennettiin tilaelementin asennuksen jälkeen (voisiko pakkausmuovin jättää julkisivun osalta paikoilleen?)
  - Elementin säätö/tasapainotus vaakasuoraan nostoasentoon: Lumipuussa tasapainotusta tehtiin usein useampia kertoja, Nilassa ketjun pituus oli määritelty ensimmäisen elementtityypin asennuksen yhteydessä, joten lähti suoraan tasapainossa.
  - Elementin nosto kohteeseen

Alun valmisteluissa voidaan nähdä huomattava ero vakioitujen kiinnitys- ja nostotapojen välillä. Yli puolet elementtiasennuksen valmisteluajasta voidaan säästää, kun vakioidaan ja suunnitellaan sääsuojan avaaminen asennuksen mukaan, käytetään jätepuristinta sekä nostomenetelmää, jota ei tarvitse erikseen säätää jokaiselle elementille.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 3. Elementin nostaminen liinanostona.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 4. Yhdeltä puoleltaan avoimen elementin väliaikainen tuenta.

Elementtien asennus ylhäällä

- **Resurssit**
  - Lumipuussa 4 henkilöä, joista yksi lasku- ja kiinnitysvaiheissa henkilönostimella julkisivun puolella, Nilassa 3–4 henkilöä, joista 1–2 henkilöä ulkopuolella henkilönostimilla
- **Läpimenoaika:** Lumipuu 10–20 minuuttia, Nila noin 20 minuuttia
- **Työvaiheet/havainnot**
  - Lasku paikoilleen, kääntäminen oikeaan asentoon ja lasku kiinnitysrautojen väliin, loppukohdistus työkaluilla 1–3 mm:n toleranssilla kohdalleen
    - I. Lumipuu: Vanerin kohdalle tuleva, CLT:n takana oleva kertopuu kuulemma jäänyt joissain elementeissä loveamatta. Tällöin elementti jää vinoon vanerikiinnityksen päälle ja aiheuttaa sahaustyön, jota vielä tiellä oleva nostoliina vaikeuttaa.
    - II. Nila: Tiiviisti paikalleen rakennettu sisäväliseinä vaikeutti elementin laskua paikoilleen ja vieressä oleva porrashuone-elementti oli asuntoelementtiä korkeampi ja vaikeutti asennusta (nostosakkeli ei mahtunut, joten porrashuoneesta sahattiin pala pois).
  - Koukkujen irrotus
    - Lumipuu: nostoliinojen leikkaus, osa liinoista jätetään rakenteen sisälle. Nila: joidenkin nostorautojen irrotus, osa nostoraudoista jäi rakenteiden sisälle.
    - Ruuvikiinnitys alalaidasta
    - Sauman teippaus
    - Ruuvikiinnitys päältä vanerilevyillä
      - I. Lumipuu: kiinnitysvanerit loppuivat välillä kesken ja niitä käytiin hakemassa alhaalta (tehtaalla voitaisiin laittaa tarvittavat kiinnitysvanerit elementin päälle, esim. yhdellä ruuvilla kiinni)
    - Turvakoukkujen irrotus
- **Kaksio-/kolmioelementin asennukseen liittyvät lisätyövaiheet**
  - Laskun yhteydessä lattialämmitysputket ujutetaan naapurielementin sisälle
    - I. Lumipuu: lattialämmitysputket taittuvat lähes 90 asteen kulmaan asennuksen loppuvaiheessa, mikä johtaa rikkoutumisvaaraan (vastaanottavan elementin tekniikka-aukon alareunaan tulee tehdä viiste). Nilassa oli jätetty enemmän tilaa.
  - Nila: Kolmioelementissä oli useita kuljetustukia, jotka poistettiin asennuksen jälkeen. Tämä johtaa lattian paikkaustyöhön tukien kohdalla.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 5. Putkien ujutus viereiseen elementtiin.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 6. Kahden elementin välinen vaneriliitos elementtien katolla.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 7. Kahdesta moduulista koostuvan asunnon kytkettävät tekniikat.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 8. Kahden elementin välinen liitos asennuksen jälkeen.

Huolellisesti mietityn detaljiikan rooli korostuu lopullisessa asennuksessa. Koska tämä työvaihe on tahdistava vaihe, jokainen virhe aiheuttaa prosessissa koko muun asennuksen pysähdyksen. Pahimmillaan useampi elementtirekka, nosturi ja kuusi miestä odottaa, kun virhettä elementissä korjataan. Yksinkertaisten ja yksiselitteisten kiinnitystapojen merkitys korostuu, koska seuraavaa elementtiä ei päästä asentamaan ennen tarvittavia kiinnityksiä.

- **Muut havainnot**
  - Asuntoelementtien kipsilevysaumoihin syntyy kuljetuksen tai noston yhteydessä halkeamia seinälevyihin koko seinän korkeudelta sekä nurkkiin että keskelle seinää, alaslasketun katon saumaan ja ovien päälle. Vaurioita oli 0–5 kpl/huoneisto.
  - Asuntoelementtien lisäksi asennettiin porras-/hissikuiluelementtejä, käytävien tasoelementtejä ja teknisten tilojen elementtejä.
  - Hissikuiluun asennetaan työmaa-aikainen putoamissuojaus joka kerrokseen. Toisessa kohteessa suojaus oli asennettu tehtaalla valmiiksi, ja toisessa se asennettiin työmaalla.
  - Lumipuu: Rekan kuorman purku (elementin siirto pihalle) varasi nosturin, mikä keskeytti asennustyön (johtui sitä, että tontille mahtui kuusi tilaelementtiä, mutta toimitettiin kahdeksan, jolloin kaksi elementtirekkaa odotti tilan vapautumista).
  - Lumipuu ja Nila: Sääsuojien poistoon kuluvaa aikaa ei päästy havainnoimaan, mutta aamulla klo 7:n ja 9:n välillä oli asennettu yksi tilaelementti. Siten aamulla muuhun kuin asennukseen (sääsuojien poisto, työmaan avaus, yksi tauko) kului laskennallisesti noin yksi tunti.

Työmaiden perusteella yhden työvuoron aikana tilaelementtejä asennetaan noin kuusi kappaletta. Kustannus asennustyöryhmälle (nostokone kuljettajineen ja kuusi asentajaa) on noin 500 €/tunti, ja yksittäisen elementin materiaalikustannus on noin 100 €. Tästä voidaan laskea yhden tilaelementin asentamishinnaksi 725 €.

Jos asentamista hidastavia työvaiheita, kuten elementin tasapainotus, elementin sopiminen paikalleen, elementin suojaus, saadaan merkittävästi vähennettyä, voi asentamisvauhti nousta 10 tilaelementtiin/työvuoro. Näin yhden elementin asennushinnaksi saadaan 475 €. Tällöin tuottavuuskasvu asennuksen osalta olisi 67 % ja kustannusten alenema 35 %.

Huolellisen suunnittelun rooli korostuu, koska eniten asentamista häiritsevät niin sanotut ”pienet” virheet. Kiinnikeosien puuttuminen tai virheelliset kiinnikkeiden sijainnit voivat moninkertaistaa asennusajan.

Asennustahtia ei käytännössä pysty tehokkaasti kiristämään suunnitellusta vauhdista kesken asennuksen. Työmailla harvoin on varastopaikkoja suunnittelua suuremmalle määrälle elementtejä, ja myös kuljetuskalusto on varattu tietyn kokoisille saattokuljetuksille. Teknisesti asennuksessa ei ole hidastavia ja odottelua aiheuttavia työvaiheita, kuten juotosvaluja. Isokin kohde voidaan kaluston määrän salliessa asentaa hyvin nopeasti. Jos päästäisiin tässä esitettyyn 10 tilaelementtiin/työvuoro ja tehtäisiin kaksi työvuoroa päivässä, pystyttäisiin sadan tilaelementin kerrostalo asentamaan ilman säävarauksia yhdessä viikossa.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 9. Talotekniikkahormi Lumipuussa.

6.5. Sisävalmistuksen työvaiheet

Talotekniset kytkennät tekniikkakuilussa

Talotekniset työt tulisi tehdä tehtaalla mahdollisimman valmiiksi. Tekniikkakuilussa tulisi olla kaikki pystynousut valmiina, jolloin työmaalla yhdistetään vain putket toisiinsa. Näin ollen myös kuilun peittävä seinä voitaisiin asennusaukkoa lukuun ottamatta rakentaa tehdasolosuhteissa valmiiksi.

Kalon-kohteen suunnittelussa löydettiin ratkaisu, jossa työmaalla tehdään vain putkien liittäminen toisiinsa käytävällä sijaitsevan asennusluukun kautta. Myös käytävää palveleva talotekniikka on sijoitettu tilaelementin seinään.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 10. Tyhjä tekniikkakuilun varaus työmaalla.

Havainnoiduissa kohteissa talotekniikkakuilun tehdasvalmistusaste poikkesi toisistaan merkittävästi.

Erityisesti kuilun suunnittelussa tulee huomioida liitosten detaljiikka ja se, että liitokset pystytään kytkemään työmaalla aidosti pienellä työmäärällä. Huomiota kannattaa kiinnittää tarvittaviin paloeristyksiin, sillä eristystyö on työmaalla hidasta. Liitoskappaleiden suunnittelun lisäksi tulee suunnitella tarvittava eristystyö valmiskappaleineen. Tilaelementin asennukseen sisältyy aina toleransseja, joten putkiliitokset pitää suunnitella niin, että ne voidaan liittää toleransseista huolimatta. Tähän löytyy useita erilaisia vakioratkaisuja, joista tyypillisimpiä ovat erilaiset säädettävät kannakkeet, putken kiinnitys vain toisesta päästä ja erilaiset liukuliitokset.

Käytävän viimeistely

Kalon-kohteen suunnittelussa löydettiin ratkaisu, jossa porraskäytäväkokonaisuus voitiin valmistaa tehtaalla pintoineen valmiiksi. Keskeistä oli talotekniikan sijoittaminen siten, että käytävään ei tarvitse rakentaa alaslaskettua kattoa, ja talotekniikkatöiden tekeminen asennusluukun kautta. Nämä vähentävät käytävätöiden määrää niin paljon, että käytäväpinnat voidaan valmistaa tehtaalla. Kaiken kaikkiaan työmaan osuudeksi jäävät elementtirajapintojen listoitus ja taloteknisten töiden kytkennät.

Havainnoiduissa kohteissa on päädytty ratkaisuihin, joissa käytävätöitä tehdään pitkälti työmaalla. Tämä johtaa useiden kuukausien sisävalmistusvaiheeseen ja pidentää työmaan kestoa huomattavasti.

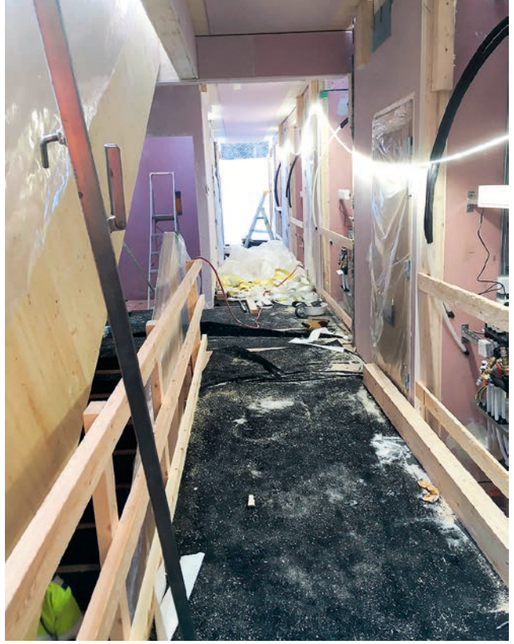
Asuntojen viimeistely

Tavoitteena on, että asunnot toimitetaan työmaalle ”sinetöityinä” eli asunnot ovat rakennustöiden osalta valmiit. Asunnoissa tehdään tarvittavat testit talotekniikkakytkentöjen jälkeen sekä lopuksi loppusiivous. Useasta elementistä koostuvissa asunnoissa tehdään elementtirajapinnassa talotekniset kytkennät ja rajapinnan viimeistely. Jotta asuntoihin ei tulisi vaurioita, niitä ei käytetä varastointiin.

Havainnoiduissa kohteissa asunnot oli eri syistä johtuen toimitettu työmaalle keskeneräisinä. Lattioita, listoituksia, kiintokalusteita, kodinkoneita ja talotekniikkaa sekä parvekekaiteita ja parvekkeen pinnoituksia oli asentamatta. Lisäksi asuntoelementtejä käytettiin puuttuvien tarvikkeiden ja käytävätarvikkeiden varastoina, mikä lisää valmiiden pintojen vaurioriskiä.

Yksi keskeinen työmaan läpimenoaikaa pidentävä tekijä on käytäväpintojen ja talotekniikan rakentaminen työmaalla. Tämä lisää työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksia. Jos käytävät rakennetaan tehtaalla mahdollisimman valmiiksi, kokonaistyömäärät ja -kustannukset pienenevät. Tehtaalla on paremmat olosuhteet, enemmän tilaa, materiaalisiirrot ovat helpompia ja työstöön tarvittavat koneet ja laitteet ovat valmiina. Asuntojen toimittaminen ”sinetöityinä” vähentäisi myös loppusiivouksen tarvetta ja läpimenoaikaa.

Asunnoissa tehtävät jälkityöt lisäävät siivouskustannuksia, ja esimerkiksi parvekkeiden jälkiasennus vaatii työkoneita, joita tehdasasennuksessa ei tarvita. Lisäksi asuntojen käyttäminen varastoina lisää siivouskustannuksia ja saattaa rikkoa pintoja, mikä



Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 11. Käytävä asennuksen jälkeen.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 12. Käytävä asennuksen jälkeen.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 13. Valmiin asunnon käyttö varastona.

Kuva: Toni Saarikoski

Kuva 14. Työnaikainen putoamissuojaus kiinnitettynä parvekkeelle.

johtaa lisätöihin ja -kustannuksiin. Kuljetuksista ja nostoista aiheutuviin elementtisaumojen rikkoutumisiin tulee selvittää syyt, tehdä tarvittavat rakenteelliset ratkaisut ja välttää niistä johtuvat lisäkustannukset. Asuntoelementit tulisi asentaa ”sinetöityinä”, eikä elementin sisällä tulisi työmaalla tehdä kuin tarvittavat talotekniikkatestit ja loppusiivous.

6.6. Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset

Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset poikkeavat tilaelementtikohteissa merkittävästi niin sanotuilla perinteisillä menetelmillä rakennettujen kohteiden käyttö- ja yhteiskustannuksista. Tilaelementtikohteiden käyttö- ja yhteiskustannusten laskentaan tulisikin laatia aivan oma mallinsa. Tehdasvalmistuksen osuus vaikuttaa työmaan kokonaisaikatauluun, joka puolestaan vaikuttaa esimerkiksi työmaan hallinnon sekä työmaatilojen ja niiden ylläpidon sekä rakennuksen lämmityksen ja työmaan vartioinnin kustannuksiin. Tehdasvalmistuksen osuuteen taas vaikuttavat erilaiset suunnitteluratkaisut, kuten mikä on alimman maanpäällisen kerroksen rakenne, rakennetaanko maanalaisia kerroksia, millainen julkisivu ja vesikatto rakennetaan ja miten valmiiksi käytävät voidaan tehtaalla valmistaa.

Seuraavassa on Talo 80 -nimikkeistön mukaisia huomioita tilaelementtikohteen käyttö- ja yhteiskustannuksiin vaikuttavista seikoista:

81 Työaikaiset rakenteet

- Työmaatilat
  - I. Tilojen tarve (laajuus ja aika) riippuu tehdastyön osuudesta
- Varastointi ja suojaus
  - I. Tilaelementit sisältävät kaiken materiaalin – näiden osalta varastoitavaa materiaalia ei ole, muiden elementtien osalta varastointitarve riippuu tehdastyön osuudesta.
  - II. Tehtaalla tuotetut elementit ovat sääsuojattuja
  - III. Elementtien varastointikulut: elementtien varastointi tehdasalueella, työmaan lähialueella tai työmaa-alueella
- Työturvallisuus
  - I. Tilaelementtikerroksissa on vähän putoamissuojattavia kohteita (hissikuilu)
  - II. Elementtiasennuksessa työryhmän jäsenien putoamissuojaus hoidettu vaijerikiinnityksellä
- Telineet, mastolavat
  - I. Telinetarve poistuu (kustannuksia ei ole), mikäli rakennuksen julkisivu asennetaan tehtaalla

82 Työnaikaiset asennukset

- Työmaa-aikaiset sähköasennukset
  - I. Tavoitetilassa tilaelementit ovat valmiita kokonaisuuksia, joiden osalta tarvetta ei ole
  - II. Elementtikerroksissa työmaasähköasennusten tarve riippuu tehdastyön osuudesta, työmaa-aikainen sähkökeskus tarvitaan

83 Työmaan koneet ja laitteet

- I. Elementtiasennuksessa käytetään autonosturia
- II. Elementtikerrosten muu tarve riippuu tehdastyön osuudesta

84 Työkoneet, työkalut, välineet

- I. Tavoitetilassa tilaelementit ovat valmiita kokonaisuuksia, joiden osalta tarvetta ei ole
- II. Tilaelementtien asennukseen tarvitaan henkilönostin ja joitakin työkaluja
- III. Elementtikerrosten muu tarve riippuu tehdastyön osuudesta

85 Työmaan käyttötarvikkeet

- I. Tavoitetilassa tilaelementit ovat valmiita kokonaisuuksia, joiden osalta tarvetta ei ole
- II. Elementtikerrosten muu tarve riippuu tehdastyön osuudesta

86 Työmaan käyttöaineet ja energia

- Sähkö, vesi, kaasu
  - I. Tavoitetilassa tilaelementit ovat valmiita kokonaisuuksia, joiden osalta tarvetta ei ole
  - II. Elementtikerrosten muu tarve riippuu tehdastyön osuudesta
- Lämmitys
  - I. Tilaelementit ovat lämmöneristyksen osalta valmiita, mikä vaikuttaa rakennustyönaikaisen lämmityksen tarpeeseen
  - II. Lämmitysaikaan vaikuttaa työmaan kokonaisaikataulu, mikä taas riippuu tehdastyön osuudesta. Nopealla aikataululla rakentaminen mahdollistaa rakennusajan sijoittamisen lämpimään vuodenaikaan.

87 Työmaakuljetukset

- Jäte
  - I. Tilaelementeistä syntyy työmaalla vain pakkausjätettä
  - II. Muilta osin jätekustannuksiin vaikuttaa tehdastyön osuus

91 Työmaan hallinto

- I. Hallinnon tarve (määrä ja aika) riippuu työmaatyön (tehdastyön) osuudesta ja työmaan aikataulusta. Tavoitetilassa työnjohtoon tarvitaan 1–2 henkilöä.

92 Avustavat rakennustyöt

- Työmaatilojen hoito
  - I. Tilojen siivouksen tarve (laajuus ja aika) riippuu sekä tehdastyön osuudesta (mitä töitä työmaalla tehdään ja paljonko näihin töihin tiloja tarvitaan) että työmaan aikataulusta (miten pitkään työmaatiloja tarvitaan)
- Siivous ja raivaus
  - I. Tavoitetilassa tilaelementtien sisällä ei tehdä siivous- ja raivaustöitä. Elementtien siivoustarve kuitenkin lisääntyy, mikäli elementeissä tehdään korjauksia, elementit toimitetaan puutteellisina tai niitä käytetään työmaalla varastoina.
  - II. Muilta osin kustannuksiin vaikuttaa tehdastyön osuus (esim. toimitetaanko käytävät, porrashuoneet, julkisivu valmiiksi pinnoitettuna työmaalle)
  - III. Kustannusten on arvioitu olevan karkeasti 1/3 verrattuna kokonaan työmaalla tehtyyn kohteeseen
- Loppusiivous
  - I. Tavoitetilassa tilaelementit toimitetaan ns. imuripuhtaana
  - II. Tilaelementtien siivoustarve lisääntyy, mikäli elementeissä tehdään korjauksia, elementit toimitetaan puutteellisina tai niitä käytetään työmaalla varastoina

Hyvin suunnitellussa tilaelementtikohteessa työnjohdon tarve työmaan aikana ja rungon asentamisen jälkeen on merkittävästi lyhyempi ja pienempi kuin perinteisessä rakentamisessa. Tämän tulee merkittävästi alentaa työmaan yhteis- ja käyttökustannuksia perinteiseen toteutukseen verrattuna.

Hankkeen lopun käyttöönottovaiheessa työmäärä ei kuitenkaan merkittävästi pienene, vaan vastaavat viranomais-, luovutus- ja muut tarkastukset tulee suorittaa aivan samalla tavoin kuin perinteisessäkin kohteessa.

6.7. Tavoitteellinen työmaa

Jotta tilaelementtien asennus työmaalla sujuisi jouhevasti ja tuloksellisesti, on kiinnitettävä huomiota seuraaviin asioihin:

- Työmaalla tehdään maatyöt ja maan alle tuleva talotekniikka sekä rakennetaan perustukset ja väestönsuoja. Muilta osin talo rakennetaan puutilaelementeistä eli myös alin kerros on väestönsuojaa lukuun ottamatta tilaelementtirakenteinen.
- Tilaelementit toimitetaan työmaalle ”sinetöityinä” eli tilaelementtien sisällä ei tehdä rakennustöitä muuten kuin monielementtiasuntojen rajapinnassa. Myös tekniset tilat toimitetaan työmaalle elementteinä ja valmiiksi kalustettuina.
- Talotekniset nousut on asennettu tehtaalla niin sanottuun talotekniikkakuiluun. Työmaalla tekniikat liitetään toisiinsa elementtirajapinnassa sekä kytketään tekniikka talteknisiin keskuksiin.
- Tilaelementteihin on tehtaalla asennettu julkisivu. Työmaalla julkisivun täydentäviä töitä tehdään elementtien rajapinnoissa.
- Käytävät on pinnoitettu valmiiksi tehtaalla. Käytävillä tehdään vain taloteknisten kytkentöjen töitä asennusluukkujen kautta sekä listoituksia elementtien rajapinnoissa. Sekä käytävää että asuntoja palveleva talotekniikka sijaitsee tilaelementtien kyljessä. Alaslaskettuja kattoja ei käytävillä tarvita.
- Vesikatto toimitetaan työmaalle elementteinä, joita käytetään myös tilaelementtiasennusten väliaikaisina sääsuojina.
- Häiriötön asennuskyvykkyys on 30 minuuttia/tilaelementti, mikä tarkoittaa tauot huomioiden noin 10 elementin asennusta yhdessä työvuorossa. Koska työvaihe on sääherkkä, asennustöitä tehdään suotuisalla säällä kahdessa vuorossa eli noin 20 elementtiä päivässä.
- Tavoitteena on tavanomaisen kerrostalon valmistuminen kaksi kuukautta viimeisen elementin asentamisen jälkeen.
- Nopea elementtien asentaminen ja työmaalla tehtävien sisävalmistustöiden minimointi johtavat merkittävään työmaan käyttö- ja yhteiskustannusten laskuun.

Jos kohteen käyttöönotolle ja tarkastuksille varataan yksi kuukausi ja kohteen asennukselle kaksi viikkoa (yhden viikon tehokas asennusaika, yhden viikon säävaraus), tilaelementtikerrostalo voidaan luovuttaa tilaajalle 3,5 kuukautta sen jälkeen, kun työmaalla on voitu aloittaa tilaelementtien asentaminen. Tarkkaa eroa perinteiseen työmaatoteutukseen ei voida esittää, mutta ero on joka tapauksessa useita kuukausia ja kymmeniä prosentteja.

Tilaajan tulee huomata, että tämä ei vaadi uusien innovaatioiden tai teknologioiden hyödyntämistä, vaan esitetyt ratkaisut ovat jo olemassa. Tuottavuuden nosto vaatii ennen kaikkea huolellista suunnittelua ja tiettyjen suunnitteluratkaisujen hyödyntämistä. Keskeisimmät ratkaisut ovat tehdasasenteisen julkisivun valinta, käytävän vakioidun toteutustavan hyödyntäminen, tehdasvalmisteisen vesikaton käyttäminen ja kohteen suunnittelu niin, että vältytään työmaalla toteutettavilta ratkaisuilta asuinkerroksissa.

Teollisuuden tulee tuottavuusloikan mahdollistamiseksi vakioida kiinnitys- ja asennusdetaljikka ja tuottaa lisää aineistoa suunnittelijoille ja tilaajille, jotta todetut hyvät käytännöt voidaan aidosti viedä osaksi suunnitteluratkaisuja. Tämän julkaisun luvussa 3 esitellään tärkeimmät ja suositeltavat kiinnitysdetaljit.

60 prosenttia parempi tuottavuus

- Teollisesti vakioitujen ratkaisujen käyttö mahdollistaa jo nykyisellään 3,5 kuukauden rakennusajan elementtiasennuksesta luovutukseen. Tärkeintä on, että valittu suunnitteluratkaisu mahdollistaa täysimääräisesti teollisen toteutuksen hyödyntämisen. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että julkisivun, parvekkeiden, kerrostalon käytävän ja talotekniikan ratkaisut valitaan niin, että ne pystytään toteuttamaan valmiiksi tehtaalla.
- Tuottavuusloikka-hankkeessa tunnistettiin useita kehityskohteita asennuksessa, työmaatyöskentelyssä ja käytettyjen suunnitteluratkaisujen vakioinnissa. Tilaelementtien asennuksen tuottavuutta voidaan nostaa yli 60 % parantamalla suunnittelukäytäntöjä ja vakioimalla käytettyjä menetelmiä. Varsinaisia uusia menetelmiä ei tarvitse keksiä, vaan parannus on otettavissa käyttöön heti.
- Työmaan osalta tilaelementtiasennuksen jälkeistä työmaa-aikaa voidaan lyhentää useilla kuukausilla. Tämäkin tarkoittaa kymmenien prosenttien tuottavuusloikkaa työmaatyön osalta.

7 Teollinen puurakentaminen 2.0

As Oy Turun Puulinna. Kuva: Wellu Hämäläinen

7.1. Tuottavuusloikka-hankkeen johtopäätökset

Tilaelementtirakentaminen muuttaa koko rakentamisen prosessia

Lähtötilanteessa tilaelementtikerrostalon kustannuksista 3–5 % syntyi suunnittelusta ja tilaajan kustannuksista. Kohteesta riippuen 20–55 % oli tilaelementtitehtaan kustannuksia. Työmaan kustannukset vaihtelivat välillä 45–80 %. Hankkeen keskeinen löydös oli, että suurin tehokkuuspotentiaali on tehtaalla tehtävässä työssä. Viemällä työtä työmaalta tehtaalle voidaan työn tuottavuutta parantaa hankkeessa kuvatuilla tavoilla.

Kärjistetysti sanottuna tehtaan kiinteät kulut ovat lähtötilanteessa suhteessa korkeammat kuin työmaan kulut, mutta tuomalla suurempi osa työstä tehtaalle työn tuottavuutta saadaan parannettua ja kiinteiden kulujen muodostamia kustannuksia pienennettyä. Kiinteitä kuluja on huomattavasti helpompaa vähentää työmaalta kuin tehtaalta. Tärkein tekijä on, että suuri osa työmaan hallintokuluista on aikasidonnaisia. Vähentämällä työtä työmaalta, pystytään vähentämään työmaan aikaa. Kun työ vähenee, työnjohtoa ja muita resursseja voidaan pienentää myös rakentamisen ajalta. Vastaavasti volyymin nostaminen tilaelementtitehtaalla ei lineaarisesti nosta toimihenkilötarvetta tai tarvetta suurempiin tiloihin, jolloin yksikkökustannus pienenee. Kiinteiden kulujen kannalta tilaelementtitehtaan käyttöaste on kriittinen tekijä. Usein onkin järkevää ajaa prosessin pullonkaula tilaelementtitehtaalle ja näin saada hankkeelle kustannushyöty korkeasta käyttöasteesta.

Esitetyt vakiointi- ja kehitystyöt johtivat siihen, että työn jakautuminen muuttui merkittävästi. Tilaelementtitehtaalla tehdään esitetyssä mallissa 65–70 % koko hankkeen arvosta, kun työmaalla tehdään enää 27–30 % arvosta. Suunnittelun prosenttiosuus on 1,5–3 %. Ottamalla nämä muutokset käyttöön saavutettiin esitetty 20 %:n tuottavuusparannus hankkeessa.

Suunnittelu tuottavuuden parantamisen perustuksena

Käytännön suunnittelutyön määrä laskee vakioinnin vuoksi dramaattisesti. Koska koko arvo on laskenut 20 % ja prosentuaalinen osuus kaksi prosenttiyksikköä, on suunnittelun esitetty työmäärä puolittunut. On ilmeistä, että hankkeissa on käytettävä vakioratkaisuja, jotta tämä toteutuu. Merkittävä osa suunnittelijoiden työstä on esitetyssä mallissa viranomaiskatselmuksia, yhteensovitusta ja laadunvalvontaa, jota ei voi vakioida tai ottaa pois prosessista. Matalan tuottavuuden kuvien piirtämisen suhteellinen osuus laskee taas merkittävästi mallissa.

Hankkeen keskeisiä lopputuloksia on, että suunnittelu toimii kaiken tuottavuuden lähtökohtana. Nykyisissä hankkeissa käytettiin paljon rahaa ja työtä virheiden korjaamiseen ja yksityiskohtien ratkaisemiseen tehtaalla tai työmaalla. Suunnittelulla ei tarkoiteta tässä pääsuunnittelijoita, vaan kaikkea suunnittelua pääsuunnittelusta tuotanto- ja työsuunnitteluun.

Työn siirtäminen tehtaalle lisää tuottavuutta

Työmaan osalta suurin selittävä tekijä on työn siirtäminen työmaalta tehtaalle, mikä laskee suhteellista osuutta hankkeen arvosta. Tuottavuutta saavutetaan tehokkaammalla työmaan resursoinnilla ja lyhyemmällä rakennusajalla. Toinen merkittävä tekijä tuottavuuden kasvussa on vakioitujen liitosratkaisujen hyödyntäminen työmaalla. Aikaisemmin julkisivun panelointi voitiin tehdä työmaalla, mutta nyt käytetään valmiiksi työstettyä listaa, joka asennetaan työmaalla paikalleen. On kuitenkin korostettava, että työmaan osalta työtapoihin liittyviä innovaatioita on vähän ja tuottavuus saavutetaan pääosin oikeilla suunnitteluratkaisuilla. Tiettyjen työvaiheiden osalta, erityisesti asennuksessa, otetaan kymmenien prosenttien tuottavuusloikka paremman suunnittelun ja työsuunnittelun ansiosta.

Suurin tuottavuusloikka toteutetaan tehtaalla. Prosentuaalisesti merkittävät muutokset ovat tulosta siitä, että kaikki yhteiset tilat väestönsuojia lukuun ottamatta toteutetaan tehtaalla valmiiksi asti. Käytävät toteutetaan valmiille pinnoille, ja vain liitostyöt jäävät työmaalle. Liittyvät rakenteet, kuten parvekkeet, on tehty valmiiksi tehtaalla. Talotekniset järjestelmät on valittu ja toteutettu niin, että ne pystytään rakentamaan valmiiksi tehtaalla mahdollisimman pitkälle. Tässä hankkeissa esitetyillä ratkaisuilla ja vakioinneilla yksittäisten työvaiheiden tuottavuus nousi kymmeniä prosentteja. Tämä muutos mahdollisti koko rakennushankkeen tuottavuuden parantamisen 20 prosentilla.

Avoin yhteistyö on avainasemassa kehityksessä ja käyttöönotossa

Kaikkien hankkeessa esitettyjen ratkaisujen käyttöönotto vaatii avointa yhteistyötä koko rakentamisen alalla. Tämä tarkoittaa toimijoita kaavoittajista, maanomistajista, asukkaista, suunnittelijoista, rakentajista, materiaalituottajista ja tehtaista lähtien. Jo suhteellisen pienissä hankkeissa osapuolten määrä kasvaa kymmeniin. Osaoptimointi ja omaan pussiin pelaaminen ei mahdollista alan tuottavuuden kasvattamista. Kaikessa toiminnassa pitää pyrkiä strategisesti kohti parempaa tuottavuutta ja rakentamista. Tuottavuusloikka-hankkeissa saavutettu 20 %:n tuottavuusloikka on vasta alkua, ja jatkokehityskohteiden työlista on pitkä. Vasta kun toimintaa kehitetään käytännössä, parhaat ideat nousevat esille.

Koko toimialan täytyykin laittaa kädet saveen seuraavien kehitysaskelien ottamiseksi. Ympäristötehokkuuden tavoitteet eivät ole kadonneet mihinkään, vaan tiukentuvat koko ajan. Tuottavuuden jatkuva parantaminen on avain yhteiskunnan, tilaajien ja meidän kaikkien tavoitteiden saavuttamiseksi.

7.2. Jatkotutkimustarpeet

Tuottavuusloikka-hankkeen aikana nousi esiin merkittäviä jatkotutkimustarpeita, joista tässä käsitellään keskeisimpiä. Teollisen rakentamisen kehitystyössä on vasta raapaistu kokonaisuuden potentiaalia. Kaikilla rakentamisen osapuolilla materiaalista riippumatta on merkittäviä kehitysmahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Tuotteiden ja palveluiden vakiointi

Keskeisin jatkotutkimistarve on TilaPES-hankkeen käynnistäminen. Hanke käsittelisi tilaelementtirakentamista kokonaisuutena vastaavasti kuin HalliPES tai RunkoPES on aikanaan esittänyt vakioituja ratkaisuja näihin tarpeisiin. Yhteisesti määritelty TilaPES luo edellytykset myös muulle kehitys- ja vakiointityölle, kuten tila-

Kuva: Wellu Hämäläinen

Kuva 1. Puukerrostalo Turun Linnanfältissä.

pohjaiselle kustannusarvioinnille. Kyseessä on siis perustavanlaatuinen tarve ja ehdottomasti priorisoitava seuraava askel.

Tuotteiden vakiointia tulee jatkaa. Keskeisiä vakioitavia ratkaisuja ovat porrashuoneet, parvekkeet, yhteistilat ja muut asuntojen ulkopuoliset rakenteet. Myös taloteknisten ratkaisujen vakiointi ja teollinen suunnittelu ovat keskeisiä. Alalla on jo niihin paljon toimivia käytäntöjä. Tärkeintä ei siksi ole kehittää täysin uusia ratkaisuja, vaan ensiksi käytäntöjä tulee yhtenäistää ja sopia tilaajien kannalta järkevistä vakioitavista ratkaisuista.

Avoin tieto ja tiedon jakaminen

Vakioitujen suunnitteluratkaisujen päivittämistä ja julkaisua pitää kehittää. Tällä hetkellä ratkaisuille ei ole yhtenäistä jakoalustaa, jota eri suunnitteluohjelmat pystyisivät sellaisenaan hyödyntämään kirjastomaisesti. Ensimmäisenä jatkokehityskohteena on, että teollisuuden tulee julkaista käytetyt ratkaisut valmiiksi tietomalleihin sopivina objekteina tai muussa suunnittelijoita palvelevassa muodossa. Tieto on siis avoimesti saatavissa, mutta se pitää saada mahdollisimman helposti hyödynnettäväksi.

Toisena koko rakennusalaa koskevana kehityskohteena olisi sopia, mikä on yhteinen tapa jakaa tietomallipohjaista tietoa niin, että eri ohjelmistot pystyvät hyödyntämään sitä mahdollisimman saumattomasti ilman ihmistyötä tiedonsiirrossa. Tiedonhallinnan kokonaisuus rakennusalalla tulee kokemaan tulevina vuosina merkittäviä muutoksia jo lainsäädännön kautta, kun rakennetun ympäristön tietojärjestelmä otetaan käyttöön. Lisäksi tuotetietoja kootaan aktiivisesti yhteisiin tietokantoihin ja digitalisaatiota edistetään monella tavalla. Puurakentamisalan tulee huolehtia, että ratkaisut ja tuotteet on huomioitu tässä kokonaiskehityksessä ja että ala on toisaalta tuottanut tietoa oikeassa muodossa, jota kaikki osapuolet voivat hyödyntää.

Kustannustiedon kehittäminen ja kerääminen

Tyypillisesti tilaajat arvioivat hankekehitysvaiheessa uuden kohteen kustannuksia ja laativat viitesuunnitelmien tai tilaohjelman pohjalta tilapohjaisen kustannusarvion. Tilapohjaisia kustannusarvioita tarjoavat useat kaupalliset toimijat, ja yleensä niiden kustannustieto perustuu tiettyyn parametriikkaan ja merkittävään tilastolliseen massaan jo toteutuneista kohteista. Tilaelementtikohteille ei ole olemassa kaupallisia laskentaohjelmia, joten tilaajat eivät pysty normaalissa kehitysprosessissaan laskemaan tavanomaisin keinoin arviota kohteensa kustannuksista. Tämä on kriittinen pullonkaula ratkaistavaksi.

Ensimmäinen asia on avoimen kustannustiedon lisääminen. Tuottavuusloikka-hankkeet ovat osaltaan lisänneet avointa kustannustietoa, mutta tämä on vasta alku. Tilastollisesti merkittävän alustan luominen tilaajien kesken olisi keskeinen lähtötieto tilapohjaisen kustannusarvioinnin taustaksi. Toisena kehityskohteena on itse laskentamallien rakentaminen. Tuottavuusloikka-hankkeen analyysit ja kustannustieto luovat erinomaisen pohjan laskentamallin rakentamiseksi.

Toinen kustannusarviointiin liittyvä kehityskohde on, että perinteiset kustannusnimikkeistöt, kuten Talo 80 tai Talo 2000, lähtevät perinteisestä paikallarakentamisesta. Nimikkeistöissä tilaelementti sisältää nimikkeitä useasta pääryhmästä. Nimikkeistöt pitäisi sovittaa yhteen tilaelementoinnin kanssa.

Tilaelementtirakentaminen muuttaa koko rakentamisen prosessia niin merkittävästi, että kaikki prosessien vaiheet ja vakioidut työmallit sopimuslomakkeista ja ohjeista alkaen tulee päivittää tilaelementtirakentamiseen soveltuviksi. Tästä yhtenä esimerkkinä on tietomallintaminen ja puutuotteiden yhteisten mallinnuskäytäntöjen sopiminen. Nykyisin eri toimijat käyttävät omia nimikkeistöjään ja mallinnuskäytäntöjään ja suunnitelmia joudutaan tekemään useampaan kertaan tai päivittämään, jotta eri rajapinnoissa voidaan hyödyntää jo luotuja tietoja.

Osaamisen kehittäminen

Kun teollinen valmistusaste nousee, käytetyt ratkaisut monimutkaistuvat ja tehokkuusvaatimukset kohoavat, kasvaa vastaavasti myös vaatimus osaamisesta ja sen lisäämisestä. Alalla on perinteisesti puhuttu, että suunnittelijoita on vähän, mutta teollisessa rakentamisessa osaamisen kasvattamisen vaade kohdistuu ensisijaisesti tuotannosta ja hankekehityksestä vastaaviin henkilöihin. Työnjohdon, tuotantopäälliköiden ja tehtaanjohtajien kyky ja ymmärrys Lean-ajattelusta, jatkuvasta parantamisesta, nykyaikaisista digitaalisista työkaluista ja automatiikan mahdollisuuksista on keskeinen edellytys tuottavuusloikan ottamiseen tuotantolaitoksissa. Toimihenkilöiden osaamisen kasvattaminen tulee huomioida omana kokonaisuutena samalla, kun toimintamalleja kehitetään muilla osa-alueilla.

Pitkällä aikavälillä tulee tutkia parametrisen suunnittelun, automaation ja robotiikan mahdollisuuksia rakentamisessa. Niitä ei vielä ole juurikaan hyödynnetty, ja niiden potentiaali saattaa ajan kuluessa olla vielä isompi kuin nyt otetut tuottavuusloikat.

Puupäivän järjestää Puuinfo

PUUPÄIVÄ

3.11.2022 Messukeskus Siipi

Tervetuloa alan suurimpaan tapahtumaan Helsinkiin.

Tule kuulemaan Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka -hankkeen tuloksista ja kuntien puurakennushankkeista Puupäivään!
Tänä vuonna Puupäivässä on neljä rinnakkaisseminaaria, joissa käsitellään laajasti puuarkkitehtuuria, rakennustekniikkaa ja puurakentamista.
Päivän päätteeksi jaetaan vuoden 2022 Puupalkinto.

Ohjelmassa mm.

- Arkkitehtuuria, teknistä suunnittelua ja kaavoitusta
- Kilpailukykyä ja rakennuttamista
- Sisustamista ja uusia tuotteita
- Puumarkkinapäivä
- Hirsirakentamisen päivä

Puupäivä 2022 toteutetaan hybriditapahtumana. Livetilaisuudessa valittavanasi ovat kaikki neljä seminaaria. Virtuaalisesti voit osallistua suunnittelija- ja rakennuttajapäivään.

Seuraa PUUPAIVA.COM ja ilmoittaudu 20.10. mennessä.

Yhteistyössä:

SWECO

peikko

Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment

TUOTTAVUUSLOIKKA – Lääke parempaan laatuun ja hintojen nousuun?

RAKENTAMISEN TUOTTAVUUS on polkenut paikallaan vuosikymmeniä. Maailma on epävarmuuden tilassa, korot nousussa ja inflaatio on ennätyskorkea. Asumisen kasvavat kulut aiheuttavat yhteiskunnallisia ongelmia. Samaan aikaan koko yhteiskunnan hiilipäästöjä tulee leikata ennätyksellisen nopeasti.

JOTTA RAKENTAMINEN PYSTYY VASTAAMAAN näihin haasteisiin, sen täytyy ottaa tuottavuusloikka. Teollisen esivalmistuksen myötä työtä voidaan siirtää työmaalta tehtaalle, mikä kasvattaa tehokkuutta merkittävästi. Tehokkuuden nostamisen keinot ovat muilta teollisuuden aloilta tuttuja: tuotteiden ja ratkaisujen vakiointia, pidempien sarjojen hyödyntämistä, toteutuksen pilkkomista pienempiin osiin ja osavalmisteiden hyödyntämistä. Rakentamisessa nämä keinot vaativat kaikkien osapuolien sitoutumista kaavoittamisesta tehtaaseen, rakentajiin ja suunnittelijoihin asti.

TEOLLINEN VALMISTAMINEN ei muuta rakentamista vain teknisesti vaan se muuttaa koko perinteisen rakentamisen liiketoimintamallia. Tässä julkaisussa tutkitaan teollisen valmistamisen potentiaalia kahdessa todellisessa rakennushankkeessa ja pureudutaan tekemisen käytännön ongelmiin. Julkaisussa esitetään laajasti toimenpiteitä, vakioituja detaljeja ja suunnitteluratkaisuja sekä monia teollistamisen kipupisteitä. Lopputuloksena todetaan, että tilaelementtirakentamisella tuottavuutta voidaan parantaa pienin toimenpitein jopa 20 %!

PUUINFO
Puutuoteteollisuus
Ympäristöministeriö
Miljöministeriet
Ministry of the Environment