



# Puurakentaminen Euroopassa

LeanWOOD

Esa Nykänen | Tarja Häkkinen | Markku Kiviniemi |  
Pertti Lahdenperä | Sakari Pulakka | Antti Ruuska |  
Mikko Saari | Sirje Vares | Yrsa Cronhjort |  
Pekka Heikkinen | Tomi Tulamo | Philip Tidwell |



# **Puurakentaminen Euroopassa**

**LeanWOOD**

---

Esa Nykänen, Tarja Häkkinen, Markku Kiviniemi, Pertti  
Lahdenperä, Sakari Pulakka, Antti Ruuska, Mikko Saari  
& Sirje Vares

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Yrsa Cronhjort, Pekka Heikkinen, Tomi Tulamo & Philip  
Tidwell

Aalto-yliopisto



ISBN 978-951-38-8535-9 (nid.)  
ISBN 978-951-38-8534-2 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)  
VTT Technology 297  
ISSN-L 2242-1211  
ISSN 2242-1211 (Painettu)  
ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8534-2>  
Copyright © VTT 2017

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy  
PL 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)  
02044 VTT  
Puh. 020 722 111, faksi 020 722 7001

Teknologiska forskningscentralen VTT Ab  
PB 1000 (Teknikvägen 4 A, Esbo)  
FI-02044 VTT  
Tfn +358 20 722 111, telefax +358 20 722 7001

VTT Technical Research Centre of Finland Ltd  
P.O. Box 1000 (Tekniikantie 4 A, Espoo)  
FI-02044 VTT, Finland  
Tel. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7001

## Esipuhe

Euroopassa on nostetta puukerrostalojen rakentamiselle. Eurooppalainen projekti "Innovative lean processes and cooperation models for planning, production and maintenance of urban timber buildings (leanWOOD)" on osa WoodWisdom-ohjelmaa. Suomen projekti toteutui Tekes-hankkeena siten, että projektilla on kansallinen johtoryhmä ja suomalaiset tutkimusosapuolet (VTT ja Aalto), jotka ovat osa eurooppalaista projektikonsortiota.

Tämä julkaisu kuvaa projektin tuloksia Suomen toimijoiden näkökulmasta kuitenkin siten, että nykytilanne (SWOT) ja arkkitehtisuunnittelu on kuvattu Euroopan ta-  
soisesti.

Julkaisussa esitellään sekä haastattelututkimusten että koekohteiden tuloksia ja-  
ettuna lukuihin seuraavasti: 1) Yleistä ja puurakentamisen kehittämiskohteet, 2) Standardoitujen puurakenteiden käyttö rakennussuunnittelussa, 3) Puukerrostalon resurssitehokkuus ja hiilijalanjälki, 4) Hankeprosessit ja tietomallintaminen, 5) Ener-  
giatehokkaan Lean-puukerrostalorakentamisen tuottavuus- ja talousvaikutukset, 6) Esimerkkikohteet.

Projektin johtoryhmässä olivat Mika Airaksela (Rakennusliike Reponen), Tomi Toratti (Puutuoteteollisuus Ry), Tero Hasu (Kouvola Innovation Oy), Vesa Juntila (Kouvola Innovation Oy), Pekka Heikkinen (Aalto), Yrsa Cronhjort (Aalto), Jari Virta (Kiinteistöliitto), Ilmari Absetz (Tekes), Tarja Häkkinen (VTT) ja Esa Nykänen (VTT).

Projekti oli kokonaisuutena monipuolinen, ja tämä julkaisu on laajan yhteistyön tulos.

Espoossa 10.4.2017

Tekijät

# Sisältö

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Esipuhe.....</b>                                                                                              | <b>3</b>  |
| <b>English summary.....</b>                                                                                      | <b>7</b>  |
| <b>Building with timber in Europe – a SWOT analysis .....</b>                                                    | <b>7</b>  |
| Overview of the survey results .....                                                                             | 7         |
| Summary and conclusions.....                                                                                     | 9         |
| <b>Standard timber structures for Lean architectural design.....</b>                                             | <b>12</b> |
| Lean construction and design .....                                                                               | 12        |
| Pre-designed standardized details for timber buildings .....                                                     | 13        |
| Usability in practice.....                                                                                       | 14        |
| Conclusions .....                                                                                                | 15        |
| <b>Resource efficiency in multi-storey wooden buildings.....</b>                                                 | <b>17</b> |
| <b>Project processes.....</b>                                                                                    | <b>19</b> |
| Need for a change.....                                                                                           | 19        |
| Alternative delivery processes .....                                                                             | 20        |
| Use of alternative processes.....                                                                                | 20        |
| Needs for development of building information modelling (BIM) .....                                              | 21        |
| <b>Effect of Lean on energy-efficient multi-storey building construction<br/>    productivity and cost .....</b> | <b>23</b> |
| Case.....                                                                                                        | 23        |
| Conclusions .....                                                                                                | 24        |
| <b>1. Yleistä.....</b>                                                                                           | <b>25</b> |
| 1.1 Puurakentamisen kehittämiskohteet .....                                                                      | 25        |
| 1.1.1 SWOT-kysely.....                                                                                           | 25        |
| 1.1.2 Tulosten yleiskatsaus.....                                                                                 | 25        |
| 1.2 Osatulokset .....                                                                                            | 27        |
| 1.2.1 Vahvuudet .....                                                                                            | 27        |
| 1.2.2 Heikkoudet .....                                                                                           | 29        |
| 1.2.3 Mahdollisuudet.....                                                                                        | 31        |

|           |                                                                                              |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1.2.4     | Uhat .....                                                                                   | 32         |
| 1.3       | Yhteenveto .....                                                                             | 34         |
| <b>2.</b> | <b>Standardoitujen puurakenteiden käyttö rakennussuunnittelussa .....</b>                    | <b>36</b>  |
| 2.1       | Johdanto .....                                                                               | 36         |
| 2.2       | Lean-rakentaminen ja suunnittelu.....                                                        | 36         |
| 2.3       | Vakioratkaisut ja -detaljit puurakennusten suunnittelussa .....                              | 37         |
| 2.3.1     | Rakennetyyppi- ja detaljikirjastot: sisältö, saavutettavuus ja käytetyt tiedostomuodot ..... | 40         |
| 2.3.2     | Rakenneratkaisujen vertailu: case huoneistojen välinen välipohja ..                          | 45         |
| 2.3.3     | Lisämateriaali .....                                                                         | 50         |
| 2.4       | Käytettävyys.....                                                                            | 51         |
| 2.5       | Johtopäätökset .....                                                                         | 52         |
| <b>3.</b> | <b>Puukerrostalon resurssitehokkuus ja hiilijalanjälki .....</b>                             | <b>54</b>  |
| 3.1       | Resurssitehokkuuden määritelmät.....                                                         | 54         |
| 3.1.1     | Resurssitehokkuus.....                                                                       | 54         |
| 3.1.2     | Menetelmä.....                                                                               | 55         |
| 3.1.3     | Indikaattorit.....                                                                           | 55         |
| 3.2       | Puukerrostalojen rakentaminen .....                                                          | 56         |
| 3.2.1     | Puukerrostalot .....                                                                         | 56         |
| 3.2.2     | Puumateriaalit ja kasvihuonekaasupäästöt.....                                                | 57         |
| 3.2.3     | Rakentamisen aikainen energiankulutus .....                                                  | 60         |
| 3.3       | Rakennuksen materiaalitehokkuuteen vaikuttavat tekijät .....                                 | 61         |
| 3.3.1     | Rakennuksen muoto .....                                                                      | 61         |
| 3.3.2     | Rakenteet ja materiaalit.....                                                                | 64         |
| 3.3.3     | Puukerrostalojen materiaalien käyttö ja jätemäärät.....                                      | 67         |
| 3.3.4     | Puukerrostalojen hiilijalanjälki.....                                                        | 72         |
| 3.4       | Yhteenveto ja johtopäätökset .....                                                           | 74         |
| <b>4.</b> | <b>Hankeprosessit ja tietomallintaminen .....</b>                                            | <b>77</b>  |
| 4.1       | Kehittämistarpeet ja -mahdollisuudet .....                                                   | 77         |
| 4.2       | Havainnot seurantakohteista .....                                                            | 79         |
| 4.2.1     | Tapauskuvaukset.....                                                                         | 79         |
| 4.2.2     | Haastattelututkimuksen tulokset .....                                                        | 80         |
| 4.3       | Tietomallinnuksen kehitystarpeet hankeprosessissa .....                                      | 84         |
| 4.4       | Hankinta- ja toteutusprosessit .....                                                         | 87         |
| 4.4.1     | Suunnittele ja rakenna -hankkeiden prosessit .....                                           | 88         |
| 4.4.2     | Allianssihankkeiden prosessit.....                                                           | 96         |
| 4.4.3     | Toteutusmuotojen ja prosessien käyttötilanteet .....                                         | 100        |
| 4.5       | Lopuksi .....                                                                                | 102        |
| <b>5.</b> | <b>Energiatehokkaan Lean-puukerrostalarakentamisen tuottavuus- ja talousvaikutukset.....</b> | <b>104</b> |
| 5.1       | Puurakenteisen kerrostalon Lean nZEB -konsepti .....                                         | 105        |

|           |                                               |            |
|-----------|-----------------------------------------------|------------|
| 5.1.1     | Yleiset Lean-vaikutukset.....                 | 105        |
| 5.1.2     | Tuottavuusvaikutukset.....                    | 106        |
| 5.1.3     | Energiatehokkuus ja kustannusvaikutukset..... | 107        |
| 5.1.4     | Sisäolosuhteet .....                          | 108        |
| <b>6.</b> | <b>Esimerkkikohteet .....</b>                 | <b>110</b> |
| 6.1       | Yleistä kohteista .....                       | 110        |
| 6.1.1     | Kivistö .....                                 | 112        |
| 6.1.2     | Eskolantie.....                               | 115        |
| 6.1.3     | Kuninkaantammi.....                           | 118        |
|           | <b>Lähdeluettelo.....</b>                     | <b>122</b> |

## **Liitteet**

Liite A: leanWOOD T4.1 Learning from Practice

## **Tiivistelmä**

## **Abstract**

## English summary

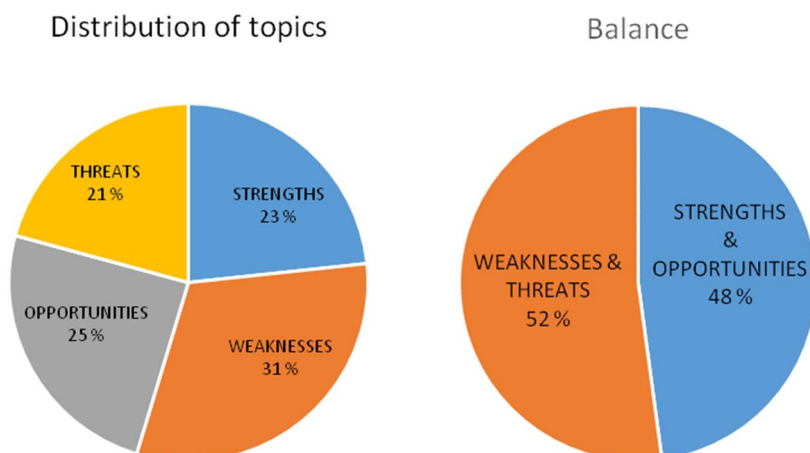
### Building with timber in Europe – a SWOT analysis

This chapter is a result of work in section T4.1 'Learning from Practice' of the transnational project *Innovative lean processes and cooperation models for planning, production and maintenance of urban timber buildings* (leanWOOD) realized under the WoodWisdom-NET ERA-NET+ funding scheme. It presents viewpoints on European timber construction collected from survey data gathered from participants and stakeholders in the project.

The survey consisted of 4 questions aimed at assessing knowledge gained from practice during the first year of project work. The survey was distributed on May 15<sup>th</sup> and the last responses were documented on June 15<sup>th</sup> 2015. The survey had 12 respondents, including researchers from various fields, practicing architects and industry representatives. Responses were collected in writing and anonymously.

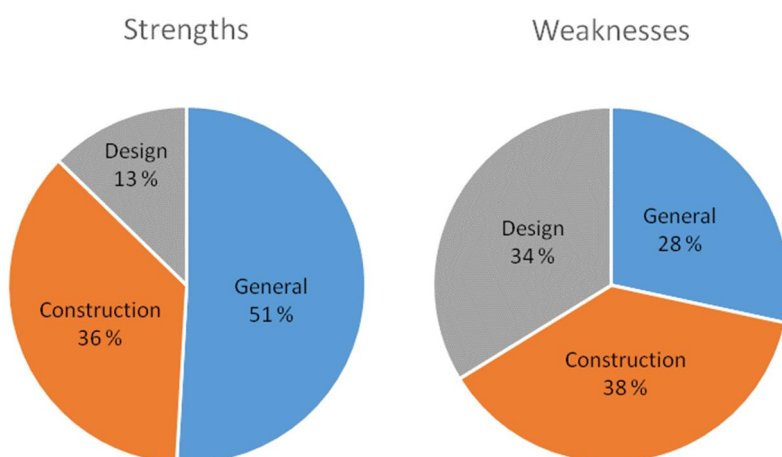
#### Overview of the survey results

The survey responses were organized on a map and grouped according to the schema of strengths, weaknesses, opportunities and threats (SWOT). The total number of comments in the map across the topics was 236. The distribution of comments was rather even, with 23% strengths, 31% weaknesses, 25% opportunities and 21% threats. The distribution and balance between positive and negative attributes are illustrated in Figures 1 and 2.

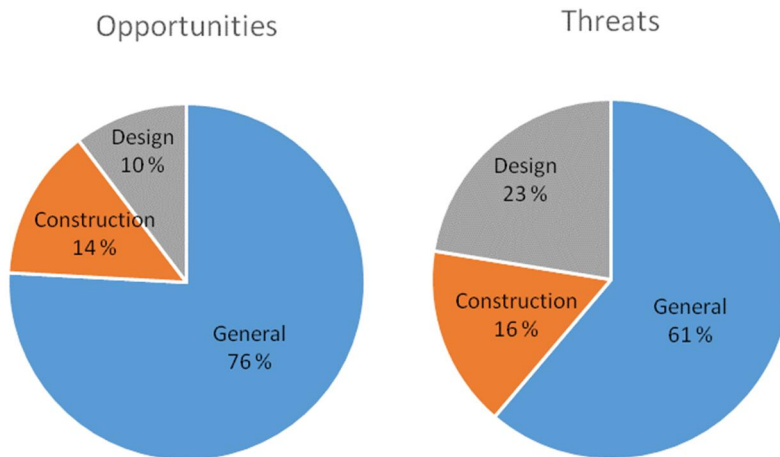


**Figure 1 and Figure 2.** Distribution of replies attributed to strengths, weaknesses, opportunities and threats. The balance sheet between positive and negative attributes is almost even (48% versus 52%).

Within the four groups, the comments were further categorized according to whether they refer to general issues, construction or design. Comments belonging to several categories were placed in all the relevant fields. The distribution of replies depending on attributes varied greatly. The balance between comments was almost even for weaknesses, but 76% of the opportunities were seen as deriving from general issues from outside the industry. The balance between the categories in the four attributes is shown in Figures 3–6.



**Figure 3 and Figure 4.** Distribution of replies between the categories of general, construction and design-related issues for the attributes of strengths and weaknesses.



**Figure 5 and Figure 6.** Distribution of replies between the categories of general, construction and design-related issues for the attributes of opportunities and threats.

## Summary and conclusions

On the basis of the results of the survey, the main strengths of building with timber in Europe are political support and a growing common interest in sustainable buildings. Wood has a good reputation as an ecological material with a low carbon footprint compared to other common building materials. According to the survey, there is a surplus supply of timber, as the annual growth of forests currently exceeds annual utilization in many European countries. Wood construction has a well-established value chain, with a broad supply base for raw materials, industrial experience, and design, manufacturing and assembly expertise. Local market acceptance and varied channels for export already exist through known brands and ample sales representation. The recent research and development of wood construction has opened new markets and increased the drive for new timber solutions in architectural design, making it possible to use wood in ways that have not been possible before. The survey reveals that there is a broad existing base of timber manufacturing in Europe, on different scales ranging from SME to multinational corporations. Prefabricated building elements help accelerate the construction process compared to traditional construction.

Common weaknesses identified in the survey were related to building regulations and complexity in the current timber building standards across Europe. In particular, fire regulations pose challenges, as these are based on and defined by building materials other than wood. Particularly in tall multi-storey wooden buildings, fire protection requirements and regulations have been challenging and have required strong cooperation and negotiation with the authorities. These new developments in wood construction have led to a shortage of qualified experts and

designers, which is reflected in the lack of practical knowledge and skill throughout the whole design and production chain. There is a state of stagnation in the construction sector which is expressed by low ambition in wood construction among large construction companies. In this context, new agencies are either subordinated to existing hegemonies or are marginalized. The established construction industry resists the change required to accept wood as a more worthwhile building material. New developments in wood construction are uncommon in most building companies, and because they lack experience in these techniques, more traditional methods are preferred. The survey suggests that timber construction is usually perceived as more expensive than already established construction methods and materials, mainly because of the lack of large scale standardized timber production and construction processes with open planning systems.

Ecological benefits and the positive general opinion of wood buildings generate opportunities for timber construction. Wood as a material is linked to wellbeing as well as a cozy and comfortable feeling, especially in housing and recently also in care facilities. As the bio-economy grows and becomes a strong topic in the coming decades across Europe, climate policies and political pressure for environmental issues are likely to increase the drive for low-carbon construction and to create many opportunities for wood as a building material. At the same time, new research and development open opportunities for wooden building components. The functional capacities of wood, such as hygro-thermic and acoustic properties and effects on indoor air quality, make it a versatile material for innovative building products. In addition, the comparative lightness of timber compared to other building materials, as well as fast construction time, make it an ideal option for urban densification, especially in multistory and rooftop construction. Production facilities for wood are quite common, thanks to the established market for wooden detached housing production. Contemporary machining and manufacturing methods enable concepts for agile mass customizations. Connecting and involving experienced designers and construction specialists in the early stages of a project, and simplifying the building elements and components, are likely to streamline the previously complex design process.

On the basis of the survey results, the threats concerning building with timber are primarily related to the low ambition of large building companies towards timber construction, and to the assumption that wood is a more expensive option. The answers reveal that the traditional building companies are not familiar with contemporary wood construction and therefore prefer other building materials to avoid unexpected costs and uncertainty in long term performance. The survey suggests that high quality timber buildings are associated with higher costs, and there is a risk that building with wood will yield no compensation for reduced lifecycle costs in the local market-driven demand. Wooden buildings are seen as too complex to design and build compared to other building materials. The answers to the survey also raise a risk that current education systems do not provide new professionals and educational organizations with sufficient opportunities for cooperation to cover the needs of the whole competence chain. This leads to a situation in which planning, fabrication, construction and maintenance chains do

not develop as a whole. A shortage of skills among design professionals has been recognized, and tight competition in the design and engineering services is a disincentive for designers and engineers to specialize in more marginal construction sectors such as timber buildings. From time to time there is already a lack of skilled and experienced engineers and designers in wood construction. Regulations are also seen in the survey as threats to wood construction, especially when they favour other building materials. This could be avoided with strong political support, which should last long enough for experience and expertise to be accumulated.

| Building with timber in Europe – a SWOT Analysis                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Strengths</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Political support</b></li> <li>• <b>Common interest in timber buildings</b></li> <li>• <b>Good supply of raw material</b></li> <li>• <b>Well established value chain</b></li> <li>• <b>New markets through R&amp;D</b></li> <li>• <b>Broad existing base of the timber manufacturing industry</b></li> <li>• <b>Fast and lightweight construction</b></li> </ul>         | <p><b>Weaknesses</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Building regulations (fire and acoustics)</li> <li>• Shortage of qualified experts</li> <li>• Resistance to change by large construction companies</li> <li>• Usually perceived as more expensive than established construction methods and materials</li> </ul>                                                                          |
| <p><b>Opportunities</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Bioeconomy becoming a strong topic in Europe</b></li> <li>• <b>Evolving climate policies and a drive for low-carbon construction and buildings</b></li> <li>• Versatile properties of wood</li> <li>• <b>Good for urban densification</b></li> <li>• <b>Agile mass customization</b></li> <li>• <b>Streamlining the design and construction processes</b></li> </ul> | <p><b>Threats</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Low level of ambition in wood construction among large construction companies</li> <li>• Building with wood yields no compensation for reduced lifecycle costs</li> <li>• Lack of skills of the design professionals</li> <li>• Regulation favoring other building materials</li> <li>• Performance of the whole competence chain</li> </ul> |

The results of the survey reveal that timber construction has its own unique strengths and emerging opportunities as politics drive construction in a more ecological direction. However, established processes and construction methods still play a major role, and resistance to change is recognized among the construction industry. Wood construction requires more skillful professionals and common construction and design standards in order to overcome the weaknesses of costs and the performance of the whole competence chain.

## Standard timber structures for Lean architectural design

Detailing is one element of improving building practice. It is common practice that for example joints and structures are first designed by the architect, redrawn by the structural engineer, redrafted by a sub-contractor and revised on site before finishing the building. This type of redundancy is a waste of work and resources in the building design process.

### Lean construction and design

Research into lean production and manufacturing started with the *Toyota Production System* (TPS) (Womack et al. 1990). The further development of the construction industry based on lean methodology has gained momentum in the 21<sup>st</sup> century.

Howell (1999) defined *Lean construction* by saying that “Essential features of lean construction include a clear set of objectives for the delivery process, aimed at maximizing performance for the customer at the project level, concurrent design of product and process, and the application of production control throughout the life of the product from design to delivery”. Lessing et al. (2005) and Bildsten (2011) identified *Industrialized construction processes* as the planning and control of processes, developed technical systems, off-site manufacturing of building components, long-term relations between parties, integrated supply chain management, customer focus, the use of information and communication technology, systematic performance measuring and the reuse of experiences.

According to Bildsten (2011), Lessing et al. (2005), and Rich (2012), systematization and industrialized construction do not equate with mass production. The aim should be for high customer satisfaction and a bespoke building as an end result – expressed in other terms as “/.../ a custom product exactly fit for purpose /.../” (Aziz & Hafez, 2013).

The application of standardized components improves the efficiency of the production (Aapaoja & Haapasalo, 2014). The authors identified a track record, increased productivity, decreased waste, replicable processes, shorter lead-in times, and higher quality as benefits of standardized components. Bildsten (2011)

and Rich (2012) saw the use of standardized components as a means to achieve a continuous improvement of processes.

Aapaoja and Haapasalo (2014) concluded that: "Current design processes do not support using the standard products and components". Rich (2012) reported a waste of resources in the design process caused by an ambition to design beyond the limits of expertise. He recognized potential in pre-developed detail design and earlier collaboration with suppliers.

Current development suggests module-based solutions. Powell et al. (2014) saw modularization as being the future for producers of engineer-to-order products with small volume but high variety, similar to the concept of "*Modular design of one-off projects*" introduced by Mohamad et al. in 2013. The strategy builds on the modularization of the building and the standardization of modules. Benros and Duarte (2009) proposed a framework integrating architectural design with building construction. Key attributes were combination of flexible design, digital communication (Computer Aided Design-application, CAD), and industrialized building processes. Pasquire and Connolly (2003), developers of the "*design for manufacture and assembly (DFMA)*"-model, recommended avoiding unnecessary work and emphasized the value of this for the client over detailed design.

The research on lean construction has identified re-design and unnecessary detail work as wasted resources in the building design process. This article examines the availability of pre-designed details and assesses their usability as standardized components in order to achieve more efficient design and production of timber buildings.

## **Pre-designed standardized details for timber buildings**

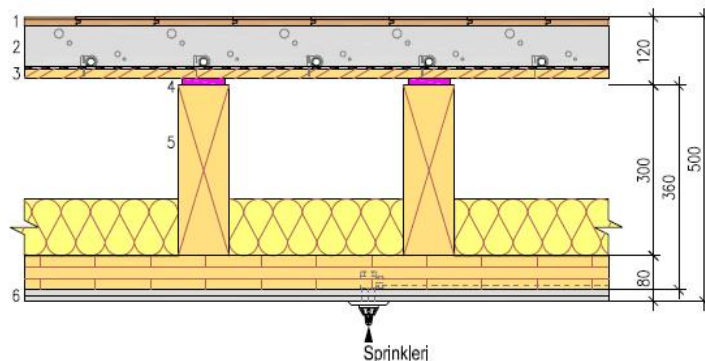
Six detail catalogues for timber construction were studied. The earliest publication is from 1999, and *Holzforschung Austria* was the first to publish online in 2003.

In all cases, the material is freely available and has solutions both for wooden frame and for massive wood structures. The contents of these publications are compared regarding availability, format, structures and solutions. The usability in practice and the added value of other materials are also assessed.

The catalogues assessed were: 1) Finnish RunkoPES 2.0, which is an open timber-element standard for residential housing conforming to the Finnish National Building Code; 2) the Austrian *Dataholz*, which is a catalogue of timber building components for thermal, acoustic, fire performance requirements and ecological drivers; 3) Swiss timber construction details, *Lignum Bauteilkatalog*, which present a collection of intermediate floor structures only for acoustic design according to Swiss and European standards; 4) German *Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4* (GHG4), which promotes the design of multi-storey timber buildings in Germany up to 13 m height of upper floor level; 5) the Austrian *Baubook*, which consists of pre-designed structures for passive house design with solutions in a standard and an ecologically optimized version; 6) the French *Catalogue*

*Construction Bois* (CCB), which includes structural and joint details, and guidelines for fire-safety design.

Structures for intermediate floors are compared, since this is the only structural type available in all the catalogues.



**Figure 7.** Build-up of intermediate floor type VP801KRL, RunkoPES 2.0. Author's note: The structural detail drawing includes a sprinkler. According to the National Building Code of Finland, sprinklers are mandatory in timber-framed buildings from two stories upwards. (Finnish Wood Research, 2013.)

In addition to pre-designed solutions, four of the catalogues offer additional material, such as general guidelines for timber design. Dataholz and Lignum Bauteilkatalog offer fact sheets only.

### Usability in practice

The catalogues of standard details support the use of building systems in architectural design. However, the comparison of available material and the benchmarking of the intermediate floor structure revealed both barriers and opportunities for the usability in practice.

Language is one of the obstacles. Only Dataholz is available in several languages and the online-version of Baubook has some material in English. The other four publish material in the native language only. Different language options would lower the barrier for implementation.

User interfaces and the path to find a specific detail vary. Dataholz and Lignum Bauteilkatalog proved to be practical because of the limited options of attributes such as fire performance. The smaller amount of details in the four other collections also made the task simple. However, finding a detail or structure with matching requirements was difficult.

The comprehensiveness of material presented in each catalogue varies. For example, Dataholz lists a vast variety of alternatives for each separate structural type, whereas GHG4 only contains a few principle solutions. The only catalogue

clearly focused on large multi-storey buildings is RunkoPES 2.0, whereas the other versions mainly introduce structures with smaller load bearing capacity, shorter spans, and very few alternatives developed for prefabrication. On the other hand, RunkoPES 2.0 contains solutions and principles for multi-storey housing only.

Some catalogues emphasize the aspect of general advice. For example, GHG4 contains advice for multi-storey timber housing and CCB works as an introduction to timber building with an informative overview. RunkoPES 2.0 includes the greatest variety of material from general guidelines to principles of detailing, exemplary building permit documents and CAD-objects. Dataholz and Lignum Bauteilkatalog do not contain any guidelines, but the variety and amount of details and structures is significant. RunkoPES 2.0 and the webpage of the Finnish Timber Council offer additional support for the dimensioning of structures and large amounts of information. Only Baubook publishes a comprehensive ecological calculation tool.

All catalogues implement identification numbers. The numbering acts as an internal indexing system. Usability could be improved by referring to external sources such as building regulations.

The vision that use of pre-designed standard details helps the architectural design processes and reduces unnecessary work would require a complete, compatible, and established set of standard structural and joint drawings. In terms of extent among the catalogues discussed, Dataholz responds best to this requirement, whereas RunkoPES 2.0 offers the most comprehensive approach.

Another characteristic of lean culture is the use of information and communication technology to enhance efficiency, and CAD-software is an essential tool component of this aim. However, only a few of the catalogues offer CAD-objects. The most versatile catalogue in this respect is RunkoPES 2.0.

However, the comparison shows that suggested structures for building with timber are similar throughout Europe. Fire safety and acoustic performance are solved similarly. Due to the dimensioning for different spans, beam heights of structures vary and the only clearly different structure, which is designed for passive houses, is presented in the Baubook. These findings are significant as they illustrate a common basis for standardized timber building-design.

## Conclusions

Timber building could be optimized by using pre-designed details, thus supporting reduced work and leaner processes. Identified barriers include limited language options, impractical user interfaces, the variety and quantity of structural types in the published material and difficulties in following identification systems. CAD-objects are absent in most catalogues, failing to effectively support the use of computer-aided processes. Some collections serve more as an introduction to timber construction and others as a design tool.

For a practicing architect, the collections offer an overview of timber solutions and a means to verify the compatibility of designs with local building regulations. The discussed exercise also illustrates relatively minimal variation. Similar struc-

tures can be found in all collections. This finding supports the idea of limiting building-specific detailing in the design process.

The similarity of structures is an opportunity for the construction industry in European-wide competition. Based on this study, timber buildings in Austria, Finland, France, Germany and Switzerland could in principle be designed and constructed with similar structural solutions.

## Resource efficiency in multi-storey wooden buildings

The study clarifies understanding about material use and efficiency in wooden buildings. It discusses the meaning of building design solution, identifies the magnitudes of raw material consumptions, highlights the material waste generation and shows the building GHG impacts.

Results are presented with the help of wooden multi-storey residential building cases. Technologies used for case buildings were prefabricated elements: large wooden elements, wooden space elements (box-modules) and for comparison building with concrete elements. All the wooden buildings that were under consideration also contained concrete structures; one has a concrete garage, while other has a storage floor made of concrete.

On the basis of the results, CLT wall structure consumes almost twice as much material resource than the wall structure with large wooden elements. However, different building geometries between the case buildings and excessive use of concrete in one of the buildings results in different wood use intensities. A considerable difference between CLT structure and concrete panel was observed in weight. An external concrete wall element consumes 5 times more resources and causes 2 times more GHGs.

It is known that building shape has an influence on the size of the building envelope, but it also has an impact on the amount of building materials used. This could be expressed as a compactness (shape) index: the smaller the relation of the building surface area to the building volume, the more compact a building is. This index is a useful parameter when comparing the resource use intensity or carbon footprints of buildings with different shapes and volumes. A simplified example shows that the amount of external wall-m<sup>2</sup> would increase 44% just because of unfavourable building geometry. In our case, building with large wooden elements leads to less exterior wall-m<sup>2</sup> than other wooden buildings, but shows higher resource consumption and GHG emissions as a higher amount of concrete element is used.

The result shows that resource consumption in a 7-storey wooden CLT-based building is less than 600 kg/gross-m<sup>2</sup> when concrete structures are used for piling, foundations, basement and base floor. When the design solution was based on a

high amount of heavy concrete, the resource intensity from wooden frame building was unfavourable and even higher than in concrete element building.

The main material type in modular box production was CLT, which also causes the main share of emissions. Off-site element production generates a small amount of waste, a substantial part of which is utilized in energy or material production.

According to the study, the use of building materials in building construction would increase because of the waste generation by 10–12%, with less prefabrication and utilization in the factory. Prefabrication of wooden elements shifts waste generation from the building site to the controlled manufacturing process, where waste utilization is easier. Ease of material utilization depends on the material purity level. Both the studied pre-fabrication technologies utilized the wooden materials residues (cuts) by using them for energy production and utilization within the production process, and this was also seen in lower GHG values. However, it is notable that a relatively high amount of waste is generated from gypsum board, which is not suitable for energy recovery.

When the GHG is the indicator for resource efficiency, it is important for material producers to improve their production processes in a way that enables the use of wastes or secondary resources. This must be planned carefully, considering any possible effects on service life.

At the end of a building's life, wooden structures and materials might be utilized for less demanding products or for energy production. Material utilization depends highly on the designed solution and construction technology. Moving towards industrialized processes and pre-fabrication of building structures also enables design for dismantling with better possibilities for utilization.

Life cycle-based material flow accounting shows that the lightweight nature of wooden structures embodies efficiency in resource use. However, it also depends on building shape, compactness and the type of designed solutions. When the utilization of other materials is high enough and the building design is not favourable, the final GHG result for the wooden frame building can be on the same level as for concrete buildings.

## **Project processes**

### **Need for a change**

The construction of wooden multi-story buildings was boosted by changes in building regulations in 2011, and the amended regulations allow the use of wood in 8-story buildings. So far about 50 wooden multi-story buildings have been built in Finland since the mid-1990s. The public sector has an important role in promoting wood-based multi-story building. Despite intensive development, the experiences in wood-based multi-story building in Finland are still limited. Building processes may still suffer from some lack in efficiency in terms of process management and use of resources. It may be possible to address different kinds of issues which would be able to make the process more effective and lean.

The minor project stock is explained partly by the fact that the wood structure systems have not been established, and the projects tend to be individual experiments including a large amount of uncertainty. However, the development of the systems will not actualize if there is no demand. This demand is restricted for its part by the fact that the project delivery methods mostly used are not suitable for the realisation of projects containing unestablished systems. A process that is suitable, jointly accepted and widely used would intensify operation, minimize the uncertainty, facilitate the arrangement of competitions and increase the willingness to participate in these competitions. By creating such a procurement process, necessary conditions for the development would be provided for the sector.

It is common that the owner of the project employs the designer to draw up the plans of the building, after which their realisation is entrusted to the contractor on the basis of competitive tendering. Such traditional design-bid-build project delivery methods have generally been the most used approach in owner-initiated new construction. However, the independent designer employed by the owner cannot yet have sufficient cost and constructability information to determine an optimal solution when established solutions do not exist.

The know-how of suppliers and contractors of wood structures must be brought to the planning of the building at a stage which is early enough so that the success of projects and the development of the structural systems more generally can be promoted. The different know-how can be best integrated by using the design-build or project alliance delivery methods. Moreover, the precondition for a more

common use of wood structure systems is that projects can be procured by means of a competitive process.

## **Alternative delivery processes**

Design-build (DB) is a project delivery method in which the owner contracts, with a single design-build entity, to perform both design and construction under a single agreement, thus offering the owner a single point of responsibility for design and construction services. Project alliance, on the other hand, is a method based on a joint contract between the key actors of a project, in which the parties assume joint responsibility for the design and construction of the project to be implemented through a joint organisation, and in which the actors share risks related to the project and observe the principles of information accessibility in pursuing collaboration.

Processes of these project delivery systems, especially in the case of alliancing, can benefit from the co-creation of the owner and service providers. In this way the laboriousness of the actual competition stage also remains moderate on the one hand, and integration of the know-how results in a better project solution on the other: at best the interactive development of ideas leads to a positive development trend, benefitting the project considerably. Other parties' immediate feedback directs operations and in addition to the improved solutions, the process also becomes streamlined.

## **Use of alternative processes**

DB is usually the most appropriate option for customary projects. If the owner's needs and requirements for the project can be specified relatively unambiguously, and the negotiations at the competition stage are sufficient for securing the compatibility of demand and supply, the use of the usual DB method leaning on the competition procedure is reasonable. This is the case, for example, in the building of wooden blocks of flats when there are no special risks other than those related to the structure system and how it functions and can be executed as a part of the project; these risks, again, are the reasons to utilise the suppliers' know-how. Along with the wider use of the procedure, the objectives of a competitive, standardised process which utilises the bidders' know-how would be fulfilled.

If the determination of the project merely with the methods of the market sounding in the competition stage is inadequate, and succeeds only by binding the future users or other interest groups to the design of the project, then the role of the joint development phase needs to be emphasized instead of a relatively quick competition stage. Special requirements and objectives for new types of solutions can also support the deviation from the competitive process described above. In these cases the DB method can be adapted by the way in which two DB teams are selected to an agreement-based development phase on the basis of a capability-oriented competition, and the implementer is only chosen after the develop-

ment stage. This kind of a process enables the co-creation of the project slightly better.

If the realisation of a challenging wood structure system takes place in a project that is also exceptional in other respects, the risks increase essentially. If the risks are of such nature that they can be mitigated best by means of cooperation of the key parties of the project, the alliance may be the right delivery method for the project. In practice, this requires stronger involvement of the owner in the realisation, while he should also have such know-how which produces added value to the realisation of the project. Alliance projects are typically very large. For these reasons the alliance is not a primary method, which can be adapted widely, but it offers an alternative when it is a question of exceptionally challenging wood construction projects.

For the part of alliancing, a joint development phase carried out with one team only is reasonable when open collaboration is the aim. This also makes phased progress possible in the formation of the alliance team: critical know-how is brought along first and by utilising this view, other actors of the team are chosen in which case the designer, contractor and system supplier can come along separately. On the other hand, the development work done with two teams side by side concretizes the existence of competition, and can act to the advantage of the project by offering the owner an opportunity for a more enlightened decision-making, since the choice of the final project solution and partner(s) is in this way deferred. For example, the development of two different types of wood structure systems could justify the use of the procedure by enabling to see their development potential as a whole before the final decision is made.

## **Needs for development of building information modelling (BIM)**

The project delivery method chosen for a construction project sets preconditions for efficient implementation. The project delivery method also has an influence on a building information model (BIM) based design process. In Finland, the same BIM programs are used for the design and engineering of wooden multi-story buildings as are used for other multi-story housing planning. The problem in the wooden multi-story building has been the lack of suitable smart planning components and related add-in programs. Furthermore, the variety of structure systems and on-going development of details hinders the development of more efficient BIM tools. The greatest benefits of BIM-based design are obtained in an industrial building process which is based on regular components and details which are only configured per project.

In Finland the BIM utilization is guided by the Common BIM requirements, COBIM2012, which have been determined by the branch together. The set of requirements contains 14 parts divided according to the actors of a project and some other use cases. The COBIM2012 requirements can be referred to, e.g. in design contracts when BIM-related tasks are specified. COBIM2012 specifies the

general demands for information modelling, but the descriptions are independent of e.g. the modelling programs to be used. In addition to them, the parties of some sub-branches of the industry have developed more exact instructions and requirement specifications. For example, the precast concrete industry has prepared the modelling instructions of concrete elements and these instructions also contain application-specific definitions. The concrete industry has also organized common development activities and created planning components for the Tekla Structures program which supports the open precast construction system.

An open wooden multi-story building concept RunkoPES, based on the use of prefabricated elements, has also been created in Finland. The concept specification includes suggested structure types, and modelling libraries have been created for architectural design for Revit and ArchiCAD software. These library components are adequate for managing measures in architectural design but they do not meet the requirements of structural modelling. Detailed modelling of structures would provide a possibility to develop details virtually, which would promote constructability analysis and therefore also improve productivity.

Some structural engineering consultants have developed basic detailing tools for their own use, but there is also an opinion that company-specific tool development will not give a competitive edge and that some branch level common planning tools are preferred. In the short term, the branch could gather joint financing for further development of existing component libraries and share the achieved results in cooperation with software vendors to maximize the penetration. Tools must also be maintained continually, because proprietary modelling software is updated regularly and modifications may have an impact on the functioning of library components.

The planning tools will be developed in accordance with the development and utilization of wooden structure systems and prefabricated building elements. At the present production volume of wooden multi-story houses, most of the active development of the building information modelling takes place in actual building projects. Even in such a case, the best practices of modelling in construction projects should be collected and shared openly on some common platform at branch level. Even the clients of building projects could support this, by setting a demand for more open information sharing.

The most essential act, however, is to realize new wooden building projects so that structure systems and tools will be worth developing. In the current market there exist competing structure systems and, at a project level, providers of different systems should be able to participate in tendering. In practice, in comparison to traditional design-bid-build competition, this also requires comparison of design work in the tendering phase. However, this design effort can be reduced for the tender by using efficient modelling, but it should also be determined what is the adequate format and level of detail to be expressed in the tender design. The main tender design representation should be the building information models and most traditional 2D drawings should be replaced by views of the tender models.

## **Effect of Lean on energy-efficient multi-storey building construction productivity and cost**

The energy Performance of Buildings Directive requires all new buildings to be near zero energy buildings by the end of 2020 (in the public sector by the end of 2018). The national regulations are based on cost optimization within a calculation period of 30 years in the case of apartment buildings. Lean construction is a client-driven process in which the client sets the target-values. Lean construction is a primary way to prevent large amounts of information losses at the interface of planning, factory production and construction. Compared to traditional on-site construction, prefabricated timber solutions require a higher effort for planning and decision making in early project stages; this is also a precondition for successful nZEB construction.

The project process of nZEB in wooden residential building is based on integrated and lean production:

- design (design concepts, process design, product design, detailed engineering)
- factory production (fabrication and logistics)
- construction
- operations and maintenance.

### **Case**

An example of target setting for nZEB and verifications is investigated using:

- minimum requirements based on the Finnish regulations
- design targets of nZEB based on target information compiled by the builder and construction company
- targets of Lean nZEB based on the original design targets and labour productivity improvements
- construction Lean nZEB values based on realized nZEB solutions with corresponding energy efficiency values
- phase values based on energy consumption measurements and a user survey.

## Conclusions

Lean construction is a collaborative working method and an innovative way to achieve nZEB targets and a good indoor environment. The project process and technological solutions used in both case A and case B were shown to achieve the national nZEB targets.

A target-setting matrix makes it easy to apply individual economical and energy efficiency targets to a project, in order to steer design towards targets and to control energy efficiency in use.

Lean production of cost optimal wooden nZEB causes relatively low additional investment costs compared to construction which only fulfils the minimum requirements set by the regulations. Savings in energy cost are almost 10 €/m<sup>2</sup>,a and in the annual life cycle cost about 5 €/m<sup>2</sup>,a as a present value for a calculation period of 30 years. Resale value and user value are also slightly higher compared to the corresponding values of a traditional building. The importance of lean construction for total investment costs is relatively low, because the share of the labour cost is rather low.

Wooden nZEBs also mean very efficient use of natural materials and non-renewable energy.

It can be stated that the design target of excellent user satisfaction (Thermal comfort, indoor environment, acoustics) is achieved in the Kivistö case.

# 1. Yleistä

LeanWood-projektin alussa selvitettiin laajasti puurakentamisen tilaa erityisesti käytännön näkökulmasta. Tarkoituksena oli saada laaja käsitys kehittämiskohteista ja käytännön toimijoiden tuntemuksista. Kysely tehtiin SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats) -muotoisena.

## 1.1 Puurakentamisen kehittämiskohteet

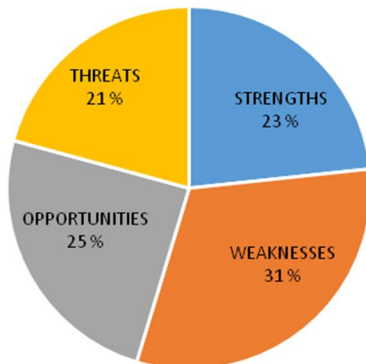
### 1.1.1 SWOT-kysely

Tämä kysely ja sen tulokset käsittävät kansainvälisen projektin "Innovative lean processes and cooperation models for planning, production and maintenance of urban timber buildings (leanWOOD)" työpaketissa T4.1 "Learning from Practice" tehdyn työn. Työ esittää Euroopan puurakentamisesta näkökulmia, jotka on kerätty hankkeen yhteistyökumppaneille suunnatulla kyselyllä. Kysely käsitti neljä kysymystä, joiden perusteella kerättiin käytännön kokemuksia projektin ensimmäisen vuoden ajalta. Kysely tehtiin englanniksi ja lähetettiin hankkeen osapuolille touko-kuun 15. päivä ja viimeiset vastaukset saatiin kuukauden kuluttua, kesäkuun 15. päivä. Kyselyyn saatiin 12 vastausta henkilöiltä, jotka ovat tutkijoita, arkkitehtejä ja teollisuuden edustajia. Vastaukset kerättiin kirjallisesti ja anonyymisti. Kyselylomake on liitteessä A.

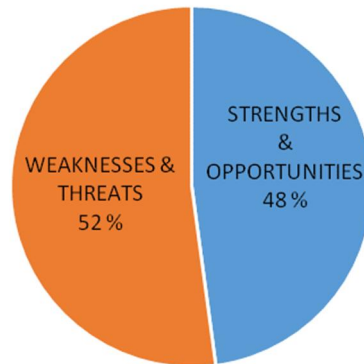
### 1.1.2 Tulosten yleiskatsaus

Kyselyn tulokset organisoitiin kaavioiksi, joissa vastaukset ryhmiteltiin osatuloksiin eli vahvuuksiin (strengths), heikkouksiin (weaknesses), mahdollisuuksiin (opportunities) ja uhkiin (threats). Vastauksia kysymyksiin saatiin yhteensä 236 kpl. Vastaukset jakautuvat melko tasaisesti: vahvuuksiin 23 %, heikkouksiin 31 %, mahdollisuuksiin 25 % ja uhkiin 21 %. Vastausten jakautuminen sekä positiivisten ja negatiivisten näkökulmien suhde esitetään kuvissa 1 ja 2.

Distribution of topics



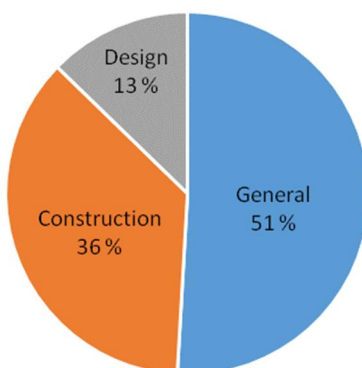
Balance



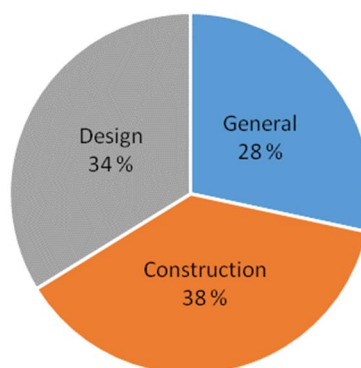
**Kuva 1 ja Kuva 2.** Vastausten jakautuminen vahvuuksiin (strengths), heikkouksiin (weaknesses), mahdollisuuksiin (opportunities) ja ughiin (threats). Positiiviset ja negatiiviset näkökulmat ovat lähes tasan (48 % vs. 52 %).

Jokaisessa ryhmässä vastaukset jaettiin osatuloksien alle kategorioihin, jotka käsittelevät yleisiä asioita, rakentamista tai suunnittelua. Saadut vastaukset lajiteltiin kaikkiin kategorioihin, joihin ne sopivat. Vastauksissa oli osatuloksien eri kategorioiden välillä jonkin verran hajontaa. Näkökulmat heikkouksista ovat melko tasaisesti jakautuneet eri kategorioihin, mutta mahdollisuuksista 76 % nähdään johtuvan yleisistä seikoista. Vastausten jakautuminen kategorioihin esitetään kuvissa 3–6.

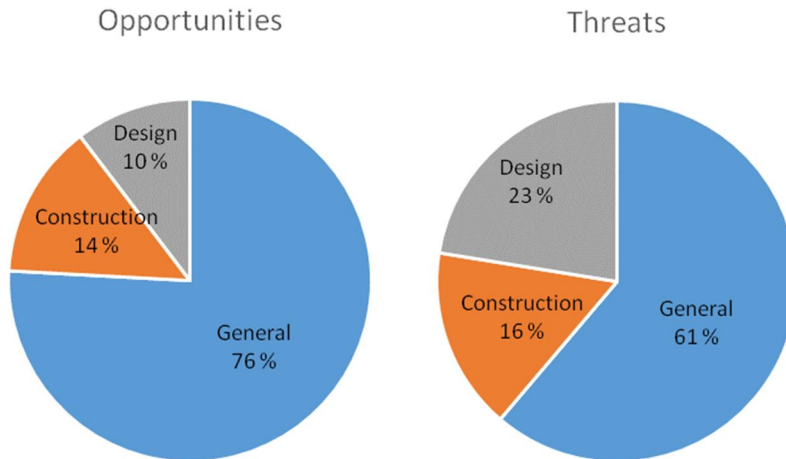
Strengths



Weaknesses



**Kuva 3 ja Kuva 4.** Vastausten jakautuminen eri kategorioiden kesken yleisiin sekä rakentamiseen ja suunnitteluun liittyviin seikkoihin vahvuuksien ja heikkouksien osalta.



**Kuva 5 ja Kuva 6.** Vastausten jakautuminen eri kategorioiden kesken yleisiin sekä rakentamiseen ja suunnitteluun liittyviin seikkoihin mahdollisuuksien ja uhkien osalta.

## 1.2 Osatulokset

### 1.2.1 Vahvuudet

#### 1.2.1.1 Yleiset seikat

Kyselyn perusteella vahvuudeksi luettiin koko Euroopan alueella ilmenevä poliittinen tuki puurakentamiselle. Puurakentamisella on hyvä maine ekologisena rakennusmateriaalina, ja puu on uusiutuva materiaali. Puurakentamiseen liitetään ekologisia arvoja, kuten pienempi hiilijalanjälki verrattuna muihin rakennusmateriaaleihin. Muihin rakennusmateriaaleihin verrattuna puun jalostukseen sekä valmistukseen kuluu vähemmän energiaa, ja esimerkiksi Saksassa puurakentaminen on kaikkein tehokkain tapa saavuttaa rakennukselle asetetut energiatehokkuusvaatimukset. Kyselyn perusteella Suomen vahvuutena ovat olemassa olevat markkinat esivalmistetuille taloille, joista valtaosa on puurakenteisia.

Kyselyssä puurakentamisen vahvuuksiksi koettiin vakiintuneet arvoketjut, laajalajaisesti saatavilla olevat raaka-aineet, kokemus teollisesta tuotannosta, korkeatasoinen suunnittelu ja valmistus sekä toimivat markkinat. Myös viennin vahvuus, tunnetut brändit sekä vahva myyntiosaaminen nähtiin puurakentamisen vahvuutena niin Suomessa kuin Keski-Euroopassa. Ranskassa puurakentamisen kasvu on viime aikoina ollut muuta rakentamista suurempi. Viimeaikaiset teolliset puutuote-teollisuuden ratkaisut, kuten CLT, muodostavat varteenotettavan vaihtoehdon teräsbetonille. Tutkimus ja tuotekehitys ovat avanneet uusia markkinoita puurakentamiselle esimerkiksi mahdollisuutena korkeisiin rakennuksiin ja asuinkerrosto-loihin.

Monissa Euroopan maissa metsien kasvu ylittää niiden käytön. Suomessa met-  
sää kasvaa noin 30 miljoonaa kuutiometriä vuodessa enemmän, kuin sitä tällä  
hetkellä kulutetaan. Tämä takaa hyvän saatavuuden puuraaka-aineelle, ja mikäli  
Suomessa jostain syystä esiintyisi häiriöitä kotimaisen puun saatavuudessa, voi  
puuraaka-ainetta tarvittaessa tuoda Venäjältä. Kyselyn perustella etenkin Suomen  
vahvuuksia ovat myös kehittyneet logistiset yhteydet, joilla raaka-aine saadaan  
tehokkaasti puuteollisuuden käyttöön. Puu koetaan vastausten perusteella hyväksi  
ja arvostetuksi pintamateriaaliksi. Siihen liittyvät tunteet, kuten luonnollisuus, eko-  
logisuus ja haptiset ominaisuudet, ovat suurelta osin positiivisia. Suomessa 85 %  
omakotitaloista onkin rakennettu puusta.

#### 1.2.1.2 Rakentaminen

Puurakentamisen vahvuutena on pidetty hyvää logistiikkaa ja tehokasta toimitus-  
ketjua. Puun käyttöä rakentamisessa edesauttaa myös vahva ja laaja-alainen  
osaaminen puutuoteteollisuudessa niin pk-yrityksien kuin kansainvälisten yhti-  
öidenkin osalta. Puumateriaalin todettiin olevan kevyttä, sen käsittely on helppoa,  
ja se sopii hyvin runkorakentamiseen.

Puurakentamisen ja -tuotteiden vahvuudeksi nostettiin myös mahdollisuus kor-  
keaan esivalmistusasteeseen, mikä mahdollistaa nopeamman rakentamisen.  
Tuoteosia voidaan esivalmistaa kontrolloiduissa olosuhteissa, mikä mahdollistaa  
niiden korkean laadun ja täsmälliset liitokset. Näin puolestaan parannetaan koko  
rakentamisen laatua.

Kyselyn vastauksista käy ilmi, että työmaalla haastaviksi koetut kosteusolosuh-  
teet eivät muodostu ongelmaksi, jos suurin osa rakennusosista voidaan esivalmis-  
taa. Puusta rakentaminen on lähtökohtaisesti nk. kuivaa rakentamista, mikä tuo  
aikataulu-etuja työmaalle. Paikallisen työvoiman hyvä puurakentamisen osaaminen  
nähtiin vahvuutena. Vastauksissa mainittiin Suomen eduksi myös mahdollisuus  
saada tarvittaessa kilpailukykyistä ja osaavaa rakentamisen työvoimaa naapuri-  
maasta Virosta.

#### 1.2.1.3 Suunnittelu

Vastauksien perustella teollisesti esivalmistetut puutuoteosat edellyttävät parem-  
paa ja tarkempaa suunnittelua, mikä yleensä johtaa täsmällisempään lopputulok-  
seen. Lisäksi koetaan, että viimeaikainen tietomallintamisen kehitys mahdollistaa  
suunnitelmien ja valmistusprosessien paremman yhteensovittamisen. Tietomallin-  
nus ja hyvin tehty suunnittelu ennen esivalmistuksen aloittamista johtavat var-  
mimmin korkealaatuiseseen lopputulokseen. Saksassa ja Ranskassa puurakentei-  
den hyvä energiatehokkuus ja maltilliset rakennepaksuudet mahdollistavat tehok-  
kaamman tilasuunnittelun, joka tuo kustannustehokkuutta. Puurakenne voidaan  
siellä toteuttaa ohuempana kuin vastaava betoni- tai tiilirakenne.

## 1.2.2 Heikkoudet

### 1.2.2.1 Yleiset seikat

Puurakentamisen heikkouksiksi ilmenivät kyselyssä puuttuvat yhteiset standardit ja toimintatavat. Esimerkiksi betoniteollisuus on kehittänyt edistykselliset yhteiset valmistajariippumattomat standardit mm. kerrostalorakentamiseen, mikä puurakentamisesta vielä puuttuu. Myös osittainen kilpailun puute puurakentamisessa miellettiin kyselyssä heikkoudeksi, sillä esimerkiksi Suomessa oli kyselyä tehdessä vain yksi tilaelementtien toimittaja. Heikkoudeksi luettiin myös laadun määritelmät ja käsitykset eri maissa. Suomessa on jatkuva poliittinen paine pienentää rakentamisen ja työn kustannuksia, mikä on laimentanut innostusta uusien innovatiivisten tuotteiden kehittämiseen. Kyselyssä tämän nähdään ohjaavan puurakentamista jo olemassa olevien rakennustuotteiden suuntaan, mikä osaltaan rajoittaa kehitystä, kun investoinnit tuotekehitykseen ja lisäarvon tuottamiseen vähenevät.

Erääksi merkittäväksi heikkoudeksi mainittiin lukuisat sekä osin vaikeaselkoiset rakennusmääräykset, jotka muodostavat oman haasteensa puurakentamiselle. Etenkin akustiikan ja palomääräysten osalta on jouduttu pyytämään viranomaistulkintaa. Suomessa palomääräykset asettavat rajoitteita rakenteiden näkyville puupinnoille etenkin korkeammissa monikerroksisissa puurakennuksissa. Saksassa palomääräykset perustuvat paljon muihin rakennusmateriaaleihin kuin puuhun, mikä tekee puurakennuksen suunnittelusta ja rakentamisesta hankalaa.

Heikkoutena pidettiin myös vähäistä kokemusta ja tietoa puurakentamisesta niin asiakkaiden kuin päättäjienkin osalta, mikä haittaa puurakentamisen yleistymistä ja kehittymistä. Uusia innovaatioita vieroksutaan, sillä niiden pitkäaikaiskestävyydestä ei ole tietoa. Suomessa on vain muutama suuri puusta rakennettu asuinrakennus, mikä osin johtuu toimijoiden vähäisestä määrästä. Kokemus aikaisemmista puurakentamiskohteista on vähäistä, ja kokemusta kertyy hitaasti niille harvoille toimijoille, jotka uskaltavat rakentaa puusta. Vaikka kokemuksia olisikin tarjolla, esimerkiksi Saksassa hankintalainsäädännön käytännöt hankaloittavat kokeneiden puutuotevalmistajien ottamista mukaan osaksi suunnitteluprosessia julkisissa hankkeissa.

### 1.2.2.2 Rakentaminen

Rakentamisen osalta heikkoudeksi laskettiin rakennusliikkeiden nuiva suhtautuminen laajamittaisempaa puurakentamista kohtaan. Samoin rakennuttajien koettiin edustavan pääasiassa konservatiivista linjaa, jossa uusia materiaaleja sekä tavanomaisesta poikkeavia ratkaisuita vieroksutaan. Materiaalien optimointia ja eri materiaalien yhdistelymahdollisuuksia ei käytetä tarpeeksi hyväksi. Kyselyssä kävi nimittäin ilmi, että ainakaan Suomessa rakennustuoteteollisuus ei ole onnistunut luomaan tuotteita, joissa yhdistettäisiin luovalla tavalla eri rakennusmateriaaleja. Rakennustuotteet ovat kohdekohtaisesti voimakkaasti sidoksissa joko puu-, betoni- tai terästuotteiden valmistajiin, mikä on käytännössä estänyt innovatiivisen markkinavetoisen hybridiratkaisun löytämisen.

Kyselyn perustella Suomen nykyinen rakennusteollisuus pohjautuu valtaosin perinteisiin ylhäältä johdettuihin prosesseihin ja vastustaa muutosta. Uudet innovatiiviset toimijat ovat joko alisteisia nykyään vallitseville käytännöille tai jäävät marginaaliin. Vastauksissa kehoitettiin puuteollisuutta keskittymään ja edistämään oman markkinan kehittämistä ja löytämään sitä kautta laajemman edustuksen nykyisin vallitsevissa järjestelmissä.

Kyselyn vastauksissa ilmaistiin, että Suomen puuteollisuus on vanhakantainen teollisuudenala, jonka toiminta perustuu ennemminkin vain raakamateriaalin tarjontaan kuin jälkiteolliseen toimintamalliin, jossa investoinnit ja kehitystavoitteet kohdistuisivat asiakkaan vaatimuksiin sekä markkinainnovaatioihin. Puuteollisuus on vastauksien perusteella edelleen raskas teollisuudenala, jossa on liian vähän uusia toimijoita ja jossa painotukset suunnittelun laatuun sekä markkinointiin ovat vähäisiä. Myös kustannukset arveluttavat; Ranskassa puurakentaminen mielletään kalliimmaksi, ja Saksassa puurakentamista ei pidetä vartenotettavana vaihtoehtona hankkeissa, joissa on lähtökohtaisesti tiukka budjetti.

### 1.2.2.3 Suunnittelu

Vastauksien mukaan puurakennuksen suunnittelussa vaaditaan tarkempia detaljeja ja ratkaisuja jo suunnittelun alkuvaiheessa. Saksassa kokemus on osoittanut, että puurakentamisen suunnitteluun tulee panostaa enemmän kuin tavanomaisempaan rakentamiseen. Puurakentaminen on otollinen alusta uusille innovaatioille ja teknologioille, mutta pitkäaikaisten kokemusten puute estää niiden soveltamista ja käyttöönottoa. Puun käyttämiseen liittyy myös ennakoluuloja. Materiaalin syvempi tuntemus on tarpeen etenkin rakennuksissa, joiden odotettu elinkaari on pitkä.

Yhteisenä huolena on pula taitavista puurakennusten suunnittelijoista ja insinööreistä. Kyselystä saatujen vastauksien mukaan niin Keski-Euroopassa kuin Suomessakin suunnittelijoilla on lähtökohtaisesti melko vähäiset tiedot ja taidot puurakentamisesta. Ammattitaitoista henkilöstöä tarvitaan sekä suunnittelussa että rakennuksen toteutuksessa. Saksassa suurten puurakennusten suunnittelussa arkkitehtien ja insinöörien saama peruskoulutus on osoittautunut hataraksi. Myös Suomessa asiantuntevia puurakennusten suunnittelijoita on harvassa. Suurimmat haasteet kokemuksen puutteesta talotekniikan suunnittelijoilla on kuitenkin koettu pitkälle esivalmistetuissa puurakentamisen kohteissa. Yhteisten standardien puute vaivaa suunnittelijoita niin Suomessa kuin Keski-Euroopassa. Suunnittelun heikkouksien osalta vastauksissa nousi esiin rakennuslainsäädäntö, jossa puurakentamiselle on esitetty rajoitteita etenkin paloturvallisuuden ja akustisten vaatimusten osalta.

### 1.2.3 Mahdollisuudet

#### 1.2.3.1 Yleiset seikat

Kiinnostus ekologiseen rakentamiseen ja sitä myöten puurakentamiseen on kasvussa Suomessa ja Euroopassa. Euroopassa on vallalla poliittinen tahtotila sekä yleinen asenne edistää energiatehokasta rakentamista, johon puurakentaminen kuuluu. Biotalous on kasvava ala Euroopassa, ja puu on yksi keino vastata alan esittämiin haasteisiin. Puun ominaisuudet tuovat hyvinvointia ja mukavuutta asu-misoloihin tasapainottamalla kosteusvaihteluita ja akustisten ominaisuuksien sekä sisäilman laadun vuoksi. Ekologiset näkökulmat tukevat positiivista mielikuvaa puusta, mikä on eduksi markkinoinnissa. Uusien puurakennuksien nähtiin tuovan osaamista, ja ne ovat hyviä referenssejä hankkeessa mukana olleille tahoille. Puuhun liittyy aina myös paikallisuus, ja sen käyttö tukee osittain alueellisia markkinoita. Kasvukeskuksien ulkopuolella olevilla kunnilla on mahdollisuus kehittää liiketoimintaa puurakentamiseen erikoistuneiden paikallisten toimijoiden kautta. Viimeaikaisesta talouden taantumasta toipuminen ja taloudellisen tilanteen parantuminen lisäävät investointeja ja avaavat uusia mahdollisuuksia puurakentamiselle.

Vastauksissa puumateriaaliin liitetään paljon positiivisia ominaisuuksia ja mielikuvia. Puulla on ainutlaatuisia ominaisuuksia: se on verrattain kevyttä, sitä on helppo työstää, se on esteettisesti kaunista ja helppoa kierrättää. Tutkimuksissa on yritetty selvittää sisätiloissa olevien puumateriaalien mahdollisia terveysvaikutuksia. Suomessa on ilmennyt pyrkimyksiä parantaa laitoshoitopaikkojen ilmapiiriä mukavammaksi puurakentamisen keinoin, mikä mahdollistaa uusia markkinoita hoivarakentamisen alalla. Vastaavia huomioita on tehty Saksassa, jossa on todettu mahdolliseksi kasvattaa puun markkinaosuutta nopeastikin erityisesti hoivarakennuksien osalta.

Suomessa puolestaan on kasvava tarve koulurakennusten korjaamiselle ja uudistamiselle, jossa puurakentaminen voisi tarjota omia ratkaisuitaan esimerkiksi sisäilmaongelmiin. Puurakentamisen nähtiin sopivan hyvin kestävään kehitykseen ja sen uskottiin olevan tulevaisuudessa todennäköisesti kustannustehokkaampaa. Euroopan julkisissa hankinnoissa on asetettu vaatimuksia ekotehokkaammille materiaaleille sekä vaatimuksia puun käytölle rakentamisessa energia- ja ilmasto-politiikan kautta. Myös poliittinen tuki puurakentamiselle on vahvistunut koko Euroopan alueella. Elinkaariajattelun yleistyminen ja vähähiilisyystavoitteet puoltavat puun käyttöä rakentamisessa. Lisäksi ihmiset ovat tietoisempia ympäristöystävällisestä kehityksestä ja puun käyttö rakentamisessa mielletään ympäristöystävälliseksi ratkaisuksi.

#### 1.2.3.2 Rakentaminen

Monikerroksisten puurakennushankkeiden yleistyminen avaa uusia mahdollisuuksia puurakentamiselle. Etenkin tiheämmin rakennetuilla kaupunkialueilla puurakentamisen ratkaisut mahdollistavat olemassa olevien alueiden tiivistämisen jo valmiiksi tiiviissä ympäristössä. Puuelementtien keveys ja rakentamisen nopeus

tarjoavat kilpailukykyisiä ratkaisuita esimerkiksi kaupunkien keskustassa tapahtuvaan täydennysrakentamiseen. Tämä on etulyöntiasema etenkin jo valmiiksi tiiviissä kaupunkirakenteessa, jossa rakennustyömaalle on niukasti tilaa.

Suomessa olemassa olevat suurelementtien valmistuslinjat, jotka ovat palvelleet omakoti- ja valmistalorakentamista, luovat mahdollisuuksia puun esivalmistuksen tehokkaampaan hyödyntämiseen rakentamisessa. Vastauksissa esitettiin, että puusta toteutettaisiin jopa kylpyhuone-elementtejä. Puun työstö tietokoneohjatuilla koneilla mahdollistaa massaräätälöinnin, jossa massatuotannon hinnoittelu on yhdistettävissä joustaviin yksilöllisiin toteutusratkaisuihin.

#### 1.2.3.3 Suunnittelu

Puun uudet työstömenetelmät sekä uudet puiset rakennusosat mahdollistavat uusia raikkaita arkkitehtonisia ratkaisuita, pienempiä dimensioita sekä ratkaisuiden joustavuutta. Monialaisten osaajien mukaan ottaminen mahdollistaa puun hyödyntämisen parhaalla mahdollisella tavalla ja tilaajan toiveiden ja asettamien tavoitteiden mukaisesti. Puun osalta suunnitteluprosessin yksinkertaistamisen ja sen sisällön jakamisen osaavien tekijöiden kesken nähtiin mahdollistavan tehokkaampaa suunnittelua.

#### 1.2.4 Uhat

##### 1.2.4.1 Yleiset seikat

Vastauksissa uhkana nähtiin huonosti toteutetut puurakentamiskohteet, jotka tahraavat puurakentamisen mainetta. Paineet onnistumiseen ovat suuret, sillä alkuvaiheessa yksinkin epäonnistuminen leimaa koko alaa. Suomessa raakapuutoimitukset puuteollisuudelle ovat hyvin keskittyneitä ja ne perustuvat suurten määrien toimitukseen alhaiseen hintaan. Vastauksien perusteella tämä on alkanut näkyä jo toimitetun puumateriaalin laadussa. Mahdollinen puun tuonti Venäjältä koettiin uhkana, sillä se on taipuvainen häiriöihin.

Puuteollisuuden tehokkuustavoitteiden myötä ekosysteemipalveluiden arvioinneissa uhka ympäristöriskien kasvamisesta ja biodiversiteetin vähenemisestä metsäalalla on jatkuvasti korostunut. Uhkana ovat myös jo nyt tapahtuneet muutokset raakamateriaalin tuotannossa, sillä Euroopassa pyökki on ohittamassa kuusen ja uudet selluinvestoinnit Suomessa saattavat johtaa liialliseen raakatukien tarjontaan. Samoin yhden yksittäisen rakennusmateriaalin liiallinen tukeminen voi vaarantaa uusien käytäntöjen uskottavuutta. Myös muiden rakennusmateriaalien kehitys nähtiin uhkana: esimerkiksi teräsrakentamisen puolella on jo kehitteillä pienen laskennallisen hiilijalanjäljen omaavia rakennejärjestelmiä.

Rakentamisen taloudelliset laskelmat eivät aina puolla puun käyttöä, mikä on osaltaan luonut mielikuvaa puurakentamisen kalleudesta verrattuna kilpaileviin materiaaleihin. Perinteiset rakennusyhtiöt eivät ole kokeneet tarpeelliseksi perehtyä tarkemmin puurakentamiseen ja suosivat sen vuoksi tuttuja, pääasiassa beto-

nirakentamiseen perustuvia ratkaisuita välttääkseen ylimääräisiä kustannuksia. Uhkaksi miellettiin myös poliittiset ja taloudelliset paineet vähentää investointeja, leikata työvoimakustannuksia, opetusta ja tutkimusmäärärahoja, mikä voi koitua takaiskuksi puurakentamiselle ja viedä toimintaa kilpaileviin maihin, kuten Suomesta Viroon. Tämä heikentäisi puuteollisuuden kasvumahdollisuuksia etenkin Suomessa, missä puuteollisuudella on ollut vaikeuksia sopeutua uuteen tilanteeseen.

Korkealaatuisiin puurakennuksiin liittyy korkeammat kustannukset. Uhkana pidettiin myös puurakennuksen suurempaa investointia, sillä riskinä on, ettei puurakenteisesta talosta saada tarpeeksi kompensatiota vähentyneinä elinkaarikustannuksina markkinavetoisessa toimintaympäristössä. Suomessa puurakentamisen uhkana on melko rajallinen kysyntä uusille puurakennuksille, mikä johtaa teollisuuden suurempaan riippuvuuteen Keski-Euroopan, Amerikan ja Aasian markkinoista, joissa kilpailu on jo valmiiksi kovempaa.

Osaavien osaajien vähäinen määrä voi muodostua uhkaksi. Suomalainen koulutusjärjestelmä ei nykytahdilla tuota tarpeeksi uusia ammattilaisia, eivätkä eri oppilaitokset tee riittävästi yhteistyötä kattaakseen koko puurakentamisen toimintaketjun edellyttämiä vaatimuksia pätevistä henkilöistä. Tutkimus ja kehitys eivät aina ole yksimielisiä puurakentamiseen liittyvistä asioista rakentajien tai päättäjien kanssa, ja uhkana on kehityksen ja yhteistyön heikkeneminen. Uhkana tunnistettiin myös, ettei rakentamisen elinkaaren prosesseita kehitetä kokonaisuutena.

Erääksi uhkaksi mainittiin EU:n direktiiveihin pohjautuva lainsäädäntö sekä rakennusmääräykset, sillä ne rajoittavat tietyissä tapauksissa puurakentamista. Palo- ja akustiikkamääräykset asettavat paikoin kohtuuttomia vaatimuksia puurakentamiselle, mikä on tunnistettu myös Ranskassa ja Saksassa. Rajoittavat määräykset eivät kuitenkaan ole yhteneväisiä EU:n alueella, vaan määräysten tulkinta vaihtelee, sillä se tapahtuu paikallisella tasolla. Vastauksissa tunnistettiin, että muiden rakennusmateriaalien lobbaus on vahvaa Euroopan politiikassa. Suomen osalta vastauksista tunnistettiin uhka, että poliittinen tuki puurakentamiselle saattaa loppua, ennen kuin riittävä määrä puurakennuskohteita on saatu valmiiksi.

#### 1.2.4.2 Rakentaminen

Puurakentamisen liittyy vahvasti ennakkoluuloja sen korkeammasta hinnasta. Rakennusalan suurten toimijoiden kiinnostus puurakentamista kohtaan on tois- taiseksi ollut vähäistä. Ranskassa rakennusteollisuuden todettiin olevan jäljessä puurakentamisen vaatimuksista, ja Saksassa ilmenevä laimea kiinnostus opiskella teollista puuntuotantoa saattaa lähitulevaisuudessa johtaa osaavien työntekijöiden puutteeseen, mikä lisää työvoimakustannuksia. Uhkana on, että rakennusteollisuuden muutosvastarinta vaikuttaa lisäarvoa tuottaviin tuotteisiin painottamalla riippuvuutta halpaan työvoimaan, standardoituun massatuotantoon sekä tavanomaisiin rakennustuotteisiin. Tämä puolestaan vähentää korkealaatuisen suunnittelun kysyntää ja vahvistaa entisestään olemassa olevien rakennuskäytäntöjen asemaa.

#### 1.2.4.3 Suunnittelu

Suunnittelun uhkina tunnistettiin ennakkoluulot monimutkaisesta ja vaativammasta suunnittelusta, joka helposti nostaa suunnittelun kustannuksia. Puurakentamisen nykyiset ratkaisut mielletään liian monimutkaisiksi ja esimerkiksi puuelementtien liitoksia haluttaisiin yksinkertaistettavan alan eri toimijoiden kesken. Määräykset ja standardit ovat monimutkaisia. Ääneneristysvaatimusten täyttäminen asuinrakennuksissa on koettu haasteelliseksi, ja palomääräyksien soveltaminen puurakennuksiin vaatii lähes poikkeuksetta tulkinta-apua ja kohdekohtaista keskustelua viranomaisten kanssa. Suuremmissa puurakennushankkeissa suunnittelun kompleksisuus lisääntyy merkittävästi.

Taitavista ja kokeneista puurakennusten suunnittelijoista on pulaa. Ranskassa arkkitehteillä on tunnistettu keskimäärin heikommat tiedot puurakentamista kuin muusta rakentamisesta. Myös Suomessa suunnittelijoiden taidoissa on tunnistettuja heikkouksia ja kova kilpailutilanne suunnittelupuolella hidastaa insinöörejä ja arkkitehteja erikoistumasta tiettyyn rakentamisen osa-alueeseen, kuten puurakentamiseen. Suunnittelussa on koettu muutosvastarintaa ja kiinnostuksen puutetta tietomallintamisen ja elinkaarilaskennan osalta, vaikka ne ovat perusedellytyksiä puurakentamisen kehityksen kannalta. Perusteluna on mainittu pitkä kokemus hyviksi havaituista vakiintuneista rakentamisen käytännöistä, joita ei sellaisenaan voi soveltaa puurakentamisessa.

### 1.3 Yhteenveto

Kyselyn tulokset kertovat, että puurakentamisella on ainutlaatuisia vahvuuksia ja mahdollisuuksia, sillä tämänhetkinen poliittinen tahtotila ohjaa kohti ympäristöystävällisempiä rakennuksia. Tästä huolimatta olemassa olevat käytännöt rakennus-alalla ovat vahvoja ja vaikuttavat puurakentamisen yleistymiseen epäsuotuisasti muutosvastarinnan vuoksi. Puurakentaminen vaatii lisää taitavia ja kokeneita suunnittelijoita sekä toteuttajia, jotta se voi ratkaista kustannuksiin kohdistuvat uhkat ja parantaa asemiaan rakentamisen muuttuvassa kentässä.

## Building With Timber in Europe a SWOT Analysis

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Vahvuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poliittinen tuki</li> <li>• Yleinen kiinnostus puurakentamista kohtaan</li> <li>• Hyvä raaka-aineen saatavuus</li> <li>• Vakiintuneet arvoketjut</li> <li>• Uudet T&amp;K:n luomat markkinat</li> <li>• Laaja-alainen olemassa oleva puuteollisuus</li> <li>• Nopea ja kevyt rakentaminen</li> </ul>                                                              | <p><b>Heikkoudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Määräykset (palomääräykset ja akustiikka)</li> <li>• Hyvien suunnittelijoiden puute</li> <li>• Suurten yritysten muutosvastarinta</li> <li>• Puurakentaminen koetaan kalliimpänä kuin vastaava muu rakentaminen</li> </ul>                                                                                                                               |
| <p><b>Mahdollisuudet</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Biotalouskasvunäkymät Euroopassa</li> <li>• Ilmastopolitiikka ohjaa vähähiliseen ja energiatehokkaaseen rakentamiseen</li> <li>• Puun joustavat käyttökohteet</li> <li>• Tiivistysrakentaminen kaupungeissa</li> <li>• Ketterät massaräätelöinnit nykyaikaisilla tuotantomenetelmillä</li> <li>• Rakentamisen ja suunnittelun virtaviivaistaminen</li> </ul> | <p><b>Uhat</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Suurten rakennusliikkeiden laimea kiinnostus puurakentamista kohtaan</li> <li>• Puurakentamisen kustannukset eivät palaudu matalampina elinkaarikustannuksina</li> <li>• Taitojen ja kokemuksen puute suunnittelussa ja toteutuksessa</li> <li>• Muita rakennusmateriaaleja suosivat lait ja määräykset</li> <li>• Suorituskyky ydinosaamisalueella</li> </ul> |

## 2. Standardoitujen puurakenteiden käyttö rakennussuunnittelussa

### 2.1 Johdanto

Yksityiskohtien suunnittelu on yksi tapa tehostaa rakennusprosessia. Ei ole harvinaista, että esimerkiksi liitokset ja rakenteet suunnittelee ensin arkkitehti, sitten rakennussuunnittelija tarkentaa niitä, rakennusosatoimittaja muokkaa ne omien käytäntöjensä mukaisiksi ja lopuksi yksityiskohdat tarkennetaan työmaalla. Tämän kaltaista moninkertaista työtä ja resurssien hukkaamista tapahtuu rakennussuunnitteluprosessissa.

### 2.2 Lean-rakentaminen ja suunnittelu

Lean-ajattelu ja -menetelmät saivat alkunsa Toyotan tuotantoprosesseista (*Toyota Production System*, TPS) (Womack et al., 1990). Periaatteiden omaksuminen rakennusteollisuuteen ja sen tutkimukseen sai kuitenkin vauhtia vasta 2000-luvulla.

Howellin (1999) mukaan Lean-rakentamisen tärkeimmät periaatteet ovat selkeä tavoitteen asettelu, tuote- ja asiakastason suorituksen maksimointi, tuotteen ja tuotannon samanaikainen suunnittelu sekä tuotannon valvonnan soveltaminen tuotteen elinkaaren ajan aina suunnittelusta käyttöönottoon. Lessing et al. (2005) ja Bildsten (2011) määrittelivät *teollisen rakentamisprosessin* osiksi prosessin suunnittelun ja valvonnan, kehittyneiden teknisten järjestelmien käytön, rakennusosien teollisen esivalmistuksen, hankkeen osapuolien pitkäaikaisen yhteistyön, hyvin toimivan toimitusketjun ohjauksen, asiakaslähtöisyyden, tietotekniikan hyväksikäytön, järjestelmällisen suorituskyvyn ja tunnuslukujen mittauksen sekä järjestelmällisen kokemuksista oppimisen.

Bildstenin (2011), Lessingin et al. (2005) ja Richin (2012) mukaan systemaattisuus ja teollinen rakentamistapa eivät ole sama kuin massatuotanto. Toiminnan tavoitteena tulee olla parempi asiakastytytyväisyys ja tuloksena asiakkaan tarpeiden mukaan räätälöity rakennus tai ”/.../mukautettu tarkoituksenmukainen tuote/.../” (Aziz & Hafez, 2013).

Standardoitujen osien ja yksityiskohtien käyttö parantaa tuotannon tehokkuutta (Aapaoja & Haapasalo, 2014). Tehostuneen tuotannon lisäksi etuina ovat vähentynyt jäte ja hukka, toistettavat tuotantovaiheet, lyhyet läpimenoajat ja korkeampi laatu. Bildsten (2011) ja Rich (2012) näkevät standardoitujen osien käytön keinona prosessin jatkuvaan parantamiseen.

Nykyiset suunnitteluprosessit eivät tue vakiotuotteiden ja -rakennusosien käyttöä (Aapaoja & Haapasalo, 2014). Richin (2012) mukaan resurssien tuhlaus suunnitteluprosessissa johtuu usein kunnianhimon ja tavoitetason asettamisesta kykyjen ja taitojen yläpuolelle. Vakiodetaljien käyttö ja yhteistyö rakennusosatoimittajien ja urakoitsijoiden kanssa kaventavat tätä eroa.

1900-luvun alusta toisen maailmansodan jälkeiseen jälleenrakennuskauteen asti tavoiteltiin säästöjä rakennuskustannuksissa siten, että teollista rakentamista kehitettiin massatuotannon keinoin. Portugalilainen arkkitehti Álvaro Siza oli yksi varhaisimmista asukaslähtöisen teollisen rakentamisen kehittäjistä (Benros & Duarte, 2008).

Nykyinen kehitys suosii moduulipohjaisia ratkaisuja. Powellin (2014) mukaan moduulijattelu on tilauksen mukaan suunniteltujen tuotteiden valmistajien mahdollisuus toteuttaa pieniä tuotantosarjoja monipuolisesti varioituna. Mohamad et al. (2013) esittelivät *yksittäisen hankkeen modulaarisen suunnittelun*, jonka perusajatus on rakennuksen modulaarisuus sekä moduulien standardointi, jota käytetään esimerkiksi toimistorakennuksissa.

Benros ja Duarte (2009) ehdottavat rakennetta, joka sopeuttaa arkkitehtisuunnittelun paremmin rakennusprosessiin, jolloin avainkysymyksiä on joustavan, tietokoneavusteisen suunnittelun ja teollisen valmistuksen ja rakentamisen yhdistäminen. Jensen et al. (2012) kehottavat käyttämään rakennusjärjestelmiin perustuvia vakioituja, tietokonepohjaisia suunnitteluobjekteja ja moduuleita. DFMA-mallin (*design for manufacture and assembly*) kehittäjät Pasquire ja Connolly (2003) kannustavat vähentämään tarpeetonta päällekkäistä suunnittelutyötä, mutta korostavat asiakkaalle tuotetun lisäarvon merkitystä yksityiskohtien suunnittelun sijaan.

Lean-rakentamisen tutkimus osoittaa, että päällekkäinen suunnittelu ja epätarkoituksenmukainen yksityiskohtien uudelleensuunnittelu ovat resurssien tuhlaamista. Tässä luvussa tarkastellaan valmiiden suunnitteluohjeiden ja detaljivalikkojen käyttökelpoisuutta sekä vakioitujen rakennetyyppien ja -ratkaisujen mahdollisuuksia puurakennusten suunnittelussa ja tuotannossa.

## **2.3 Vakioratkaisut ja -detaljit puurakennusten suunnittelussa**

Tutkimusta varten valittiin kuusi internetpohjaista suunnitteluohjeistussivustoa Itävalasta, Ranskasta, Saksasta, Suomesta ja Sveitsistä. Vanhin ohjeistuksista julkaistiin vuonna 1999, ja itävaltalainen Holzforschung julkaisi online-ohjeistuksensa vuonna 2003. Ks. taulukko 1, esitellyt suunnitteluohjeistukset.

**Taulukko 1.** Tutkimuksessa vertailut vakioitujen rakenneratkaisujen ja -detaljien kokoelmat.

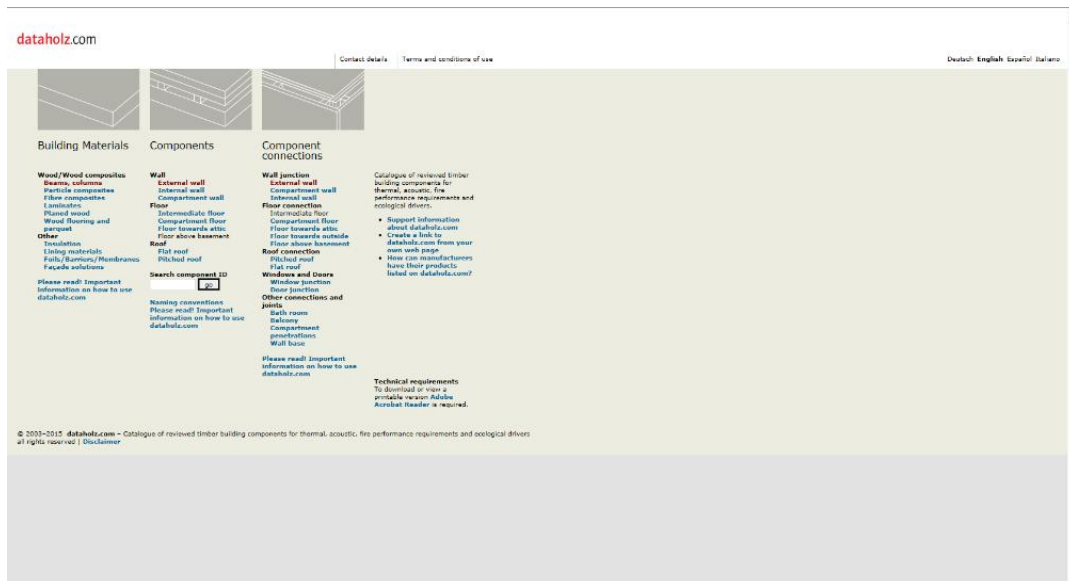
| Julkaisu    | RunkoPES 2.0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | Dataholz                                                                                                                                   | Lignum Bauteil-katalog                                             | GHG4                                                                                                                                                                                                                                           | Baubook                                                                                     | CCB                                                                                                                                                                                                    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Julkaisumaa | Finland                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | Austria                                                                                                                                    | Switzerland                                                        | Germany                                                                                                                                                                                                                                        | Austria                                                                                     | France                                                                                                                                                                                                 |
| Aim         | To create a basis for the commissioning, design and execution of timber buildings in which: 1) a building can be designed without knowing who will execute building works or whose solutions are used, 2) suppliers of different solutions are able to make an offer coherently and cost efficiently, 3) and different manufacturers' solutions are interchangeable in the design and on site | General construction details to serve as a start for conceptual, initial and detailed design and execution of residential timber buildings | To support the design of ceilings fulfilling impact sound criteria | To create a catalogue with thoroughly designed details and structures for timber building in accordance with the German building regulation code <i>Musterbauordnung 2002</i> and the guideline for fire-resistant timber structures from 2004 | To offer details for the design and support for the ecological evaluation of passive houses | To aid the design of timber buildings in accordance with RT 2012 (Réglementation Thermique 2012, design for energy efficiency) and requirements set in NF DTU 31.2 (Eurocode compatible timber frames) |
| Structures  | external walls<br>internal walls<br>intermediate floors<br>wet spaces<br>ceilings<br>roofs<br>balconies                                                                                                                                                                                                                                                                                       | wood,<br>wood composites<br>insulation,<br>ligning materials<br>and other<br>external walls<br>internal walls<br>intermediate floors       | floors                                                             | external walls<br>internal walls<br>intermediate floors<br>selected joints<br>including joints<br>between timber and massive wall structures                                                                                                   | external walls<br>internal walls<br>intermediate floors<br>windows<br>roofs                 | external walls<br>internal walls<br>intermediate floors<br>roofs<br>ductwork integration                                                                                                               |

| Julkaisu           | RunkoPES 2.0                                                                                                                           | Dataholz                                                                 | Lignum Bauteil-katalog                                                                                               | GHG4                                                                                                       | Baubook                                                                                          | CCB                                                                                                                   |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Julkaisumaa        | Finland                                                                                                                                | Austria                                                                  | Switzerland                                                                                                          | Germany                                                                                                    | Austria                                                                                          | France                                                                                                                |
|                    |                                                                                                                                        | ceilings<br>roofs<br>windows<br>doors<br>other connections<br>and joints |                                                                                                                      | (e.g. concrete or brick)<br>window detailing                                                               |                                                                                                  |                                                                                                                       |
| Construction types | massive wood framed structures                                                                                                         | massive wood framed structures                                           | massive wood framed structures                                                                                       | massive wood framed structures                                                                             | massive wood framed structures                                                                   | massive wood framed structures                                                                                        |
| Other material     | Overview catalogue, example designs for a model multi-storey apartment building including HVAC designs, model building permit drawings | NA                                                                       | NA                                                                                                                   | extensive guide book on the design for timber construction                                                 | Construction calculator (also available in English), Eco2soft calculation tool                   | General guidelines for the design of timber structure and separately for single family homes and multi-storey housing |
| Formats            | Pdf-documents, objects in ArchiCAD 17, ArchiCAD 16, Revit 2014, and IFC 2x3                                                            | Pdf-documents                                                            | Pdf-documents                                                                                                        | Pdf-book, available as CAD-objects for Dietrichs CAD/CAM                                                   | Pdf-documents, book published by Springer (in German and English)                                | Pdf and MS Word-documents, dxf-objects                                                                                |
| Languages          | Finnish                                                                                                                                | German, English, Spanish, Italian                                        | German                                                                                                               | German                                                                                                     | German, online version only partly in English                                                    | French                                                                                                                |
| Availability       | Free of charge                                                                                                                         | Free of charge                                                           | Free of charge                                                                                                       | Free of charge                                                                                             | Free of charge                                                                                   | Free of charge                                                                                                        |
| Website            | <a href="http://www.puuinfo.fi/suunit-teluohjeet/runkopes-20">www.puuinfo.fi/suunit-teluohjeet/runkopes-20</a>                         | <a href="http://www.dataholz.com">www.dataholz.com</a>                   | <a href="http://bauteilkatalog.lignum.ch/?lang=de&amp;page=home">bauteilkatalog.lignum.ch/?lang=de&amp;page=home</a> | <a href="http://www.irbnet.de/date n/rswb/1410900837 7.pdf">www.irbnet.de/date n/rswb/1410900837 7.pdf</a> | <a href="http://www.baubook.at/ph btk/index.php?SW=19">www.baubook.at/ph btk/index.php?SW=19</a> | <a href="http://catalogue-construction-bois.fr/">catalogue-construction-bois.fr/</a>                                  |



### 2.3.1.2 Dataholz

Itävaltalainen kokoelma *Dataholz* esittelee puurakennuksen rakennusosien lämpö-tekniset, akustiset sekä palotekniset vaatimukset ja periaatteet sekä ympäristövaiikutusten merkityksen rakentamisessa. Vuonna 2003 julkaistu sivusto sisältää asuinrakennusten rakenneratkaisut ja yksityiskohdat perustietoineen ja piirustuksineen pdf-tiedostona. Materiaalin voi kopioida ja tulostaa saksan-, englannin-, espanjan- ja italiankielisinä versioina. Mukana on Itävallan rakennusmääräysten mukainen vaatimuksenmukaisuustodistus, joka ei kuitenkaan poista suunnittelijan vastuuta.



Kuva 8. Kuvakaappaus Dataholz.com-aloitussivulta. dataholz.com/en/.

### 2.3.1.3 Lignum Bauteilkatalog

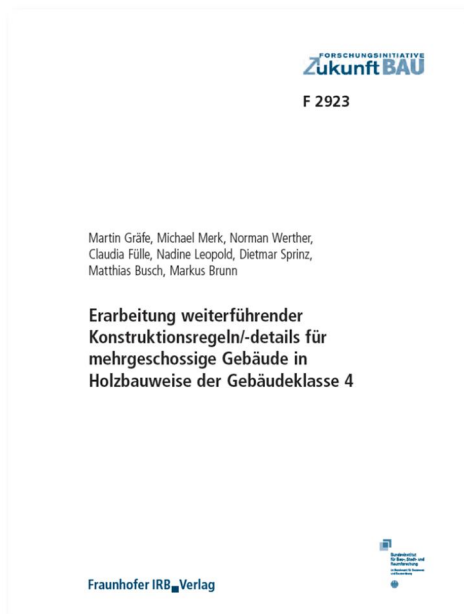
Sveitsiläisten puurakenteiden ja -detaljien kokoelma, *Lignum Bauteilkatalog Schallschutz* (Lignum Bauteilkatalog), julkaistiin vuonna 2014. Vain akustisen suunnittelun vaatimuksiin sovellettava välipohjarakennekokoelma on tehty vastaamaan SIA 181:2006, EN 12354:2000, ISO 717-1 ja ISO 717-2 -standardeja sekä matalataajuisien askelääniä (alle 100 Hz) eristysvaatimuksia. Aineistossa on rakennedetailit perustietoineen sekä piirustukset pdf-muodossa. Tiedostot voi tulostaa ja niiden tiedot voi kopioida.



**Kuva 9.** Kuvakaappaus Swiss Lignum Bauteilkatalog Schallschutz -aloitussivulta. bauteilkatalog.lignum.ch/?lang=de&page=home.

#### 2.3.1.4 Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4

Saksalainen GHG4 (*Erarbeitung weiterführender Konstruktionsregeln/-details für mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4*) julkaistiin vuonna 2014 (Gräfe et al., 2014). Se antaa ohjeet rakennusluokka 4:n (Gebäudeklasse 4) mukaisen puukerrostalojen suunnitteluun aina 13 metrin korkuisiin rakennuksiin asti (ylimmän kerroksen taso). Aineisto koostuu yleisestä taustatiedosta sekä rakenneratkaisuista ja yksityiskohdista, jotka voi kopioida tai tulostaa.



**Kuva 10.** Kansisivu julkaisulle *Erarbeitung weiterführender Konstruktionsregeln/-details für mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4* (Gräfe et.al., 2014).

#### 2.3.1.5 Passivhaus Bauteilkatalog (Baubook)

Itävaltalainen *IBO Passivhaus Bauteilkatalog* (Baubook) koostuu 68 esimerkkirakenteesta passiivitalon suunnitteluun. Sivusto sisältää puurakennuksen standardiratkaisun sekä ympäristövaikutuksiltaan optimoidun version. Aineisto on pdf-muotoinen, ja yksityiskohtia voidaan tarkastella kaksi- ja kolmiulotteisina kuvina.

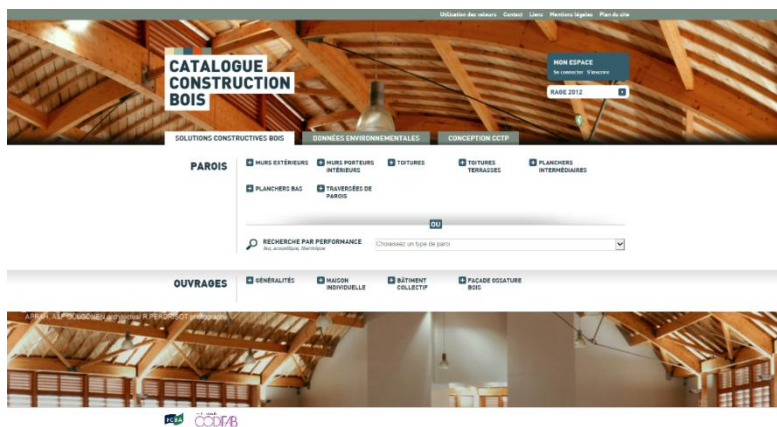
Materiaali voidaan kopioida tai tulostaa pdf-muotoon. Osa saksankielisestä tekstistä on käännetty englanniksi. Aineisto ja rakenneratkaisut on hyväksytetty viranomaisilla, eikä erillistä varmistusta tarvita. Online-versio perustuu vuonna 1999 julkaistuun ohjekirjaan *Passivhaus-Bauteilkatalog – Ökologisch bewertete Konstruktionen*, jonka uusin versio on kokonaisuudessaan saksan- ja englanninkielinen. Julkaisun voi tilata Baubook-verkkosivun kautta.



**Kuva 11.** Kuvakaappaus IBO Passivhaus Bauteilkatalog -aloitussivulta. [www.baubook.at/phbt/index.php?SW=19](http://www.baubook.at/phbt/index.php?SW=19).

### 2.3.1.6 Catalogue Construction Bois (CCB)

Vuosina 2013 ja 2014 julkaistu ranskalainen *Catalogue Construction Bois* (CCB) sisältää puupientalon ja -kerrostalon rakenneratkaisut, liitosdetaljit sekä ohjeet paloteknistä suunnittelua varten. Pdf-muodossa ja osittain Word-tiedostona saatavilla olevan aineiston voi tulostaa ja kopioida. Yksityiskohtat ovat pdf-tiedostoina ja CAD-objekteina dxf-muodossa.



**Kuva 12.** Kuvakaappaus Catalogue Construction Bois -aloitussivulta. [catalogue-construction-bois.fr](http://catalogue-construction-bois.fr).

### 2.3.2 Rakennerratkaisujen vertailu: case huoneistojen välinen välipohja

Huoneistojen välinen välipohja valittiin vertailtavaksi, koska rakennetyyppi esiintyy kaikissa ohjeistuksissa. Lähtökohdaksi eri rakennerratkaisujen vertailua varten valittiin RunkoPES 2.0:n esittämä välipohjan rakennetyyppi VP801KRL.

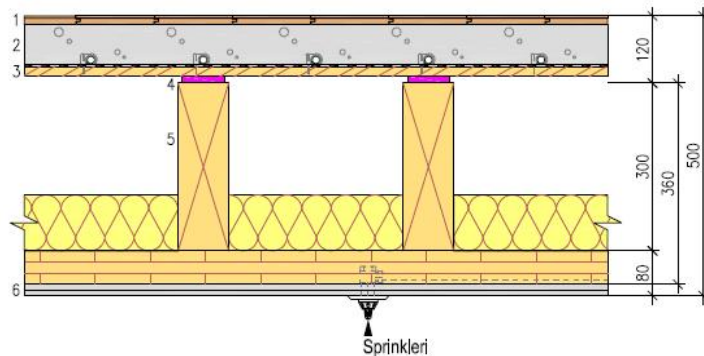
#### 2.3.2.1 RunkoPES 2.0: VP801KRL

*RunkoPES 2.0* sisältää yhdessä pdf-tiedostossa huoneistojen välisen välipohjan rakennetyypin yksityiskohtineen sekä ohjeet rakenteen toteuttamiseen. Kirjastossa on kymmenen variaatiota välipohjarakenteeksi ja kahdeksan märkätilaratkaisua. Yksittäiset detailjiirustukset on esitetty erillisissä tiedostoissa mittakaavassa 1:10. Tiedosto listaa erillisten rakennekerroksien materiaalin ja paksuuden sekä kuvaa kerroksien tarkoituksen varmistaakseen esimerkiksi paloluokan tai äänieristyksen toteutumisen. Koko rakenteen suorituskyyky ja -luokka on mainittu, mutta painoa ei. Esimerkkirakenne on mitoitettu kuuden metrin jänneväliille.

Rakennekerrokset on esitetty taulukossa 2 sekä kuvassa 13.

**Taulukko 2.** Välipohjatyypin VP801KRL rakennekerrokset, RunkoPES 2.0. Suoritusluokka: REI 60,  $R_w \geq 55$  dB,  $L_{n,w} \leq 53$  dB, U-arvoa ei ole mainittu välipohjassa. (Finnish Wood Research, 2013, s 146.)

| Thickness | Layer                                                                        |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|
| 15 mm     | floor surface, parquet                                                       |
| 75 mm     | concrete casting                                                             |
|           | polypropylene sheet                                                          |
| 18 mm     | timber board                                                                 |
| 12 mm     | sound absorption                                                             |
| 360 mm    | timber beam, including 100 mm thermal insulation<br>(load bearing structure) |
| 20 mm     | gypsum board 2 x 10mm                                                        |
| 500 mm    | total structural thickness, weight not listed                                |



**Kuva 13.** Välipohjatyyppi VP801KRL (RunkoPES 2.0.). Kirjoittajan huomio: Rakennerratkaisu sisältää sprinklerin. Suomen rakentamismääräyskokoelman E1 "Rakennusten paloturvallisuus" mukaisesti automaattinen sammutusjärjestelmä on pakollinen yli kaksikerroksisissa puurakennuksissa. (Finnish Wood Research, 2013.)

#### 2.3.2.2 Dataholz: gdrnxn04b-08

Dataholz-sivusto esittelee listan rakennetyypeistä ja detaljeista ensimmäisellä sivullaan. Kun rakennetyyppi on valittu, avautuu uusi sivu, jossa vaihtoehtoiset ratkaisut on järjestetty paloluokan, akustisten ominaisuuksien ja lämmöneristyskyvyn mukaisesti. Rakennerratkaisu ja asennustapa voidaan myös valita. Rakenteen yksityiskohtaiset kuvaukset voidaan tarkistaa suoraan verkkosivuilta tai erillisestä pdf-tiedostosta.

Lisämateriaalina on laaja katsaus rakennerratkaisujen ympäristövaikutuksiin sekä niiden lasketut vaikutukset ilmaston lämpenemispotentiaaliin (GWP, Equivalent kg CO<sub>2</sub>), happamoitumispotentiaaliin (AP, Equivalent kg SO<sub>2</sub>), uusiutumattoman primäärienergian määrään (PEI ne, MJ) ja uusiutuvan primäärienergian määrään (PEI e, MJ) sekä rehevöitymispotentiaaliin (EP, Equivalent kg PO<sub>4</sub>) ja valokemiallisen otsonin muodostumiseen (POCP, Equivalent kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>).

Kuten RunkoPES 2.0, Dataholz esittää kaksi vaihtoehtoista rakennetyyppiä, joista gdrnxn04b on samanlainen kuin VP801KRL. Kun rakennetyyppi on valittu, sivusto antaa kymmenen vaihtoehtoa pienin variaatioin, joista välipohjatyyppi gdrnxn04b-08 on lähimpänä suomalaista vertailukohtaa. Rakenne on mitoitettu viiden metrin jänneväliille.

Rakennetyyppi on esitetty taulukossa 3.

**Taulukko 3.** Välipohjatyypin gdrnxn04b-08 rakennekerrokset, Dataholz. Suoritusarvo: REI 60,  $R_w = 55$  dB,  $L_{n,w} = 66$  dB, U-arvo 0,28 W/m<sup>2</sup>K. (Holzforschung Austria, 2003.) Kirjoittajan huomio: Online-versio listaa eristeen lasivillan, vaikka sitä ei käytetä Itävallassa paloturvallisuussyistä.

| Thickness | Layer                                                                                                                           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 50 mm     | cement or anhydrite screed                                                                                                      |
|           | plastic separation layer                                                                                                        |
| 30 mm     | impact sound absorbing subflooring MW-T                                                                                         |
| 19 mm     | particle board                                                                                                                  |
| 220 mm    | timber, including 100 mm rock/or mineral-wool thermal insulation (online: glass-wool) (load bearing structure)                  |
| 24 mm     | cladding, spruce                                                                                                                |
| 25 mm     | gypsum plasterboards with improved properties at high temperatures (fire), 2 x 12.5 mm) or 25 mm gypsum fibre board 2 x 12.5 mm |
| 368 mm    | total structural thickness, weight 161.8 kg/m <sup>2</sup>                                                                      |

### 2.3.2.3 Lignum Bauteilkatalog: A.2.01-01a-10-00a-01-110a-aa

Sveitsiläisessä *Lignum Bauteilkatalog* -sivustossa on yhteensä 323 vaihtoehtoa huoneistojen väliseksi välipohjarakenteeksi. Rakennetyypin valintakriteerejä ovat ääneneristyskyky, rakenteen kantavuus, eristemateriaali, pintarakenteet kuiviin tai märkiin tiloihin, alakatton kiinnitystapa välipohjaan, rakenteen kokonaispaino sekä rakennusosien tunnistetiedot. Valittu rakennetyyppi sisältää detaljiirustuksen, perustiedot ratkaisusta, rakenteen paksuuden sekä painon neliömetriä kohden.

Erillisistä rakennekerroksista on esitetty ehdotetut materiaalit tai tuotteet, niiden paksuus ja paino sekä tuotteen valmistajat ja muut mahdolliset tekniset tiedot. Vertailurakennetta VP801KRL lähimpänä on rakennetyyppi A.2.01-01a-10-00a-01-110a-aa, jonka tunnistenumero on 298. Valituista rakennetyypeistä voidaan tuottaa pdf-tiedosto. Paloluokkaa, lämmöneristyskykyä tai jänneväliä ei ole esitetty.

Rakennekerrokset on esitetty taulukossa 4.

**Taulukko 4.** Välipohjatyypin 298, Lignum Bauteilkatalog, rakennekerrokset. Suoritusarvo: Paloluokkaa ei ole mainittu,  $R_w = 62$  dB,  $L_{n,w} = 53$  dB, U-arvoa ei ole mainittu välipohjassa (Lignum, 2014).

| Thickness | Layer                                                                     |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------|
| 80 mm     | cement screed (not the final surface)                                     |
| 30 mm     | impact sound absorbing subflooring (impact sound insulation board)        |
| 27 mm     | paneling/planking with three-ply panels                                   |
| 240 mm    | timber beam, including 160 mm thermal insulation (load bearing structure) |
| 27 mm     | paneling/planking with three-ply panels                                   |
| 15 mm     | gypsum board filled                                                       |
| 419 mm    | total structural thickness, weight 247 kg/m <sup>2</sup>                  |

#### 2.3.2.4 Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4: TD1

Saksalainen pdf-julkaisu GHG4 (*Erarbeitung weiterführender Konstruktionsregeln/-details für mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4*) sisältää kattavan rakennetyyppi- ja detaljikirjaston. Valittavien välipohjaratkaisujen määrä on rajattu kolmeen ja niistä on esitetty vain periaatteelliset ratkaisut ja rakennekerrokset. Ratkaisuista kaksi on massiivipuurakenteita ja kolmas perustyyppi TD1 on samankaltainen verrokkirakenteen VP801KRL kanssa. Rakenteen jänneväliä ei ole esitetty.

Rakennekerrokset on esitetty taulukossa 5.

**Taulukko 5.** Välipohjan TD1 rakennekerrokset, GHG4. Suoritustaso: REI60,  $R_w = 60$  dB,  $L_{n,w} = 48$  dB, U-arvoa ei ole mainittu välipohjassa. (Gräfe et al., 2014, s. 155.)

| Thickness | Layer                                                         |
|-----------|---------------------------------------------------------------|
|           | floor surface                                                 |
| ≥ 30 mm   | cement screed or anhydrite screed                             |
| ≥ 20 mm   | impact sound absorbing subflooring                            |
| ≥ 19 mm   | timber                                                        |
|           | timber, including thermal insulation (load bearing structure) |
|           | air-tight layer if required                                   |
|           | Timber                                                        |
| 36 mm     | gypsum or gypsum fibre board 2 x 18 mm                        |
|           | total structural thickness, weight not listed                 |

#### 2.3.2.5 Baubook

Itävaltalainen *Baubook*-sivusto esittelee rakennetyyppikokoelman ensimmäisellä sivullaan ja rakennetyypeittäin ryhmiteltynä seuraavalla sivulla. Kun huoneistojen välinen välipohjatyypin on valittu, aukeaa uusi sivu, jossa on listattu mahdolliset ratkaisut. Yksityiskohtien tiedot sisältävät rakennekerrosten paksuuden, lämmöneristyskyvyn sekä toimintaperiaatteen, painon, uusiutuvan primäärienergian määrän (PEI e) sekä vertailuarvot ilmaston lämpenemispotentiaalille ( $\text{kgCO}_2/\text{m}^2$ ) ja happamoitumispotentiaalille ( $\text{kgSO}_2/\text{m}^2$ ). Kuudesta vaihtoehdosta välipohjarakenne GDI 01 (versio a) on lähimpänä verrokkirakennetta VP801KRL. Paloluokkaa, ääneneristysarvoja tai jänneväliä ei ole esitetty.

Rakennekerrokset on esitetty taulukossa 6.

**Taulukko 6.** Välipohjatyyppin GDI 01a rakennekerrokset, Baubook. Suorituskyky: Paloluokkaa tai ääneneristysominaisuuksia ei ole mainittu. U-arvo 0,232 W/m<sup>2</sup>K. (IBO, 2009.) Kirjoittajan huomio: Online-versio listaa eristeeksi lasivillan, vaikka sitä ei käytetä Itävallassa paloturvallisuussyistä.

| Thickness | Layer                                                                                  |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 10 mm     | floor surface, parquet                                                                 |
| 50 mm     | cement screed or anhydrite screed                                                      |
| 0.2 mm    | polyethylene (PE)                                                                      |
| 30 mm     | impact sound absorbing subflooring, rock-wool or mineral-wool (online: glass-wool)     |
| 50 mm     | bonded chippings                                                                       |
| 0.2 mm    | polyethylene foil (PE)                                                                 |
| 22 mm     | OSB-board                                                                              |
| 220 mm    | timber, including 80mm thermal insulation and air-tight layer (load bearing structure) |
| 22 mm     | OSB-board                                                                              |
| 50 mm     | rock/or mineral-wool 40 mm + air gap 10 mm (online: glass-wool)                        |
| 30 mm     | gypsum or gypsum fibre board 2 x 15 mm                                                 |
| 484.4 mm  | total structural thickness, weight 266.6 kg/m <sup>2</sup>                             |

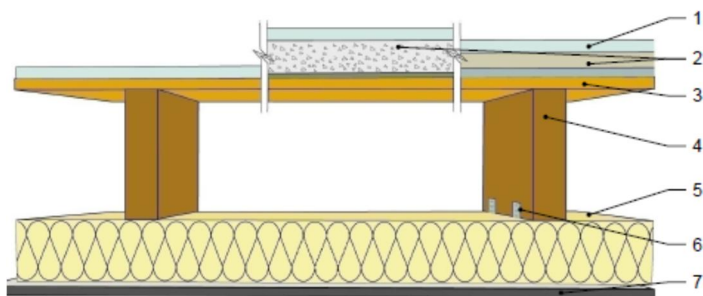
#### 2.3.2.6 Catalogue Construction Bois: Välipohjatyyppi 1

Ranskalaisen CCB-sivuston aloitussivulla voidaan valita rakennusosaksi esimerkiksi huoneistojen välinen välipohja. Toiselle sivulle avautuvat neljä vaihtoehtoista välipohjatyyppiä: 1) puurunkorakenne, 2) esivalmistettu elementtirakenne, 3) tuplapuurunkorakenne sekä 4) kokopuurakenne. Vaihtoehdolle 1 on seuraavalla sivulla erilaisilla liitostavoilla useita vaihtoehtoja, joista yksi vastaa verrokkirakennetta VP801KRL. Jänneväliä ei ole esitetty.

Rakennekerrokset on esitetty taulukossa 7 sekä kuvassa 14.

**Taulukko 7.** Välipohjan 1 rakennekerrokset kahdella kipsilevykerroksella, CCB. Suoritusasto: REI60,  $R_w = 63$  dB,  $L_{n,w} = 49$  dB, U-arvoa ei ole mainittu välipohjassa. Rakenneperiaate on esitetty detaljipiirustuksessa ja mitat mainittu erillisessä asiakirjassa. Rakennekerrosten kuvaus viittaa erilliseen standardiin. (FCBA, 2013.)

| Thickness | Layer                                                         |
|-----------|---------------------------------------------------------------|
| 14 mm     | surface layer, parquet                                        |
| 50 mm     | concrete casting on polyethylene                              |
| 18 mm     | timber board                                                  |
|           | timber, including thermal insulation (load bearing structure) |
|           | impact sound absorbents                                       |
| 36 mm     | gypsum board 2 x 18 mm                                        |
|           | total structural thickness or weight not listed               |



**Kuva 14.** Välipohjatyyppe 1, CCB (FCBA, 2013).

### 2.3.3 Lisämateriaali

Standardoitujen rakennetyyppien ja detaljien lisäksi neljä sivustoista sisältää esimerkiksi yleisiä ohjeita ja muuta rakennetyyppien käyttöön liittyvää lisämateriaalia. Itävaltalainen Dataholz ja sveitsiläinen Lignum Bauteilkatalog tarjoavat pelkästään rakennetyypit ja niihin liittyvät yksityiskohdat perustietoineen.

#### 2.3.3.1 RunkoPES 2.0.

*RunkoPES 2.0* -sivustoilla on rakennetyyppien lisäksi lyhyt johdanto, taulukko rakenteiden perustiedoista ja ominaisuuksista sekä erilliset taulukot kaikista rakennetiedoista, joiden perusteella voidaan arvioida rakenteiden paloteknisiä ja ääneneristysominaisuuksia sekä enimmäisjännettä, U-arvoa ja kokonaispaksuutta. Kaikista rakennetyypeistä voidaan ladata 2D ja 3D CAD-objektit.

Lisäksi sivustolla on sovellus, jolla voidaan mitoittaa esimerkiksi välipohjan rakennevahvuudet. Esimerkit paloteknisistä ratkaisuista sekä talotekniikan integroimisesta rakenteeseen on esitetty erillisissä asiakirjoissa. Kokoelma liitosdetaljeista on koottu omaksi asiakirjaksi. Lisäksi on esitetty esimerkkisuunnitelma rakennuslupapiirustukseen.

#### 2.3.3.2 Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4

GHG4 on kokonainen pdf-julkaisu, joka sisältää muun muassa läpyleikkauksen rakennusmääräyksiin ja ratkaisut esimerkiksi talotekniikan integroimiseen rakenteisiin. Rakenteiden paloteknisiä ominaisuuksia, niiden testaamista ja annettuja suosituksia käsitellään erillisessä kappaleessa.

Kolmasosa julkaisusta esittelee ehdotukset rakennetyypeiksi ja yksityiskohdiksi. Rakennetyypit on taulukoitu tyyppin, yleiskuvauksen ja indeksinumeron mukaan. Jokaisesta rakenneratkaisuista on oma sivunsa, jossa on tyyppin perustiedot, detalji- ja piirustus, lista rakennekerroksista sekä paloluokka ja ääneneristysarvot. Laskentasovelluksia, mitoitusohjeita tai muuta lisämateriaalia ei ole.

#### 2.3.3.3 Baubook

Puurakennedetaljien lisäksi *BauBook*-sivustoa on täydennetty *Eco2soft*-sovelluksella, jolla voidaan laskea rakennuksen ympäristövaikutukset U-arvon, ilmaston lämpenemispotentiaalin (GWP 100), happamoitumispotentiaalin (AP) ja primäärienergian määrän (PEI) mukaan määriteltynä. Lisänä on ilmainen rakennusosalaskuri, Bauteilrechner, jolla voidaan vertailla, muokata ja tallentaa valittuja rakenteita.

#### 2.3.3.4 Catalogue Construction Bois

Lisämateriaalina *CCB*-sivustolla on muun muassa puurakenteiden suunnittelu- ja mitoitusperiaatteita lämpöeristysten, ääneneristysominaisuuksien ja paloteknisen toiminnan mukaan määriteltynä. Rakennusmääräykset, normit ja ympäristövaikutukset ovat erillisinä asiakirjoina, ja linkkiä Eurokoodiin on korostettu. Puisen pientalon ja puukerrostalon periaatteelliset suunnitelmat sekä rakenteiden mitoitus on esitetty.

## 2.4 Käytettävyys

Eurooppalaiset, standardoidut rakenne- ja detaljikirjastot on tarkoitettu tukemaan puurakennusten arkkitehti- ja rakennesuunnittelua. Verkkosivuilla saatavilla olevan materiaalin tarkastelu sekä asuntojen välisen välipohjan rakenneratkaisujen vertailu osoittivat kuitenkin esteitä ja mahdollisuuksia niiden käytössä.

Suurin osa sivustoista oli vain julkaisijan kotikielellä. Poikkeuksena *Dataholz*, jonka *Baubook* on julkaistu useilla kielillä ja osa online-materiaalista on saatavilla saksan lisäksi englanniksi. Laajempi kielivalikoima lisäisi käytettävyttä ja toisi uusia mahdollisuuksia suunnittelijoille sekä rakennusosatuottajille.

Verkkosivujen käyttöliittymissä ja hakupoluissa oli suuria eroja. *Dataholz* ja *Lignum Bauteilkatalog* osoittautuivat käytännöllisiksi, koska niillä oli vain rajattu määrä ominaisuuksia esimerkiksi paloteknisessä suorituskyyvyssä. Detaljiratkaisujen pieni määrä neljässä muussa sivustossa helpotti käytettävyttä. Rakennerratkaisun, jolla olisi samanlaiset ominaisuudet, löytäminen eri sivustoilta osoittautui kuitenkin hankalaksi.

Esitetyn materiaalin kattavuus vaihtelee. Esimerkiksi itävaltalainen *Dataholz* sisältää suuren määrän vaihtoehtoja jokaiselle rakennetyypille, ja saksalaisessa *GHG4*-sivustossa on vain muutama periaatteellinen ratkaisu. Suomalainen *RunkoPES 2.0* keskittyy pelkästään puukerrostalon rakenteisiin. Muissa sivustoissa painopiste on pienemmissä rakenteissa ja jänneväleissä sekä paikalla tehdyissä rakenteissa.

Osa sivustoista toimii yleisenä ohjeena. Esimerkiksi saksalainen *GHG4* sisältää yleisohjeet puukerrostalon suunnitteluun. Ranskalainen *CCB* on luonteeltaan johdanto puurakentamiseen sekä katsaus pientalo- ja puukerrostalorakentamisessa käytössä oleviin rakenteisiin ja perusdetaljeihin. *RunkoPES 2.0* sisältää laa-

jimman materiaalin yleisistä ohjeista detaljisuunnittelun periaatteisiin sekä rakennuslupapiirustusten esimerkkisuunnitelman ja valikoiman CAD-suunnitteluobjekteja. Lisänä on myös mitoitusohjelmia puurakenteille. Itävaltalainen Dataholz ja sveitsiläinen Lignum Bauteilkatalog eivät sisällä mitään ohjeistusta, mutta niissä on suurin määrä erilaisia rakennetyyppejä ja yksityiskohtaisia ratkaisuja. Itävaltalainen Baubook tarjoaa ainoana monipuolisen ympäristövaikutusten arviointityökalun.

Kaikkien sivustojen rakennetyyppi- ja detaljikirjastot käyttävät erilaista merkintäjärjestelmää (esimerkkeinä VP801KRL, gdrnxn04b, GCI 01 versio a). Luettelointimerkintöjen ymmärrettävyyttä ja käytettävyyttä olisi voinut parantaa ja rakennetyyppeihin olisi voinut liittää viitteet ulkopuolisiin lähteisiin kuten rakennusmääräyskokoelmiin.

Verkkosivustojen ja ohjeistuksen perusajatuksena on helpottaa puurakennusten suunnittelua laatimalla valmiiksi valikoima rakenneratkaisuja ja standardidetalleja. Tavoitteena on vähentää tarpeettoman työn ja päällekkäisen suunnittelun määrää, mikä vaatii kattavaa, yleisesti tunnustettua ja hyväksyttyä rakenne- ja detaljikirjastoa. Kattavuuden kannalta Dataholz tarjoaa vaatimukseen valmiin ratkaisun ja RunkoPES 2.0. kokonaisvaltaisimman lähestymistavan.

Vaikka tietotekniikan ja tietokoneavusteisen suunnittelun ja tuotannon käyttö on Lean-ajattelun mukaisesti keskeinen osa lisätä puurakentamisen tehokkuutta, vain muutama verkkosivu tarjosi valmiit CAD-objektit. RunkoPES 2.0. tarjoaa monipuolisimman ratkaisun tietokoneavusteiseen suunnitteluun.

Eurooppalaiset verkkosivut on kehitetty ja toteutettu puutuote- ja puurakennusteollisuuden sekä tutkimuslaitoksien yhteistyönä. Tarkasteltu aineisto on vielä epäyhtenäinen, ja sen tehokas ja laaja käyttö vaatisi betonirakennejärjestelmien tapaan vakiintuneet ratkaisut sekä helpommat käyttöliittymät.

Tarkastelu osoittaa, että puurakenneratkaisut ovat samansuuntaisia. Palotekniikka ja ääneneristys on ratkaistu samanlaisten periaatteiden mukaisesti. Esimerkiksi rakenteiden paloturvallisuus on ratkaistu kaikissa tapauksissa pääosin kotoimalla puurakenteet. Rakenteiden mitoitus jännevälillä perusteella poikkeaa eniten. Lämmöneristyksessä poikkeavin on Baubook-sivuston passiivitalorakenteet. Kokonaisuutena sivustoilla esitetyt rakenteet antaisivat yhteisen perustan puurakentamisen yhteisille standardeille.

## 2.5 Johtopäätökset

Lean-tutkimuksen havaitsema moninkertainen päällekkäinen suunnittelu ja yksityiskohtien kertaluontoinen suunnittelu hukkaavat resursseja rakennusprosessissa. Puukerrostalojen rakentamista voidaan optimoida kehittämällä etukäteen suunniteltuja vakioituja rakenteita ja yksityiskohtia.

Tutkimuksessa arvioitiin kuusi Euroopassa julkaistua online-ohjeistusta puurakentamisen standardiratkaisuista. Käytettävyyttä arvioitiin etsimällä kaikista sivustoista mahdollisimman samankaltainen asuinhuoneistojen välinen välipohjarakennetyyppi ja vertailemalla ratkaisuja keskenään.

Ongelmina ohjeistuksen käytössä olivat käytetyn kielen lisäksi epäkäytännölliset, osittain toimimattomat käyttöliittymät, erilaisten rakenneratkaisujen ja -tyyppien lukumäärä sekä monimutkaiset tunnistetiedot. CAD-objektit puuttuivat suurimmasta osasta sivustoja, vaikka tietokoneavusteinen suunnittelu ja tuotanto hyötyisivät niistä paljon. Osa ohjelmistoista oli enemmän johdatusta puun käyttöön rakentamisessa kuin toimiva työkalu.

Suunnittelijoille sivustojen ohjeistus tarjoaa kokonaisnäkymän eurooppalaisen puurakentamisen ratkaisuihin sekä keinon tarkistaa käytettyjen ratkaisujen yhteensopivuus paikallisiin rakennusmääräyksiin. Tutkimuksen tarkastelu osoittaa, että useimmiten ratkaisut eri maissa ovat hyvin samankaltaisia, mikä tukee ajatusta standardoitujen ratkaisujen käytön hyödyntämisestä suunnitteluprosessissa.

Tutkimuksen mukaan puurakennukset Itävallassa, Ranskassa, Saksassa, Suomessa ja Sveitsissä voidaan suunnitella samankaltaisilla rakenneratkaisuilla ja yksityiskohdilla. Ratkaisujen yhteensopivuus luo rakennusteollisuudelle mahdollisuuksia Euroopan laajuisessa kilpailussa.

### **3. Puukerrostalon resurssitehokkuus ja hiilijalanjälki**

#### **3.1 Resurssitehokkuuden määritelmät**

##### **3.1.1 Resurssitehokkuus**

Resurssitehokkuuden lähtökohtana on käyttää maapallon resursseja kestäväällä tavalla ja vähentää niiden ympäristövaikutuksia. Se on myös yksi tärkeimmistä keinoista siirtyä vähähiiliseen ja niukka-resurssiseen talouteen eli vihreään talouteen.

Niukkuuden näkökulmasta resurssitehokkuus tarkoittaa toiminnan ja tuotannon energioresurssien, henkilöresurssien sekä materiaalien ja raaka-aineiden säästeliästä käyttöä. Laajassa merkityksessään resurssitehokkuus sisältää materiaalin ja energian käytön lisäksi myös muiden luonnonvarojen käytön, kuten ilman, veden, maan ja maaperän tehokasta käyttöä. Materiaalien käytön tehokkuus saavutetaan materiaalien ja energian käytön tehostamisella, mutta myös tuotteiden tai jätteiden kierrätyksen ja uudelleen käytön ansiosta.

Resurssitehokkuus on kaikkien alalla toimivien, kuten materiaalien ja osakomponenttien valmistajien, arkkitehtien ja rakennesuunnittelijoiden, kuten myös rakentajien, toiminnan tehokkuuksien summa.

Esimerkiksi rakennusmateriaalien ja osakomponenttien valmistajat voivat vaikuttaa materiaalitehokkuuteen hankkimalla sellaisia raaka-aineita, joiden hankinnan energiankulutus, kuljetusmatkat ja jätteiden määrät ovat vähäisiä, käyttämällä parhaita teknologisia ratkaisuja materiaalien valmistuksissa, hyödyntämällä sivutuotteita ja jätteitä tuotevalmistuksessa ja myös tuottamalla itse mahdollisemman vähän prosessijätettä.

Arkkitehdit ja rakennesuunnittelijat vaikuttavat materiaalitehokkuuteen suunnittelutavan rakennuksen muodon- ja arkkitehtuurisen monimuotoisuuden osalta, valitsemalla materiaaleja, jotka ovat materiaalitehokkuudelta ja energiantehokkuudelta edullisia, suunnittelemalla ratkaisuja ja detaljeja, joissa on paljon toistoja (käyttämällä standardoituja ratkaisuja, joita voidaan valmistaa teollisesti) sekä suunnittelemalla rakennukset pitkäikäisiksi, kierrätettäviksi ja vähän huoltoa vaativiksi.

Rakentajat vaikuttavat materiaalitehokkuuteen tuottamalla mahdollisemman vähän työmaajätettä ja käyttämällä rakennusjätteen lajittelua, jotta materiaaliätteet voidaan hyödyntää paremmin.

### **3.1.2 Menetelmä**

Energiankäytön ja materiaalivirtojen tarkastelun menetelmänä käytetään elinkaariarviota (LCA-menetelmä). Elinkaariarvio tarkoittaa tuotteen tai palvelun koko elinkaarenaikaisten ympäristövaikutusten tutkimista raaka-aineiden hankinnasta tuotteen loppusijoitukseen tai hävittämiseen asti. Elinkaariarvion menetelmä on standardoitu, ja yleiset ohjeet, laskennan vaatimukset sekä huomioon otettavat elinkaarivaiheet on ilmoitettu standardeissa ISO 14040:2006, ISO 14044:2006 ja EN 15804:2012+A1:2013, puutuotteiden erikoiskysymykset LCA-laskennassa SFS-EN 16485:2014 -standardissa ja rakennusten laskenta EN 15978 -standardissa.

Rakennuksen vaiheet elinkaarilaskennassa (EN 15978) ovat tuotevaihe, rakentamisen vaihe, käyttövaihe ja elinkaaren päätösvaihe. Tuotevaihe koostuu raaka-aineiden hankinnasta (A1), kuljetuksesta (A2) ja tuotteen valmistuksesta (A3). Rakentamisen vaihe koostuu tuotteen kuljetuksesta työmaalle (A4) sekä rakentamisesta/asennuksista (A5). Rakennuksen käyttövaiheeseen liittyvät elinkaaren vaiheet, jotka puolestaan liittyvät rakennusmateriaaleihin, ovat rakenteiden ylläpito (B3), materiaalien uusimiset (B4) ja kunnostukset (B5). Elinkaaren päätösvaiheeseen liittyvät rakennuksen purku (C1), materiaalien kuljetukset (C2), jätteen käsittely (C3) ja loppusijoitus (C4).

Tässä tapaustutkimustarkastelussa kerrostalojen tarkastelu koskee elinkaari-vaiheita A1–A3.

### **3.1.3 Indikaattorit**

Resurssien käyttö voidaan jakaa uusiutumattomiin resursseihin, jotka muotoutuvat hyvin pitkän geologisen periodin aikana, ja uusiutuviin resursseihin, jotka voidaan tuottaa uudestaan, kuten auringonvalo, tuuli, ilma ja sellaiset, joita voidaan tuottaa lyhemmän tai pitemmän aikajakson jälkeen uudestaan, esimerkiksi puutavara.

Standardissa EN 15978 resursseja kuvaavat indikaattorit koskien energiaa ja materiaalienkäyttöä ovat

- uusiutumaton ja uusiutuva primäärienergia (MJ)
- uusiutuvat ja uusiutumattomat raaka-aineet (kg)
- sekundääriraaka-aineet (kg)
- abioottisten (ei fossiilisten) resurssien kuluminen (kg/antimoni ekvivalentti)
- fossiilisten resurssien kuluminen (MJ)
- uusiutuvat ja uusiutumattomat sekundääripolttoaineet (MJ)
- veden kulutus (m<sup>3</sup>).

Lisäksi kaikki potentiaaliset ympäristövaikutukset ovat samalla resurssien käytön indikaattoreita. Tällaisia ovat esimerkiksi kasvihuonekaasut, maaperän happamointuminen, oksidanttien muodostuminen sekä muut ympäristövaikutuksia esittävät kategoriat, jotka kuvaavat resurssien käytöstä johtuva haittavaikutuksia. Ruuska & Häkkinen (2014) ovat ehdottaneet, että resurssitehokkuus voitaisiin laskea yksinkertaisesti käyttämällä mittarina kasvihuonekaasupäästöjä. Kasvihuonekaasupäästöjen tarkastelu on hyvin monipuolista ja pitää sisällä kokonaismateriaalien kulutuksen, jossa huomioidaan jätteiden synnyn lisäksi valmistuksen energiankulutus sekä käytetyn energian laatu ja siitä johtuva vaikutus. Näin ollen resurssitehokkuusindikaattorina tässä tarkastelussa ovat materiaalien käytön lisäksi rakennusmateriaalien valmistuksen kasvihuonekaasupäästöt, jotka lasketaan hiilijalanjälkivaikutuksena ( $\text{CO}_2\text{e} = 1 \times \text{CO}_2 + 25 \times \text{CH}_4 + 298 \times \text{N}_2\text{O}$ ).

## 3.2 Puukerrostalojen rakentaminen

### 3.2.1 Puukerrostalot

Rakentaminen kuluttaa materiaalien ja energian käytön osalta enemmän raaka-aineita kuin mikään muu teollisuudenala. Tilastojen mukaan (EU27) uudisrakentaminen ja korjausrakentaminen yhteensä käyttävät vuodessa noin 1 800 miljoonaa tonnia rakennusmateriaaleja, josta puutuotteiden määrä on verrattain pieni (24 miljoonaa tonnia) (Herczeg et al., 2014).

Rakennusten purku tuottaa noin 40–50 % kaikista jätteistä, toisaalta niin rakentamisessa kuin purussa valtaosa rakentamisessa käytetyistä raaka-aineista on uusiutumaton alkuperää.

Puuta käytetään rakentamisessa globaalisti verrattain vähän, ja myös Euroopan mittakaavassa puurakentaminen on pientä.

Suomessa puurakennuksia ovat perinteisesti olleet pientalot: vapaa-ajan asunnot, omakotitalot ja rivitalot. Puuinfon mukaan suomalaisista pientaloista noin 80 % rakennetaan puurunkoisena, noin 75 % julkisivuista on puuta ja noin 10 % pientalorakentajista rakentaa hirsitalon (<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puurakentaminen/puurakentamisen-asema-ja-mahdollisuudet-suomessa>).

Puisten kerrostalojen rakentaminen on ollut Suomessa tähän saakka vähäistä. Yli kaksikerroksisia puisia asuinkerrostaloja on vuoden 2016 tilaston mukaan rakennettu 52 kpl ja lisäksi muutama julkinen rakennus. Puuinfon mukaan puukerrostaloissa on yhteensä 1233 asuntoa. (<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/LUKUJA%20JA%20LASKELMIA%2030122016.pdf>).

Puisten kerrostalojen rakentamiselle on asetettu tiukempia rakennusmääräyksiä kuin betonirakentamiselle. Puukerrostalojen kerrosmäärä on ollut rajoitettu neljään kerrokseen, lisäksi on asetettu erityisvaatimuksia koskien palosuojausta, akustiikkaa ja kosteusteknistä suunnittelua. Määräyksiä on tarkistettu osittain, ja tällä hetkellä palomääräykset Suomessa sallivat jo kahdeksankerroksisten puukerrostalojen rakentamisen, kuitenkin puupintojen kotelointi, palosuojaus ja sprinklerit ovat edelleen vaatimuksena puukerrostaloissa. Määräysten helpottaminen on

vilkastuttanut puukerrostalojen rakentamista, ja vuonna 2016 aloitettiin 600 uuden puukerrostaloasunnon rakentaminen.

Puukerrostalojen rakentamisessa on käytössä useita eri rakennusjärjestelmiä, kuten pilari-palkki-laattajärjestelmä, suurelementtijärjestelmä ja tilaelementtijärjestelmä. Vaikka puukerrostalojen rakentaminen on Suomessa vasta alkuvaiheessa, on jo nyt nähtävissä, että puuelementtien teollinen esivalmistus auttaa pienentämään rakennusvirheitä, vähentämään työmaan jätteiden määriä, nopeuttamaan rakennuksen läpimenoaikoja ja näin ollen alentamaan kokonaiskustannuksia. Oletuksena on, että tehdasoloissa rakentaminen on myös edullisempaa rakennusmateriaalien tehokkaan käytön näkökulmasta.

### **3.2.2 Puumateriaalit ja kasvihuonekaasupäästöt**

Rakentamisessa ja sisustuksessa käytetyt puumateriaalit ovat puupalkit ja pilarit, sahatavara, liimapuu (puusoirosta liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote), kertopuu (havupuuviiluista valmistettu puutuote), CLT (ristiin liimattu massiivinen puulevy), lastulevy, OSB (kolmikerroksellinen pitkälatsuinen puulevy), LVL (viilupuu, sorvatuista viiluista liimaamalla valmistettu rakenteellinen puutuote), kuitulevy (puukuitulevy) ja vaneri (havu- ja koivuvaneri). Puupohjaisia materiaaleja on käytetty myös sellukuitu- ja paperipohjaisissa eristetuotteissa, ja lisäksi puutavaraa käytetään ovissa, ikkunoissa ja portaissa.

Puumateriaali on luonnon materiaali, joka perustuu uusiutuvaan luonnonvaraan, ja lisäksi kasvun aikana puu toimii hiilinieluna. Toisaalta myös puutavaran käsittelyssä, jatkojalostuksessa ja puurakentamisprosessissa voidaan tuhjata raaka-aineita ja näin ollen aiheuttaa epäsuotuisia vaikutuksia ilmastoon, maaperään ja vesistöön.

Elinkaaritarkasteluissa tuotteen elinkaari pitää sisällään tuotteen raaka-aineiden hankinnan, kuljetuksen, valmistuksen, työmaankuljetuksen, asentamisen, käytön-aikaisen huollon, uusimiset ja kunnossapidot, kunnes tuote poistetaan käytöstä ja kuljetetaan loppusijoitukseen (EN 15978). Joskin puutuotteiden elinkaaritarkastelussa tuotteen valmistusprosessi on isoin energioresurssin käyttäjä. Taulukko 8 esittää mekaanisen metsäteollisuuden puutuotteiden puumateriaalin kulutuksen sekä sähkön- ja lämmönkulutuksen tuotteiden valmistusprosessissa.

**Taulukko 8.** Suomalaisen, mekaanisen metsäteollisuuden puunkulutus, sähkön ja lämmönkulutus puutuotteiden valmistuksessa ([https://tem.fi/documents/1410877/2772829/P%C3%B6yry\\_Suomen+mets%C3%A4teollisuus+2015-2035.pdf/ac9395f8-8aea-4180-9642-c917e8c23ab2](https://tem.fi/documents/1410877/2772829/P%C3%B6yry_Suomen+mets%C3%A4teollisuus+2015-2035.pdf/ac9395f8-8aea-4180-9642-c917e8c23ab2)).

|                                                                  | Saha-<br>tavara | Koivu-<br>vaneri | Havu-<br>vaneri | LVL           | Lastu-<br>levy | Kuitu-<br>levy |
|------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|---------------|----------------|----------------|
| Puunkulutus<br>m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> (sub)              | 1,95            | 2,9              | 2,2             | 2,1           | 1,8            | 2,6            |
| Lämmönkulutus<br>GJ/m <sup>3</sup> (2015)                        | 1,10            | 2,50             | 2               | 2             | 2,3            | 5,4            |
| Sähkönkulutus,<br>kWh/m <sup>3</sup> (GJ/m <sup>3</sup> ) (2015) | 75<br>(0,27)    | 230<br>(0,83)    | 120<br>(0,43)   | 120<br>(0,43) | 160<br>(0,58)  | 500<br>(1,8)   |

Resurssitehokkuuden näkökulmasta sahatavaran valmistus Suomessa on ollut hyvin tehokasta. Sahatavaran sivutuotteet, kuten puru, kuori ja hake, on perinteisesti otettu talteen ja jalostettu tehokkaasti uusiksi tuotteiksi; näin ollen raaka-aineita ei hukata. Sahatavaran jalostuksen sivutuotteiden hyödyntäjät ovat olleet paperiteollisuus, levyteollisuus ja energiateollisuus. Vaikka sahatavaran valmistuksessa on käytetty puuta melkein kaksi kertaa enemmän kuin on ollut sahatavaran saanto (Taulukko 8), sahatavaran lisäksi prosessi tuottaa raaka-aineita muun teollisuuden tarpeeseen. Käsittelyn hävikkihukkaa, tarkastelun aikana, on ollut vain 3 % (Vares, 2013, kuva sivulla 65, F.5.3-4). Metsäteollisuuden teettämän sahojen ympäristökyselyn mukaan useamman vuoden tarkastelu osoittaa, että erot ovat hyvin pieniä.

Myös muiden puutuotteiden sivutuotteita sekä leikkausjätteitä voidaan hyödyntää helposti tuotteiden valmistusprosesseissa esimerkiksi energian tuottamiseksi tuotteen kuivauksen tarpeeseen tai tilojen lämmitykseen. Tämä puuraaka-aineen hyödyntäminen näkyy hyödyntäjien tuoteprosesseissa. Jos puupohjaisen energian hyödyntäjä on ollut puutuotteen valmistaja, tuotteen hiilijalanjälki on pienempi verrattuna tuotteeseen, jossa hyödyntäjänä on ollut prosessin ulkopuolinen toimija.

Mekaanisen metsäteollisuuden puutuotteiden valmistusmäärät Suomessa ovat olleet kasvussa vuoden 2010 valmistukseen nähden. Uutta kapasiteettia on rakennettu CLT:n (2014) ja LVL:n (2016) osalta. CLT (Cross Laminated Timber) on laudoista kerroksittain ristinliimattu massiivinen puulevy, jota käytetään rakennuksessa kantavana pysty- tai vaakaelementtinä. LVL on puolestaan viilupuu, joka valmistetaan sorvatuista viiluista liimaamalla nämä yhteen.

CLT:tä ja LVL:ää on käytetty Suomessa jo aikaisemminkin, mutta ne ovat silloin olleet tuontitavaraa (sisältäen pitkän kuljetusmatkan Suomeen). Toisaalta CLT:n levyjen valmistuksen hukkapaloja on pystytty hyödyntämään tehokkaasti tuotteen kuivauksessa ja tilojen lämmityksessä. Näin ollen tuotteen raaka-ainemenekkiä ja ympäristövaikutuksia on pystytty pienentämään.

Puusta valmistettu rakennustuote on puun kasvukauden aikana sitonut ilmakehästä enemmän hiilidioksidiä, kuin tuotteen valmistukseen on kulunut. Sitoutuneen hiilidioksidin laskenta on esitetty standardissa EN 16449:2014. Taulukko 9 esittää suomalaista alkuperää olevien puutuotteiden valmistuksen CO<sub>2</sub>e-päästöt (elinkaaren vaiheet A1–A3) sekä sitoutuneen CO<sub>2</sub>:n määrän.

**Taulukko 9.** Puutuotteiden tilavuuspaino, valmistuksessa aiheutuneet CO<sub>2</sub>e-päästöt (elinkaaren vaiheet A1–A3) sekä sitoutunut hiili (laskettu sitoutuneena CO<sub>2</sub>:na).

|                       | Tiheys<br>kg/m <sup>3</sup> | CO <sub>2</sub> e<br>g/kg                                 | Sitoutunut CO <sub>2</sub> ,<br>g/kg |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Sahatavara            | 450                         | 87                                                        | 1550                                 |
| Liimapuu              | 470                         | 327                                                       | 1620                                 |
| CLT                   | 500                         | 307 (josta suurin osa<br>johtuu kuljetuksesta<br>Suomeen) | 1552                                 |
| Kertopuu (LVL-T)      | 440                         | 309                                                       | 1793                                 |
| Vaneri (havuvaneri)   | 450                         | 605                                                       | 1708                                 |
| Lastulevy             | 630                         | 565                                                       | 839                                  |
| Kuitulevy (huokoinen) | 300                         | 425                                                       | 1531                                 |

Puupohjaiset materiaalit voivat olla joko Suomessa valmistettuja tai tuontitavaraa. Materiaalitehokkuudessa ja ympäristövaikutuksissa saattaa olla isoja eroja, mikä johtuu puunkäsittelyn sivutuotteiden/jätteiden hyödyntämisestä, valmistuksen energiankäytöstä, päästöjen kohdentamisesta sivutuotteille sekä erityisesti siitä, miten tuotevalmistuksessa käytetty (maakohtainen) sähkö ja lämpö on valmistettu. Erot suomalaisen valmistajan nähdessä voivat olla jopa monikeräiset. Esimerkkejä erilaisten puutuotteiden hiilijalanjälkivaikutuksista on koottu €CO<sub>2</sub> -projektin toimesta VTT Technology -sarjan julkaisuun nro 115 (Carbon footprint for building products, 2013).

Suomessa käytetyt, mutta ulkomailla valmistetut puutuotteet aiheuttavat rakennusalaan ympäristövaikutuksia myös pitkien kuljetusmatkojen takia. Vuoden 2015 mekaanisen metsäteollisuuden tilaston mukaan (Taulukko 10) lastulevyn, kuitulevyn ja OSB:n tuonti ulkomailta on ollut merkittävää eli 50 %, 70 % ja 100 %.

Sahatavaran ja vanerin tuonti Suomeen on ollut pientä, mutta hiilijalanjälkilaskennassa erot kotimaisen ja ulkomailla valmistetun tuotteen välillä ovat suuret. Sahatavaran valmistuksen hiilijalanjälki suomalaisen tuotteen osalta on noin 90 g/kg, ruotsalaisen sahataavan osalta 13 g/kg ja saksalaisen sahataavan osalta 152 g/kg (CO<sub>2</sub>e = 6–68 kg/m<sup>3</sup>) (VTT Technology 115). Tämän mukaan sahataavan valmistuksen hiilijalanjäljen ero voi olla jopa yli kymmenkertainen. Rakennusala toimii tänä päivänä hyvin globaalisti, ja näin ollen rakennuksen materiaalit ovat joko suomalaista tai ulkomaista alkuperää. Rakennuksien elinkaaritarkastelu tuottaa mahdollisemman "oikean" tuloksen, kun käytetään ensisijaisesti tuotevalmistajien ilmoittamia tietoja tuotteiden valmistuksesta. Toisaalta ainakin suunnittelun alkuvaiheessa tehdyssä elinkaaritarkastelussa, kun ei ole vielä tietoa tuotteen alkuperästä, alan tuottamien keskiarvotietojen käyttö ja herkkyystarkastelut ovat hyvä tapa osoittaa vaikutus.

**Taulukko 10.** Puutuotteiden kotimainen valmistus sekä nettotuonti Suomessa vuonna 2015. <https://www.metsateollisuus.fi/tilastot/toimialat/25-Puulevyteollisuus/>.

| Puutuote   | Valmistus Suomessa, 1000 m <sup>3</sup> | Tuonti 1000 m <sup>3</sup> | Kotimaisen tuotteen osuus | Tuonti-materiaalin osuus |
|------------|-----------------------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Sahatavara | 10 600                                  | 500                        | 95 %                      | 5 %                      |
| Vaneri     | 1 152                                   | 82                         | 93 %                      | 7 %                      |
| Lastulevy  | n. 78                                   | 77                         | 50 %                      | 50 %                     |
| OSB        | -                                       | 21                         | -                         | 100 %                    |
| Kuitulevy  | n. 42                                   | 157                        | 21 %                      | 79 %                     |

### 3.2.3 Rakentamisen aikainen energiankulutus

Kerrostalarakennustyömaalla kuluu energiaa rakentamiseen. Energiaa tarvitaan siirtoihin ja nostoihin, erilaisiin asennustöihin sekä lämmitykseen. Työmaan energialähteinä käytetään sähköä, kaukolämpöä sekä polttoöljyä, joskin esimerkiksi ”kuivatus” ja sisätilojen lämmitys voidaan suorittaa käyttämällä joko sähkökäyttöisiä tai öljykäyttöisiä lämmittimiä ja kaukolämpöä.

Tässä tarkastelussa selvitettiin rakentamisen aikainen energiankulutus rakennustyömaan energialaskujen perusteella. Esimerkkinä käytettiin neljää betonielementtikerrostalokohdetta ja kolmea puukerrostalokohdetta (taulukko 11). Puukerrostalokohde A on ollut leanWOOD-projektin tapaustutkimuksen kohde myös resurssitehokkuuden sekä energiatehokkuuden (nZEB) selvityksissä.

Kohteiden kuvaus:

- Kohteiden rakentaminen ajoittui eri vuodenaikoihin, joten rakentamisen aikana sisätiloja lämmitettiin kaikissa kohteissa.
- Betonikerrostalokohteet olivat elementtirakenteisia, välipohjina käytettiin ontelolaattoja.
- Energiankulutus ei sisällä työmaan kuljetuskaluston polttoainekulutuksia.
- Arviossa ovat mukana isommat sekä pienemmät puu- ja betonikerrostalokohteet (ks. taulukko 11).

**Taulukko 11.** Rakentamisen aikainen energiankulutus (energiankulutuksen luvut perustuvat Rakennusliike Reponen Oy:n rakentamien kohteiden työmaanaikaisiin energialaskuihin).

|               | Kohteen koko   | Sähkö              | Kaukolämpö         | Polttoöljy         | Yhteensä           |
|---------------|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
|               | m <sup>3</sup> | kWh/m <sup>3</sup> | kWh/m <sup>3</sup> | kWh/m <sup>3</sup> | kWh/m <sup>3</sup> |
| Bet-1         | 6 400          | 12                 | 0                  | 5,3                | 17                 |
| Bet-2         | 37 410         | 7                  | 5,2                | 2,0                | 14                 |
| Bet-3         | 5 570          | 9                  | 0                  | 3,2                | 12                 |
| Bet-4         | 28 340         | 11                 | 2,4                | 0                  | 14                 |
| Bet keskiarvo |                |                    |                    |                    | 14,4               |
| Puu-1         | 4 687          | 14                 | 0                  | 0                  | 14                 |
| Puu-A         | 59 986         | 8                  | 6,6                | 1,2                | 16                 |
| Puu-2         | 30 045         | 7                  | 3,2                | 0                  | 10                 |
| Puu keskiarvo |                |                    |                    |                    | 13,7               |

Tulosten perusteella rakennusaikainen ostoenergiankulutus on kaikissa kohteissa samaa suuruusluokkaa ja on karkeasti arvioiden samaa suuruusluokkaa kuin noin yhden vuoden käytönaikainen ostoenergian kulutus. Tällaisena tulos antaa benchmark-arvon asuinkerrostalon rakentamisen aikaisen energiankulutuksen tasosta. Prosentuaalisesti suurempaa vaihtelua todennäköisesti esiintyisi, jos mukana olisi esimerkkejä esivalmistusasteen ääripäistä (paikalla rakennuttuja rakennusosia / valmiita tilaelementtejä).

### 3.3 Rakennuksen materiaalihokkuuteen vaikuttavat tekijät

#### 3.3.1 Rakennuksen muoto

Rakennuksessa käytettyjen materiaalien määrä riippuu rakennuksen arkkitehtuurista, mutta myös suunnittelun lähtökohtana olevista toiminnallisista ominaisuuksista. Rakennuksen suunnittelun lähtökohtana on täyttää asiakkaan tarpeet tilojen määrästä ja toiminnallisuudesta. Suunnittelijan on tehtävä tilavaraukset varsinaisille tiloille, aputiloille, teknisille tiloille, järjestelmille sekä myös talon rakenteille. Tehokas pohjaratkaisu ja tilojen sijoittelu tuottavat energia-, materiaali- ja kustannustehokkaan rakennuksen.

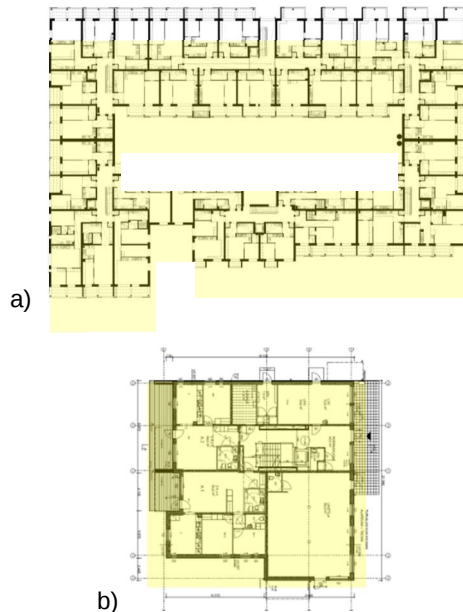
Mitä pienempi on rakennuksessa käytettyjen materiaalien määrä, sitä kevyempi on rakennus ja sitä pienempi on myös materiaaleista johtuva hiilijalanjälki. Kaikkein tehokkain geometria rakennuksen vaipan suhteen on suorakaide (kuutiomainen malli). Rakennuksen geometrian optimoinnissa pitäisi välttää erilaisia muotoja, erkkereitä ja syvennyksiä tai niiden määrää tulisi pienentää, toisaalta ei saisi hukata arkkitehtonista visiota. Rakennuksen arkkitehtuuri ja geometrinen muoto vaikuttavat rakennusosien määriin ja niiden keskinäisiin suhteellisiin osuuksiin. Taulukon 12 esimerkissä rakennuksen pohjapinta-ala on samaa, mutta ulkoseinien pinta-ala

epäedullisen geometrian tapauksessa on kasvanut jopa yli 40 %. Saman verran kasvavat myös seinässä käytettyjen materiaalien määrä sekä hiilijalanjälki.

**Taulukko 12.** Rakennuksen muodon vaikutus julkisivu-m<sup>2</sup>:iin.

| Lattian geometria                                   | Pohjan ala, m <sup>2</sup> | Rakennuksen kerroskorkeus, m | Ulkoseinän ala, m <sup>2</sup> | Ulkoseinän pinta-alan kasvu vertailun nähden |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------------------------------------|
| Neliö (18 x 18 m)                                   | 324                        | 3                            | 216                            | vertailu                                     |
| Suorakulmio (22 x 14,7 m)                           | 324                        | 3                            | 220                            | + 2 %                                        |
| Atrium                                              | 324                        | 3                            | 248                            | + 15 %                                       |
| Kytetty neliö ja suorakulmio (14 x 14 m + 16 x 8 m) | 324                        | 3                            | 312                            | + 44 %                                       |

Tässä tutkimuksessa rakennukset olivat geometrialta erilaisia. Kivistön puukerrostalo oli atrium-mallinen (A), Eskolantien rakennus neliömäinen (B) ja Kuninkaantammen rakennuksista kaksi enemmän neliömäisiä ja kaksi suorakulmiomaisia (C). Näin ollen vaipan suhteellinen osuus tilavuuteen nähden on kaikissa tapaus-tutkimuksissa erilainen.



**Kuva 15.** Kahden tapaustutkimuksen puukerrostalojen pohjan geometrisiä muotoja (A – Kivistö, B – Eskolantie).

Rakennuksen motoon ja geometrisen mallin kuvaamiseksi on ehdotettu käytettävään kompaktius (tehokkuus) -indeksiä. Rakennuksen kompaktius on rakennus- $m^2$ :n suhdeluku rakennuksen tilavuuteen, ja se voidaan esittää myös tilakohtaisesti (Albatici, 2011) tai tässä ehdotetun mukaan: lasketaan rakenneosien (ulkoseinä, alapohja, katto) suhde rakennuksen tilavuuden nähden. Esimerkiksi ulkoseinien kompaktiusindeksi on  $ulkoseinien-m^2/rakennus-m^3$  jne. Verrattaessa indeksiä voidaan huomata esimerkiksi, onko rakennuksessa suhteellisesti enemmän väliseiniä kuin toisessa tai onko ulkoseinien määrä isompi suhteessa toteutettuun tilavuuteen vai ei.

Taulukko 13 esittää rakennuksien kompaktiusindeksit rakenteittain. Tämän tarkastelun mukaan voidaan huomata, että kohteen A ulkoseinien indeksi on pienempi kuin kohteen B ja että B:n väliseinien indeksi on kaksinkertainen verrattuna kohteen A väliseinien indeksiin. Muissa rakenteissa erot ovat pienempiä.

Suhteellisen iso väliseinien määrä tapauksessa B johtuu siitä, että rakennustapana käytetään tilaelementtiä. Tämä rakennustapa vaatii, että tilaelementit valmistetaan tehtaalla ja ne sisältävät kaikki neljä seinää. Laatikot yhdistetään työmaalla, jossa kaksi sisäseinää tulevat vastakkain. Materiaaliresurssien näkökulmasta tilaelementin sisäseinien materiaalien laatu ja määräoptimointi tehdään suunnittelussa, mutta elementin nosto, kuljetus sekä asentaminen asettavat tilaelementille erilaisia jäykkyysvaatimuksia kuin seinille, jotka rakennetaan työmaalla.

**Taulukko 13.** Rakenteiden tehokkuuskerroin (A – Kivistö, B – Eskolantie, C – Kuninkaantammi).

| Rakenne                                            | A     | B     |
|----------------------------------------------------|-------|-------|
| Koko rakennus (br-m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ) | 0,296 | 0,333 |
| Alapohja (AP-m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )      | 0.059 | 0.052 |
| Ulkoseinä (US-m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )     | 0.115 | 0.180 |
| Väliseinä (VS-m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )     | 0.272 | 0.529 |
| Välipohja (VP-m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )     | 0.281 | 0.291 |
| Katto (YP-m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )         | 0.053 | 0.050 |

### 3.3.2 Rakenteet ja materiaalit

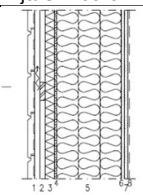
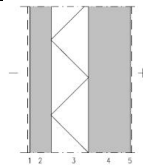
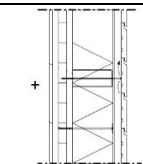
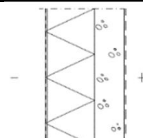
Käyttämällä puutuotteita erilaisissa rakenneratkaisussa päädytään hyvinkin erilaisiin tuloksiin luonnonvarojen kulutuksen suhteen, mikä puolestaan johtaa erilaisiin hiilijalanjälkituloksiin ja hiilisisältöön.

Puuinfolle tehdyn selvityksen mukaan (Ruuska et al., 2012) puurakenteisen ulkoseinän luonnonvarojen kulutus voi olla noin 60–293 kg/m<sup>2</sup>, kasvihuonekaasupäästöt noin 8–68 kg/m<sup>2</sup> ja hiilisisältö noin 30–89 kg/m<sup>2</sup>. Tämä johtuu pääasiassa siitä, että puurakenteet sisältävät myös muita rakennusmateriaaleja, joiden materiaalikulutus tai päästöt voivat olla hyvinkin erilaiset. Toisaalta rakenteiden täytyy täyttää niille asetetut toiminnalliset vaatimukset, kuten kantavuus, lämmöneristys, ääneneristys, palosuojaus, ilmatiiviys, vesitiiviys. Kaikki samaa tyyppiä edustavat rakenteet, esimerkiksi seinät, eivät ole toiminnallisesti samanarvoisia, kun vaatimukset ovat joko ensisijaisia tai toissijaisia tai varsinaisia vaatimuksia ei esitetä. Seinärakenteet, joille on asetettu erilaisia toiminnallisia vaatimuksia, ovat

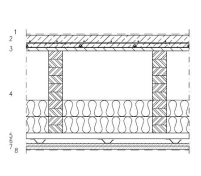
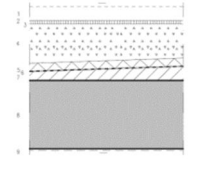
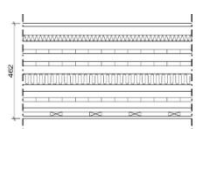
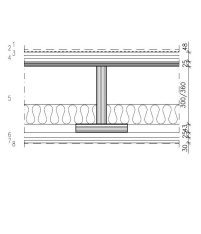
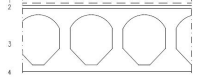
- kantavat ja jäykistävät ulkoseinät (kantavuus, lämmöneristävyys, ilmatiiveys)
- kantavat ja jäykistävät seinät saman huoneiston välillä (kantavuus)
- kantavat ja jäykistävät seinät huoneistojen välillä (kantavuus, ääneneristävyys, palosuojaus, ilmatiiveys)
- kevyet ulkoseinät (lämmöneristävyys, ilmatiiveys)
- kevyet saman huoneiston väliset sisäseinät (vain toissijaisia vaatimuksia, koskien ääneneristävyyttä, lämmöneristävyyttä ja ilmatiiveyttä)
- kevyet huoneistojen väliset seinät (ääneneristävyys, palosuojaus, ilmatiiveys)
- porrashuoneiden seinät (kantavuus, ääneneristävyys, palosuojaus, ilmatiiveys).

Taulukko 14 esittää tapaustutkimuksissa käytetyt perusulkoseinäratkaisut ja Taulukko 15 perusvälipohjaratkaisut sekä niiden ominaisuudet.

**Taulukko 14.** Tapaustutkimuksissa käytettyjen kantavien jäykistävien ulkoseinäratkaisujen ominaisuudet (A – Kivistö, B – Eskolantie, C – Kuninkaantammi).

| Rakenneratkaisu                                                                     | Rakenteen materiaalit ja kerrospaksuudet                                                                                                                                                                                         | Palonkestävyys | U-arvo, W/m <sup>2</sup> K | Materiaalien käyttö, kg/rakenne-m <sup>2</sup> | Jäte, kg/rakenne-m <sup>2</sup> | CO <sub>2</sub> e kg/rakenne-m <sup>2</sup> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>A ja C: Puurunkoinen kantava ulkoseinä (suurelementti)</b>                       |                                                                                                                                                                                                                                  |                |                            |                                                |                                 |                                             |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 28 mm puupaneeli</li> <li>- koolaus</li> <li>- 50 mm tuulen suoja</li> <li>- 9 mm kipsilevy</li> <li>- 270 mm lasivilla</li> <li>- liimapuurunko</li> <li>- 28 mm kipsilevyt</li> </ul> | REI60          | 0,12                       | 77                                             | 1,5 + 1,5 kg lämmitykseen       | 38                                          |
| <b>A: Pysäköintirakenteen kantava teräsrakenteinen sandwichelementti</b>            |                                                                                                                                                                                                                                  |                |                            |                                                |                                 |                                             |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 100 mm teräsbetoni</li> <li>- 180 mm lämmöneriste (EPS)</li> <li>- 200 mm teräsbetoni.</li> </ul>                                                                                       | REI60          | 0,17                       | 738                                            | 22 kg                           | 175                                         |
| <b>B: 100mm CLT ulkoseinä (tilaelementin ulkoseinä)</b>                             |                                                                                                                                                                                                                                  |                |                            |                                                |                                 |                                             |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 28 mm puupaneeli</li> <li>- koolaus</li> <li>- 9 mm kipsilevy</li> <li>- 200 mm lämmöneriste</li> <li>- CLT 100 C3s</li> <li>- 28mm kipsilevyt</li> </ul>                               | REI 60         | 0,15                       | 122                                            | 2,4 + 1,4 lämmitykseen          | 48                                          |
| <b>C (Betoni): Kantava ulkoseinäelementti ohutrappauksella (betonielementti)</b>    |                                                                                                                                                                                                                                  |                |                            |                                                |                                 |                                             |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 150 mm betoni</li> <li>- 240 mm lämmöneriste</li> <li>- 10 mm ohutrappaus</li> </ul>                                                                                                    | REI90          | 0,16                       | 405                                            | 13                              | 83                                          |

**Taulukko 15.** Tapaustutkimuksissa käytettyjen perusvälipohjaratkaisujen ominaisuudet.

| Rakenneratkaisu                                                                     | Materiaalien käyttö                                                                                                                                                                                                                   | Äänen-<br>eristävyys, dB                                    | Palon-<br>kestä-<br>vyys | Materiaalien<br>käyttö,<br>kg/rakenne-m <sup>2</sup> | Jäte,<br>kg/m-rakenne <sup>2</sup>                     | CO <sub>2</sub> e<br>kg/rakenne m <sup>2</sup> |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>A: Puu-betoni liittorakenteinen välipohja (asuntojen välillä)</b>                |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |                          |                                                      |                                                        |                                                |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 70 mm betoni</li> <li>- 18 mm vaneri</li> <li>- 360–495 liimapuupalkit</li> <li>- 50 mm lasivilla</li> <li>- puukoolaus</li> <li>- 2x15 mm kipsilevy</li> </ul>                              | R'w = 61<br>L'n, w = 48                                     | REI60                    | 253                                                  | 6,3 kg<br>1,3 kg lämmi-<br>tykseen                     | 70                                             |
| <b>A: Betonilaatta (Pysäköintitilan ja sisäpihan välinen välipohja)</b>             |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |                          |                                                      |                                                        |                                                |
|    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 20 mm hiekka</li> <li>- suodatinkan-<br/>gas</li> <li>- 200 mm sora</li> <li>- 50 mm XPS</li> <li>- 50 mm kallis-<br/>tusbetoni</li> <li>- 400 mm teräs-<br/>betonilaatta</li> </ul>         |                                                             |                          | 1525                                                 | 33 kg                                                  | 250                                            |
| <b>B: CLT-rakenteinen välipohja (yleensä)</b>                                       |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |                          |                                                      |                                                        |                                                |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 40 mm betoni</li> <li>- 30 mm eriste'</li> <li>- 160 mm CLT C5s</li> <li>- 50 mm lasivilla</li> <li>- 80 mm CLT 80 L3s</li> <li>- puukoolaus</li> <li>- 12 mm lastule-<br/>vy</li> </ul>     | R'w > 55<br>L'n, w < 53                                     | REI60                    | 166                                                  | 1 kg +<br>0,8 kg puujäte<br>hyödynnettä-<br>väksi      | 49                                             |
| <b>C (Puu): Kerto Ripa välipohjaelementti (avokotelo), asuntojen lattia</b>         |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |                          |                                                      |                                                        |                                                |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 18 mm lattiale-<br/>vy</li> <li>- 2x15 mm kipsilevy</li> <li>- Kertopuu 48x428 mm</li> <li>- 100 mm lasivil-<br/>la</li> <li>- 25 mm ääni-<br/>ranka</li> <li>- 2x15 mm kipsilevy</li> </ul> | R'w = 61<br>(vaatimus >55)<br>L'n, w = 48<br>(vaatimus <53) | REI60                    | 86                                                   | 2,6 kg + 1,2 kg<br>puujätettä<br>hyödynnettä-<br>väksi | 52                                             |
| <b>C (Betoni): Ontelolaattavälipohja (asuntojen lattia)</b>                         |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                             |                          |                                                      |                                                        |                                                |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 20 mm betoni-<br/>tasoite</li> <li>- 375 mm onte-<br/>lolaatta</li> </ul>                                                                                                                    | R'w = >55<br>L'n, w < 53                                    |                          | 538                                                  | 16 kg                                                  | 88                                             |

Edellä esitetyt rakenteet täyttivät nykymääräykset ja olivat osittain jopa vaatimus-  
tasolta paremmat (ääneneristävyys, lämmöneristävyys), kuitenkin materiaalien  
käytön sekä hiilijalanjäljen suhteen tulokset erosivat toisistaan paljon. Perusulko-

seinäratkaisujen materiaalien käyttö oli 77–738 kg/rakenne-m<sup>2</sup> ja hiilijalanjälki oli 38–175 kg/rakenne-m<sup>2</sup>, kaatopaikkajätettä syntyi 1,5–22 kg/rakenne-m<sup>2</sup>.

Rakenteiden osaoptimointi on tärkeää rakennuksen resurssitehokkuuden sekä hiilijalanjälkivaikutuksien pienentämiseksi. Toisaalta rakenneratkaisun valinta vaikuttaa myös muihin rakennuksen rakenteisiin määrän, tilantarpeen tai toiminnallisen ominaisuuden osalta. Näin ollen rakennusosia voidaan verrata keskenään, mutta rakennuksen elinkaaritarkastelu täytyy toteuttaa koko suunnitteluratkaisulle – ainoastaan silloin kaikki rakenteen seurannaisvaikutukset tulevat otetuiksi huomioon.

### 3.3.3 Puukerrostalojen materiaalien käyttö ja jätemäärät

Rakennukset voidaan rakentaa käyttämällä erilaisia rakennejärjestelmiä. Rakennejärjestelmä koostuu elementeistä, jotka yhdessä muodostavat runkojärjestelmän. Puukerrostalojen runkojärjestelmän päävaihtoehdot ovat

- pilari-palkkijärjestelmä
- kantava seinäjärjestelmä
- tilaelementtijärjestelmä.

Pilari-palkkijärjestelmässä kantavana pystykomponenttina ovat pilarit, joihin vaakakomponenttina olevat palkit siirtävät kuormia. Puukerrostalojen pilari- ja palkkirakenteina käytetään puun lisäksi joko havupuuviluista valmistettua kertopuuta tai liimapuuta. Näin ollen ulkoseinärakenteilta ei vaadita erityistä kantokykyä, mutta kuitenkin niiden täytyy täyttää eristysvaatimukset.

Puurakennuksien järjestelmässä "kantavat seinät" kantavana pystykomponenttina ovat ensisijaisesti ulkoseinät, joihin kantava runko on integroitu (suurelementti), tai sitten koko seinä itse muodostaa kantavan rungon (esimerkiksi CLT-ratkaisu). Puukerrostalojen osalta usein myös osa kantavista seinistä on sisäseinä. Yläpohjan kantavana vaakakomponenttina on tavallisesti naulalevyristikko, joka siirtää yläpohjan painon, lumikuormat sekä ullakkokuormat kantaville seinille.

Tilaelementtijärjestelmässä tilamoduuli sisältää niin kantavia kuin ei-kantavia rakenteita. Tilaelementti rakennetaan valmiiksi tilaelementtitehtaalla, mukaan lukien sisäpinnat, vesikalusteet, kaapistot. Valmis tilaelementti lähetetään rakennustyömaalle, jossa rakennus kootaan yhdistelemällä tilaelementit. Tehdasoloissa tapahtuva materiaalien hankinta ja rakentaminen siirtävät rakennusjätteet työmaalta tehdasoloihin, joissa jättepalojen hyödyntäminen on paremmin hallittavissa.

Tässä tarkastelussa Kivistön ja Kuninkaantammen puukerrostalot (A ja C) edustivat suurelementtirakentamista, jossa ulkoseinät ja osa sisäseinistä olivat kantavia. Sen sijaan Eskolantien tapaustutkimus (B) edustaa tilaelementtijärjestelmää, joskin siinä kantavan seinärakenteen muodostivat monikerroksiset CLT-levyt. Taulukko 16 esittää rakennuksien materiaalikäytön rakennetyypeittäin sekä osuudet kokonaiskäytöstä.

**Taulukko 16.** Puukerrostalon materiaalien sisältö kg:ina ja rakennusmateriaalien osuudet rakenteittain (A – Kivistö, B – Eskolantie; luvut eivät sisällä jätekertymiä).

|               | Kohde A              |         | Kohde B              |         |
|---------------|----------------------|---------|----------------------|---------|
|               | kg/br-m <sup>2</sup> | Osuus % | kg/br-m <sup>2</sup> | Osuus % |
| Paalut        | 138 (betoni)         | 8 %     | 13 (teräs)           | 2 %     |
| Perustus      | 182                  | 10 %    | 36                   | 5 %     |
| Alapohja      | 357                  | 20 %    | 189                  | 29 %    |
| Ulkoseinä     | 150                  | 8 %     | 83                   | 13 %    |
| Väliseinä     | 111                  | 6 %     | 114                  | 17 %    |
| Välipohja     | 769 *                | 43 %    | 192                  | 29 %    |
| Yläpohja      | 28                   | 2 %     | 11                   | 2 %     |
| Portaat       | 9                    | 1 %     | 2                    | 0 %     |
| Ikkunat, ovet | 15                   | 1 %     | 8                    | 1 %     |
| Muu kantava   | 26                   | 1 %     | 4                    | 1 %     |
| Teräs         | 0                    | 0 %     | 6                    | 1 %     |
| Yhteensä      | 1785                 | 100 %   | 657                  | 100 %   |

\* Sisältää puurakenteiden lisäksi paljon betonia (autotallin ja ensimmäisen kerroksen välisen betonisen kattorakenteen, autotallin ja sisäpihan välisen betonilaatan, liittolaatan pintabetonin).

Rakentamisen resurssitehokkuuteen vaikuttavat materiaalien käyttö ja jättemateriaalien synty sekä niiden mahdollinen hyödyntäminen. Jätettä syntyy rakentamisen elinkaaren kaikissa vaiheissa: rakennustuotteita tilataan yli tarpeiden, rakenteiden valmistamisen yhteydessä syntyy hukkapaloja, jätettä syntyy rakennuksen kunnossapidosta ja erityisesti tuoteosien uusimisen yhteydessä ja myös rakennuksen elinkaaren päättyttyä, jolloin kaikki rakennuksessa käytetyt materiaalit siirtyvät jätetilään.

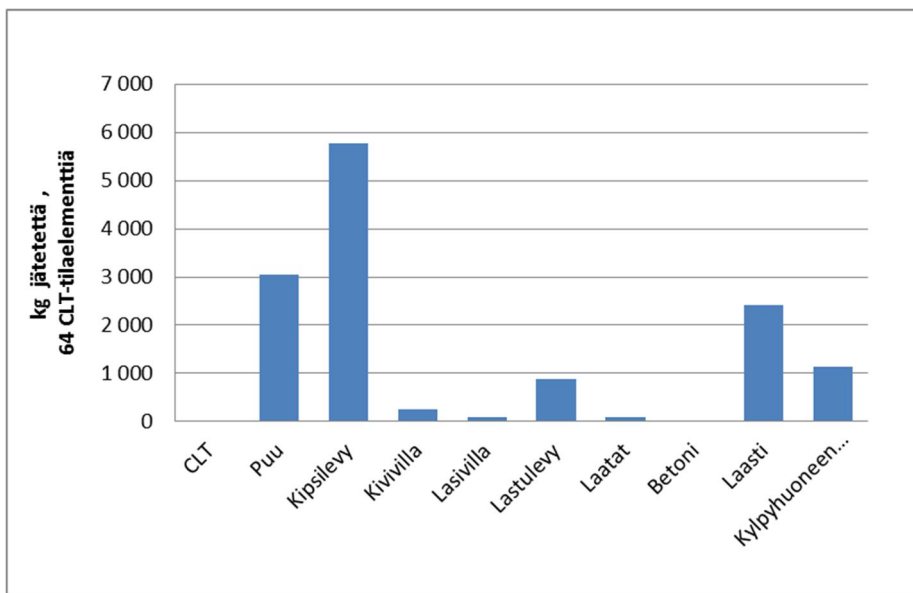
Tässä tutkimuksessa rakentamisen jätteet perustuivat osittain teoreettiseen arvioon ja osittain mitattuun tietoon. Elementtien esivalmistuksen ylijäämämateriaali ja hukkapalat eivät ole jätettä, kun materiaalit hyödynnetään seuraavissa projekteissa ja jättepalat käytetään tuotteen kuvauksessa tai tilojen lämmityksessä. Sen sijaan työmaarakentamisessa ylijäämämateriaali sekä hukka päätyvät usein jätteiksi.

Tässä arviossa on oletettu, että puurakenteiden esivalmistus tilaa tuotteet pääosin määrämittaisena ja näin ollen hukkapalojen määrä jää hyvin pieneksi. Optimistinen arvio on, että katkaisuhukkaa on vain 2–3 %, toisaalta isossa jätekertymässä hukan määrä saattaa olla jopa 10 %. Näitä arvoja on käytetty herkkyystarastelussa.

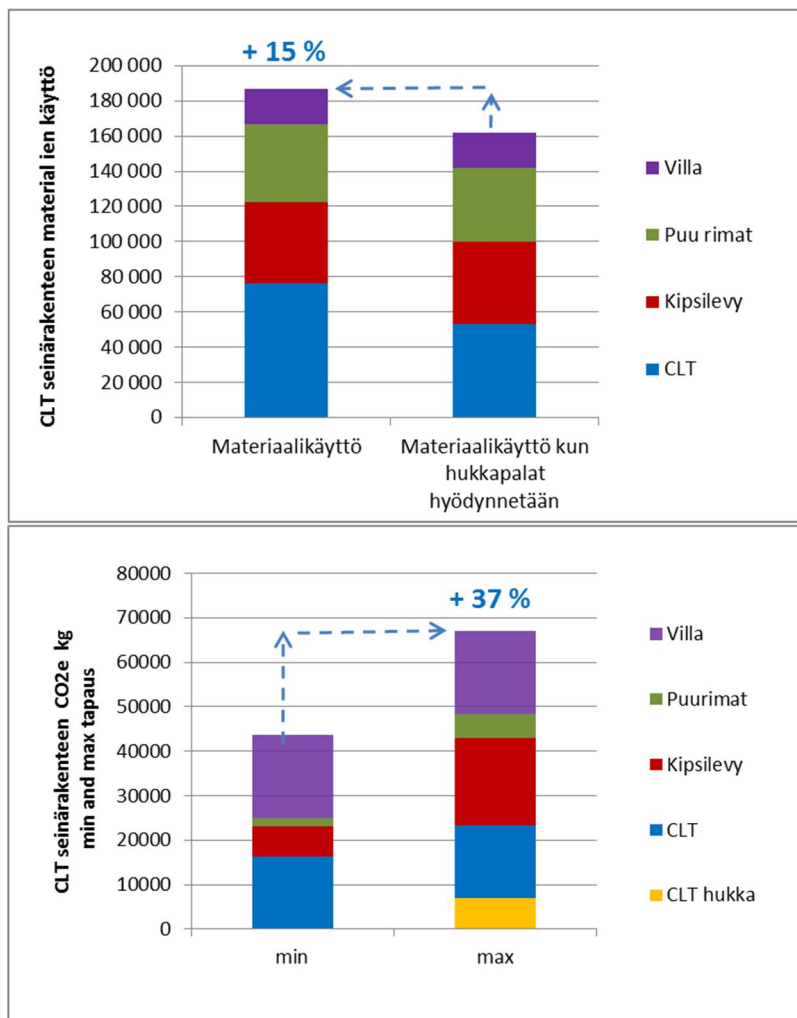
Tässä tarkastelussa tilaelementtien valmistus edustaa korkeinta rakennuksen esivalmistusastetta, ja näin ollen CLT:stä valmistettujen tilaelementtien jätekertymät olivat pieniä (Taulukko 17, tapaus B). Jättemäärät eivät sisältäneet CLT-jätettä, kun puulevyt toimitettiin esivalmistukseen määrämittaisina. Ikkuna ja ovi-aukotuksien ylijäämä-CLT hyödynnettiin energiatuotannossa CLT-levyjen kuivaukseen. Toisaalta esivalmistuksessa jättemäärä saattaa olla myös paljon suurempi, riippuen siitä, tilaanko tuotteita määrämittaisina vai ei.

Tutkimalla 64 tilaelementin materiaaLimäärät huomattiin, että isoin jäte-erä olivat kipsilevyt (Kuva 16). Kipsilevyjen suhteellisen iso käyttömäärä ja jätekertymä johtuvat niiden käytöstä palosuojaustarkoitukseen. CLT-valmistajan mukaan riittävä palokestävyys voidaan saavuttaa käyttämällä monikerroksisia CLT-levyjä, kuitenkin tässä tapaustutkimuksessa kaikki CLT-levyt oli lisäksi suojattu ylimääräisellä kipsilevykerroksella.

Kuva 17a esittää tilaelementin valmistuksessa käytettyjen materiaalien määrät kahdelle tapaukselle: puumateriaalien hukkapaloja ei hyödynnetä tai hukkapalat hyödynnetään energiatuotannossa. Lisäksi kuvan 17 b-osio ottaa huomioon tilaelementin valmistuksen materiaalit, jotka tuodaan ulkomailta ja joiden valmistus on ympäristöä kuormittavampaa kuin suomalaisten rakennusmateriaalien valmistus. Tämä tulos esitetään kokonaisena kasvihuonekaasupäästönä samaa tilaelementtiä kohden.

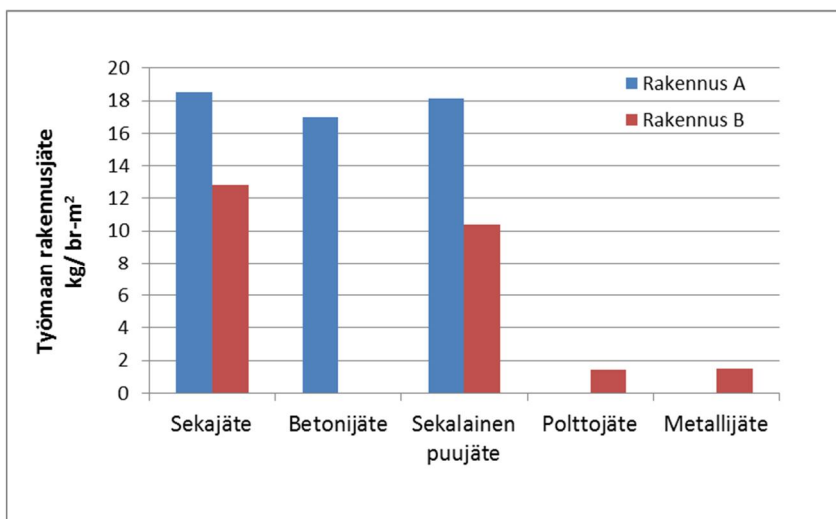
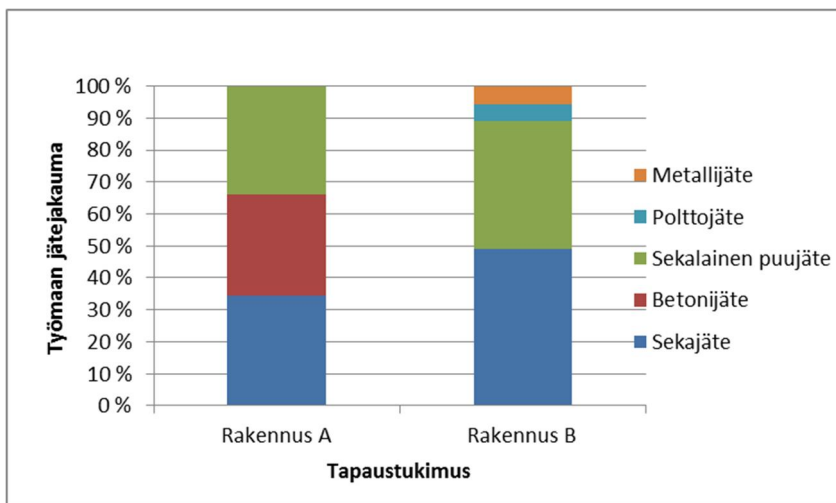


**Kuva 16.** Jättemateriaalien laatu ja määrä CLT:n tilaelementtien valmistuksessa (yhteensä 17 kg/brutto-m<sup>2</sup>).



**Kuva 17.** Materiaalien käyttö ja kasviuonekaasupäästöt tilaelementtien seinärakenteiden valmistuksessa, tapauksessa jossa jätemateriaalit hyödynnetään tai ei. Kuvassa b lisäksi materiaalien valmistus on ollut perustapausta (min) ympäristöä kuormittavampi (max).

Työmaan jätteiden määrät perustuivat työmaan jätekuormiin. Tässä laskennassa rajattiin tarkastelun ulkopuolelle esimerkiksi väliaikaisten rakennuksien, työmaan ruokajätteiden, bajamajojen tyhjennykset ym., jotka eivät liittyneet suoraan rakennuksessa käytettyihin materiaaleihin. Työmaan jätteet oli lajiteltu seuraaviin jätejakeisiin: sekajäte, betonijäte, sekalainen puujäte, polttojäte ja metallijäte. Kuva 18 esittää työmaanjätteiden määrät lajeittain.



**Kuva 18.** Työmaajätteiden suhteelliset osuudet sekä kokonaismäärät tapaustutkimuksissa.

Loppusijoitusjätteiden määrä on arvioitu rakennuksen materiaalisällön mukaan. Taulukko 17 esittää jätekertymät jätteiden syntypaikan mukaan (esivalmistuksessa, työmaalla, rakennuksen purussa).

**Taulukko 17.** Rakennuksien jätekertymät tapaustutkimuksissa.

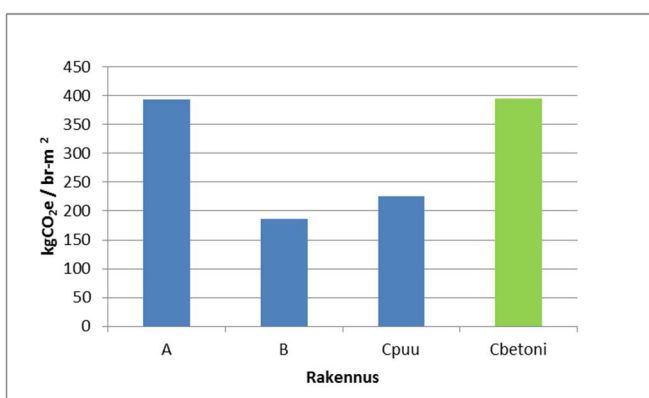
| Rakennus | Jätekertymä<br>elementin<br>valmistuksessa<br>(arvio) | Työmaaajäte<br>(laskettu jäte-<br>kuormista) | Purkujäte<br>(rakennuksessa<br>käytetyt materi-<br>aalit) | Materiaalien<br>käyttö (jätteen<br>osuus) |
|----------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
|          | kg/br-m <sup>2</sup>                                  | kg/br-m <sup>2</sup>                         | kg/br-m <sup>2</sup>                                      | kg/br-m <sup>2</sup>                      |
| A        | 51 – 118                                              | 54                                           | 1785                                                      | 1890 – 1957<br>(max 10 %)                 |
| B        | 17 – 58                                               | 26                                           | 659                                                       | 702 – 717<br>(max +9 %)                   |

### 3.3.4 Puukerrostalojen hiilijalanjälki

Puurunkoisten kerrostalojen hiilijalanjälki laskettiin rakennuksen elinkaarivaiheille A1 – raaka-aineiden hankinta, A2 – raaka-aineiden kuljetus ja A3 – rakennustuotteiden valmistus. Jätetarkastelujen yhteydessä otettiin huomioon myös materiaalien käyttö rakennustyömaalla. Rakennuksen hiilijalanjälki riippuu rakennusmateriaalien käyttömääristä, materiaalien laadusta sekä myös siitä, miten puupohjaiset hukkapalat hyödynnetään.

Rakennuksessa (A), jossa käytettiin puu- tai betonisia hybridirakenteita, jonka muoto oli epäedullinen pihakannen alla olevan autotallin johdosta ja jossa ensimmäisessä kerroksessa käytettiin paljon betonia, oli puukerrostalojen korkein materiaalien käyttömäärä. Siellä syntyi myös eniten rakennusjätteitä ja hiilijalanjälki oli yhtä korkea kuin betonitalossa (Cbetoni) (Kuva 19).

Puukerrostalon betonirakenteet muodostivat yksittäisenä materiaalina isoimman osan koko rakennuksen hiilipäästöistä, ja rakennuksissa B ja C betonin käyttöosuus kaikista muista materiaaleista oli vastaavasti 30 % ja 50 % (taulukko 18 ja taulukko 19).



**Kuva 19.** Kerrostalojen hiilijalanjälki (A, B ja Cpuu ovat puukerrostaloja ja Cbetoni betonikerrostalo).

**Taulukko 18.** Puukerrostalorakenteiden ja rakennuksen hiilijalanjälki, esitettynä rakennuksen br-m<sup>2</sup>:ä kohden ja osuutena kokonaismäärästä (kohde A).

|                 | Puurakenteet<br>ja muut materiaalit    | Betonirakenteet | Yhteensä | osuus<br>% |
|-----------------|----------------------------------------|-----------------|----------|------------|
|                 | kg CO <sub>2</sub> e/br-m <sup>2</sup> |                 |          | %          |
| Betonipaalut    |                                        | 23              | 23       | 6 %        |
| Perustus        |                                        | 30              | 30       | 8 %        |
| Alapohja        |                                        | 67              | 67       | 17 %       |
| Ulkoseinät      | 20                                     | 21              | 42       | 11 %       |
| Väliseinät      | 28                                     | 8               | 36       | 9 %        |
| Välipohjat      | 118                                    | 44              | 1 62     | 41 %       |
| Yläpohja        | 21                                     |                 | 21       | 5 %        |
| Portaat         | 2                                      |                 | 2        | 1 %        |
| Ikkunat ja ovet | 8                                      |                 | 8        | 2 %        |
| Betonipilarit   |                                        | 4               | 4        | 1 %        |
| Yhteensä        | 197                                    | 197             | 394      | 100 %      |
|                 | 50 %                                   | 50 %            | 100 %    |            |

**Taulukko 19.** Puukerrostalorakenteiden ja rakennuksen hiilijalanjälki, esitettynä rakennuksen br-m<sup>2</sup>:ä kohden ja osuutena kokonaismäärästä (kohde B).

|                          | Tilaelementti                          | Betonirakenteet | Muut | Yhteensä | Osuus |
|--------------------------|----------------------------------------|-----------------|------|----------|-------|
|                          | kg CO <sub>2</sub> e/br-m <sup>2</sup> |                 |      |          | %     |
| Teräsosat ja teräspaalut |                                        |                 | 7+14 | 21       | 11 %  |
| Perustus                 |                                        | 7               |      | 7        | 4 %   |
| Alapohja                 |                                        | 32              |      | 32       | 17 %  |
| Ulkoseinät               | 21                                     | 6               |      | 27       | 14 %  |
| Väliseinät               | 29                                     | 13              |      | 42       | 22 %  |
| Välipohjat               | 27                                     |                 |      | 27       | 14 %  |
| Tilaelementin yläpohja   | 15                                     |                 |      | 15       | 8 %   |
| Rakennuksen Yläpohja     |                                        |                 | 7    | 7        | 4 %   |
| Muut puumateriaalit      |                                        |                 | 2    | 5        | 3 %   |
| Kumiosat                 |                                        |                 | 2    | 2        | 1 %   |
| Ikkunat ovet             | 4                                      |                 |      | 4        | 2 %   |
| Yhteensä                 | 103                                    | 59              | 25   | 187      | 100 % |
|                          | 51 %                                   | 32 %            | 17 % | 100 %    |       |

Kohde C pitää sisällään kaksi puukerrostaloa ja kaksi betonikerrostaloa; puu- ja betonikerrostalot ovat melkein identtiset rakennuksen koon suhteen. Kohteen C puukerrostalojen osalta tarkastelua ei tehty erikseen materiaalipohjaisesti (puu-

betonijaolla) vaan tarkastelu tehtiin puukerrostaloille ja betonikerrostaloille. Hiilijalanjälkitulokset esitetään seuraavassa taulukossa, taulukko 20.

**Taulukko 20.** Puu- ja betonikerrostalojen hiilijalanjälki rakenteittain (kohde C).

|               | Cpuu                          |       | Cbetoni                       |       | Cpuu                                   | Cbetoni                                | Cbetoni vs. Cpuu      |
|---------------|-------------------------------|-------|-------------------------------|-------|----------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------|
|               | kg CO <sub>2</sub> e /2 taloa | %     | kg CO <sub>2</sub> e /2 taloa | %     | kgCO <sub>2</sub> e /br-m <sup>2</sup> | kgCO <sub>2</sub> e /br-m <sup>2</sup> | + CO <sub>2</sub> e % |
| Perustus      | 66 107                        | 8 %   | 101 584                       | 7 %   | 18                                     | 27                                     | + 50 %                |
| Alapohja      | 64 113                        | 8 %   | 77 960                        | 5 %   | 17                                     | 21                                     | + 24 %                |
| Ulkoseinä     | 186 560                       | 22 %  | 329 774                       | 22 %  | 50                                     | 88                                     | + 76 %                |
| Väliseinä     | 128 198                       | 15 %  | 262 397                       | 18 %  | 34                                     | 70                                     | + 106 %               |
| Välipohja     | 227 471                       | 27 %  | 384 692                       | 26 %  | 61                                     | 103                                    | + 69 %                |
| Yläpohja      | 108 205                       | 13 %  | 179 549                       | 12 %  | 29                                     | 48                                     | + 66 %                |
| Portaat       | 4 771                         | 0,6 % | 11 475                        | 1 %   | 1,3                                    | 3                                      | + 131 %               |
| Ikkunat, ovet | 43 860                        | 5 %   | 42 939                        | 3 %   | 12                                     | 12                                     | 0 %                   |
| Parvekkeet    | 16 986                        | 2 %   | 80 288                        | 5 %   | 5                                      | 22                                     | + 340 %               |
| Yhteensä      | 846 271                       | 100 % | 1 470 658                     | 100 % | 226                                    | 395                                    | + 41 %                |

### 3.4 Yhteenvedo ja johtopäätökset

Puukerrostalojen resurssien käyttö, rakentamisen jätemäärät ja hiilijalanjälki riipuvat rakenneratkaisusta, materiaalien käyttömäärästä ja laaduista.

Myös rakennusala toimii tänä päivänä hyvin globaalisti, ja näin ollen rakentamisessa käytetyt rakennusmateriaalit voivat olla joko Suomessa valmistettuja tai tuontitavaraa. Materiaalitehokkuudessa ja ympäristövaikutuksissa saattaa olla isojaakin maakohtaisia eroja. Puumateriaalien osalta tämä johtuu puunkäsittelyn sivutuotteiden/jätteiden hyödyntämisestä, valmistuksen energiankäytöstä, päästöjen kohdentamisesta sivutuotteille sekä erityisesti siitä, miten tuotevalmistuksessa käytetty (maakohtainen) sähkö ja lämpö on valmistettu. Erot suomalaiseen valmistajaan nähden voivat olla jopa monikertaiset.

CLT:stä rakennetun ulkoseinän osalta esimerkkitarkastelu ositti, että jos puupohjaisia jätteitä ei olisi hyödynnetty ja lisäksi olisi käytetty kipsilevyä, jonka hiilijalanjälki on epäedullinen, koko seinärakenteen hiilijalanjälki kasvaa noin +37 % (Kuva 17). Ulkoseinän hiilijalanjälki muodosti koko rakennuksesta vain 14 % (kohde B) (taulukko 20), joten ulkoseinärakenteen hiilijalanjälkikasvu kasvattaa rakennuksen hiilijalanjälkeä vain 5 %. Suunnittelun alkuvaiheessa tehdyssä elinkaaritarkastelussa, kun tuotteen alkuperä ei ole vielä tiedossa, alan tuottamien keskiarvotietojen käyttö ja herkkyyštarkastelut ovat hyvä tapa osoittaa vaikutus. Sen sijaan todentamistarkastelut tuottavat ”oikean” tuloksen vain käyttämällä tuote-

valmistajakohtaisia tietoja tuotteiden ja ratkaisujen valmistuksen tehokkuudesta ja vaikutuksista.

Puukerrostalojen rakentamisessa on käytössä useita eri rakennusjärjestelmiä, kuten pilari-palkki-laattajärjestelmä, suurelementtijärjestelmä ja tilaelementtijärjestelmä. Rakennuksessa käytettyjen materiaalien määrä riippuu rakenneratkaisuista, rakennuksen arkkitehtuurista, mutta myös suunnittelun lähtökohtana olevista toiminnallisista ominaisuuksista. Rakennuksen arkkitehtuuri ja geometrinen muoto vaikuttavat rakennusosien määriin ja niiden keskinäisiin suhteellisiin osuuksiin. Mitä pienempi on rakennuksessa käytettyjen materiaalien määrä, sitä kevyempi on rakennus ja sitä pienempi on myös materiaaleista johtuva hiilijalanjälki.

Rakenteiden esivalmistusaste vaikuttaa siihen, kuinka paljon rakennustyömaalla kuluu energiarekursseja rakentamiseen. Energiaa tarvitaan siirtoihin ja nostoihin, erilaisiin asennustöihin sekä lämmitykseen. Neljän elementtirakenteisen betonikerrostalon ja kolmen puukerrostalon tarkastelun osalta työmaan ostoenergiankulutus oli kaikissa kohteissa samaa suuruusluokkaa. Tulos on karkeasti arvioiden samaa suuruusluokkaa kuin noin yhden vuoden käytönaikainen ostoenergiankulutus. Toisaalta suurempaa vaihtelua todennäköisesti esiintyisi, jos mukana olisi esimerkkejä esivalmistusasteen ääripäistä (paikalla rakennuttuja rakennusosia / valmiita tilaelementtejä).

Puukerrostaloissa käytettyjen materiaalien resurssitehokkuutta tutkittiin kolmen tapaustutkimuksen avulla: Kivistön puukerrostalo (A), Eskolantien puukerrostalo (B) ja Kuninkaantammen puu- ja betonikerrostalot (Cpuu ja Cbetoni). Niistä kaksi ensimmäistä on 7-kerroksisia ja viimeiset 4 + 1 -kerroksisia. Eroja on myös rakennusjärjestelmässä, sillä Kivistön ja Kuninkaantammen kerrostalot rakennettiin suurelementtijärjestelmällä ja Eskolantien kerrostalo CLT-tilaelementtijärjestelmällä. Kaikissa puukerrostaloissa käytettiin myös betonirakenteita.

Vähiten materiaaliressursseja käytettiin kantavana suurelementtinä rakennetussa ulkoseinärakenteessa (kohteet A ja C) ( $77 \text{ kg/m}^2$ ). CLT-rakenteisen tilaelementin ulkoseinissä käytettiin materiaaleja 50 % enemmän (kohde B) ( $122 \text{ kg/m}^2$ ). Kaikkein eniten materiaaliressursseja käytettiin betonisen ulkoseinän tapauksessa. ( $400\text{--}700 \text{ kg/m}^2$ ).

Esimerkkirakennusten muodot tapaustutkimuksissa olivat erilaiset. Vaipparakenteita oli tilavuuteen nähden eniten Kuninkaantammen betonirakenteisessa kerrostalokohteessa (Cbetoni) ( $5427 / 11181 = 0,485$ ) ja vähiten Eskolantien puukerrostalossa ( $2664 / 8340 = 0,319$ ).

Tilaelementin rakennustavassa (kohde B) väliseiniä käytetään suhteellisesti enemmän kuin muissa rakennustavoissa, ja tämä näkyy myös väliseinän suhdelvussa tilavuuteen nähden (tilaelementin tapauksessa suhdeluku oli 0,529 ja suurelementtirakentamisen tapauksessa (A) 0,272). Toisaalta CLT-valmisteisen tilaelementtirakennuksen (B) resurssien käyttö oli pieni ( $660 \text{ kg/br-m}^2$ ). Sen sijaan suurelementtirakenteisessa kerrostalossa (A) materiaaliressursseja käytettiin yli kaksi kertaa enemmän ( $1780 \text{ kg/br-m}^2$ ) ja myös hiilijalanjälki oli vastaavasti isompi (noin  $200 \text{ kg/br-m}^2$  ja  $400 \text{ kg/br-m}^2$ ). Suuri materiaaliressurssien käyttömäärä ja hiilijalanjälki johtuivat runsaasta betonin käytöstä. Tapauksessa A välipohjarakenteet olivat puu-betonisia hybridirakenteita, rakennus perustettiin massiivisille beto-

nipaaluille ja alakerrassa sijaitseva massiivinen betonirakenteinen autotalli, joka ulottui lisäksi pihakannen alle.

Tutkimuksen mukaan puukerrostalojen materiaaliressurssien käyttö voi kasvaa jätteiden osalta noin 10–12 %. Elementtien esivalmistus vähentää työmaan jätteiden määrää, mikä puolestaan auttaa hukkapalojen ja yleensäkin jätteiden hyödyntämistä elementtitehtaalla. Jättemateriaalien hyödyntämistä edesauttaa materiaalien puhtaus. Molemmissa puukerrostaloissa (A ja B) puupohjaisia jättepaloja hyödynnettiin tilojen lämmityksessä, mikä puolestaan alentaa myös rakenteen valmistuksesta johtuvaa hiilijalanjälkeä. Rakennusjätteiden tarkastelussa huomattiin, että suhteellisen suuri jätemäärä syntyy kipsilevyistä, joiden hyödyntäminen on vaikeaa, koska ne eivät sovellu energiatuottoon. Kipsilevyjen runsas käyttö puukerrostaloissa johtuu niiden käytöstä palosuojajärjestelmienä.

Kuninkaantammen kohteen osalta (Cpuu ja Cbetoni) rakennuksien muotovaikutus on eliminoitu, kun vertailussa kaksi puukerrostaloa ja kaksi betonikerrostaloa ovat kooltaan, kerroskorkeudeltaan ja tilojen sijoittelultaan samanlaisia (melkein identtisiä). Tuloksen mukaan betonikerrostalon hiilijalanjälki on noin +75 % isompi vastaavanlaisen puukerrostalon nähden. Pienin ero (+24 %) on alapohjien osalta, kun myös puukerrostalon alapohjarakenteet ovat betonisia, ja isoin ero (yli +300 %) on parvekerakenteissa.

Hiilijalanjälkitarkastelussa Eskolantien ja Kuninkaantammen puukerrostalot olivat samaa suuruusluokkaa, mutta Kivistön puukerrostalokohteen hiilijalanjälki oli samaa suuruusluokkaa kuin Kuninkaantammen betonitalot.

Pääperiaate raaka-aineiden säästeliääseen käyttöön on ”vähemmästä enemmän” (”more with less”). Kestävän kehityksen mukaisen raaka-aineiden ja materiaalien valinnan täytyy perustua

- ympäristövaikutuksilta edullisimpiin ratkaisuihin
- tuotevalintoihin, joiden valmistuksen energiankulutus ja ympäristövaikutukset ovat pieniä
- tuotteiden käyttämiseen uudestaan ja kierrätysmateriaalien käytön suosimiseen
- siihen, että rakennukseen valitaan enemmän tuotteita, joilla on uusiutuva alkuperä
- sellaisten tuotteiden valintaan, jotka täyttävät sisäilmaluokan M1 vaatimukset
- pitkäikäisten ja kestävien tuotteiden suosimiseen
- laatuun panostamiseen.

## 4. Hankeprosessit ja tietomallintaminen

### 4.1 Kehittämistarpeet ja -mahdollisuudet

Puurakenteisia kerrostaloja on toteutettu Suomessa melko vähän. Toteutetut muutamat kymmenet kohteet ovat olleet ensisijaisesti asuinkerrostaloja, joita on rakennettu ennen muuta asuntojen omistajarakennuttajien aloitteesta ja tilaamina. Rakennusliikkeiden toteuttamassa asuntojen perustajaurakoinnissa puurunkoisia kerrostaloja ei tiettävästi ole tuotettu, sillä ratkaisut eivät vielä nykyisellään ole pääsääntöisesti olleet riittävän kilpailukykyisiä vaihtoehtoisin runkoratkaisuihin nähden.

Vähäistä hankekantaa selittää osaltaan se, että puurakennusjärjestelmät eivät ole vakiintuneet ja harvalukuiset hankkeet ovat liiaksi yksittäisiä kokeiluja ja koerakentamista monine riskeineen. Vakioidut ratkaisut loisivat edellytykset puun käytön yleistymiselle, kun toistuvuuden ja oppimisen kautta voitaisiin hyödyntää olemassa oleva potentiaali. Toisaalta taas vasta aktiivinen puun käyttö luo kannusteet kehittämiseksi ja edelleen järjestelmien vertailulle ja vakioinnille. Kyse on positiivisen kehityskierteen aikaansaamisesta puurakentamisen kehittämisen ja kilpailukykyyn edistämiseksi. Kysyntä on rajallista, jos kilpailukyky on vaatimaton, mutta toisaalta kehittämistä ei tapahdu, ellei tuotteille ole nähtävissä kysyntää.

Tässä tarkastelussa puurakentamisen edistämistä ja tehostamista lähestytään siksi osin kysynnän kautta. Tähänastinen puurakentaminen on tapahtunut lähinnä vuokra- ja asumisoikeusrakennuttajien hankkeissa, ja siksi on syytä tarkastella ennen muuta niitä mahdollisuuksia, joita puurakentamista tavoittelevat omistajatalaajat tuovat. Tehokkaat prosessit ovat osa ratkaisua, sillä prosesseja vakioimalla sujuvoitetaan hankintaa ja pienennetään kilpailuun osallistuvien toimijoiden riskejä toimintaan liittyvien epävarmuustekijöiden vähentyessä. Tämä lisää osaltaan osallistumis- ja kehityshalukkuutta ja edistää välillisesti puurakentamisen kilpailukykyä. Millaisia sitten olisivat mahdolliset puurakennushankkeisiin soveltuvat prosessit?

Rakennushankkeiden toteutuksessa on tavanomaista, että hankkeen tilaaja palkkaa suunnittelijat laatimaan rakennuksen suunnitelmat, minkä jälkeen niiden toteutus annetaan urakoitsijoiden tehtäväksi kilpailutuksen perusteella. Tällaiset ns. pääurakkamuodot, eli kokonaisurakka ja jaettu urakka, ovat kokonaisuutena käytetyin toteutustapa uudisrakentamisessa kaikissa rakennustyypeissä, ellei asuinrakentamisen osalta oteta huomioon rakennusliikkeiden omaa tuotantoa

(Lahdenperä, 2015b). Tämä taas rajattiin edellä pois ensisijaisesti haettavista ratkaisuista.

Puurakennejärjestelmien vakiintumattomuus ei kuitenkaan mahdollista kokonaisurakan tai jaetun urakan tehokasta käyttöä rakennushankkeissa. Rakennejärjestelmien ja -tyyppien valinta ja vastaavien rakennemallien laadinta näissä toteutusmuodoissa edeltävät urakoitsijoiden tarjoussuunnittelua ja ovat siitä täysin erillään. Tilaajan palkkaamalla, itsenäisellä suunnittelijalla ei kuitenkaan voi olla eikä ole riittävää kustannus- ja rakennettavuustietoutta optimiratkaisun määrittämiseksi vakioratkaisujen vielä puuttuessa.

Vakiintumattomuudesta seuraa myös, että puurakentamisen teknologia ei ole kilpailevien vaihtoehtojen tasolla. Muutostilassa olevien rakennejärjestelmien johdosta tietomallintamisen työkalujen kehittämiseen ei ole ollut edellytyksiä, mikä heikentää puurakennusratkaisujen kilpailukykyä, kun rakentaminen muutoin tukeutuu jo vahvasti tietomallipohjaisen suunnitteluun. Sen lisäksi, että rakenneratkaisujen valinta voi olla kompastuskivi, puurakenteiden suunnittelu sinällään on tästä syystä vielä suhteettoman työlästä vaihtoehtoihin rakenneratkaisuin nähden.

Siksi rakennuksen suunnitteluun onkin tuotava mukaan rakennejärjestelmien toimittajien ja toteuttajien osaaminen riittävän aikaisessa vaiheessa, jotta voidaan edistää hankkeiden onnistumista ja yleisemmin järjestelmäkehitystyötä. Erilaisen osaamisen yhdistäminen on mahdollista toteuttaa parhaiten suunnittele ja rakenna-muotoa tai projektiallianssia käyttämällä. Vaihtoehtona on toki jonkinlainen tarjoajien ja toimittajien kuulemismenettely, mutta tällöin vastuu jakaantuu, mistä syystä siihen liittyy myös merkittävässä määrin riskejä.

Toteutetuissa puukerrostalokohteissa onkin käytetty valtaosin juuri suunnittele ja rakenna -toteutusmuotoa, mutta neuvottelumenettelyä hyödyntäen. Neuvottelumenettelyn käyttö on kuitenkin lähtökohtaisesti toissijainen etenkin julkisissa hankinnoissa ja vain tietyin ehdoin käytettävissä. Kyseisen, edellä määritellyn rakennuttajaryhmän osalta tuleekin näin ollen tarkastella ensisijaisesti niitä mahdollisuuksia, joita voi toteuttaa hankkeiden kilpailuttamista hyödyntämällä. Omistus- ja/tai rahoitusjärjestelyjen johdosta useimmat näistä rakennuttajista ovat kilpailuttamisvelvollisuuden piirissä, minkä lisäksi kilpailullinen hankinta on yleistä muissa hankkeissa.

Edellä esitetyn perusteella tässä luvussa etsitään puurakennushankkeiden toteuttamiseksi sellaisia suunnittele ja toteuta -prosesseja sekä allianssimuotoisia toimintatapoja, joissa toimittajaosaamisen hyödyntämiseen yhdistyy kilpailullinen hankintaprosessi. Kyse on lähinnä aihiotasoisista kuvauksista monien mahdollisuuksien viestimiseksi, vaikka yksi menettely kuvataan muita yksityiskohtaisemmin toteutettua hankintaa hyväksi käyttäen. Aivan ensiksi tässä luvussa paneudutaan kuitenkin näiden suuntausten taustalla vaikuttaneisiin kokemuskartoituksiin niin yleisen hankeprosessin kuin erityisesti tietomallintamisen tilanteen ja käytön osalta.

## 4.2 Havainnot seurantakohteista

LeanWOOD-projektissa haastateltiin yhteensä 19 henkilöä kahdesta eri puukerrostaloprojektista pääkaupunkiseudulla. Haastateltavat valittiin molemmissa tapauksissa kattamaan koko arvoketju. Haastatteluissa käytettiin puolistrukturoitua haastattelumenetelmää. Kummankin projektin arvoketjun olennaiset toimijat valittiin, ja heitä haastateltiin käyttämällä vakiokysymysten sarjaa. (Ruuska & Häkkinen, 2016.) Seuraavassa taulukossa 21 esitetään haastatteluiden lukumäärä ja haastatellut arvoketjun toimijat molemmista tapauksista.

**Taulukko 21.** Haastatteluiden lukumäärä ja haastatellut arvoketjun toimijat molemmista tapauksista.

|                           | Tapaus A | Tapaus B  |
|---------------------------|----------|-----------|
| Omistaja                  | 1        | 2         |
| Urakoitsija               | 2        | 2         |
| Puuelementtien toimittaja | 3        | 4         |
| Arkkitehti                | 1        | 1         |
| Suunnittelijat            | 2        | 2         |
| <b>Yhteensä</b>           | <b>9</b> | <b>10</b> |

Haastatteluiden jälkeen yksittäiset haastattelutulokset analysoitiin ja prosessoitiin lopullisiksi, yhdistetyiksi haastattelutuloksiksi. Tämä tehtiin ryhmittämällä ensin yksittäisten haastatteluiden tulokset yhteen asiakirjaan loogisessa järjestyksessä projektin toimitusvaiheisiin perustuen. Tämän jälkeen jokaisen vaiheen tuloksista tehtiin synteesejä. Kyseiset vaiheet olivat 1) projektinhallinta (ja yhteistyö), 2) suunnittelu ja 3) rakentaminen.

Haastatteluiden tavoitteena ei ollut arvioida kahden tapauksen välistä paremmuutta vaan arvioida prosessin tehokkuuteen vaikuttavia ongelmia ja tunnistaa parannettavissa olevia asioita.

### 4.2.1 Tapauskuvaukset

Molemmat tapaukset koskivat monikerroksisia puurakennuksia. Rakennukset suunniteltiin ja rakennettiin 2013–2015. Tapauksessa A hyödynnettiin suuria puuelementtejä ja tapauksessa B asuntomoduuleja.

Molemmissa tapauksissa toimitustapana käytettiin suunnittele ja rakenna -menetelmää (design-build). Tapauksessa A asiakas oli julkinen hankintayksikkö ja tapauksessa B säätiö. ”Suunnittele ja rakenna” on projektin toimitusmenetelmä, jossa omistaja esittää vaatimukset kyseiselle projektille ja antaa urakan yritykselle, joka sekä suunnittelee että rakentaa projektin (Hale et al., 2009). Asiakkaaseen sopimussuhteessa oleva urakoitsija on kokonaisvastuussa projektin suunnittelusta ja toteutuksesta. Täten hankinta käsittää vain yhden vaiheen, projektin toteuttavan tahon valinnan, ja omistajan ja kyseisen tahon välillä on vain yksi sopimus (Hale et al., 2009). Suunnittelija-rakentaja tekee suunnittelun, rakennus-

suunnittelun ja rakentamisen asiakkaan asettamien suunnitteluparametrien, suorituskriteerien ja muiden vaatimusten mukaisesti (Trauner Consulting Services, 2007).

Molemmat tapausprojektit sijaitsevat pääkaupunkiseudulla. Tapaus A sijaitsee Vantaan kaupungissa. Se on yksittäinen rakennus, jonka pohjakerros on valmistettu betonista ja muut kuusi kerrosta puuelementeistä. Tapaus B sijaitsee Helsingissä. Se käsittää neljä erillistä rakennusta, joista jokaisen pohjakerros on valmistettu betonista ja muut neljästä kuuteen kerrosta puumoduuleista. Tutkimusryhmällä oli molempien tapausten projektidokumentaatio suoraan käytettävissään. Tapauskuvauksissa käytetty dokumentaatio sisältää asiaankuuluvat tietomallit ja suunnitteluasiakirjat, kokousmuistiot suunnittelu- ja työmaakokouksista sekä projektin ja työmaan aikataulut. Tämän lisäksi projektit toimittivat lisätietoja tutkimusryhmän tarpeen mukaan (Ruuska & Häkkinen, 2016).

#### 4.2.2 Haastattelututkimuksen tulokset

Seuraavissa osioissa esitetään haastatteluiden tulokset. Kukin osio keskittyy projektin eri toimitusvaiheeseen ja esittää synteisin kyseistä projektin vaihetta koskevista tuloksista. Seuraavassa taulukossa 22 on yhteenveto siitä, miten haastattelutulokset kustakin projektin vaiheesta tukivat tämän tutkimuksen lähtökohtaa. (Ruuska & Häkkinen, 2016.)

**Taulukko 22.** Projektin vaiheet ja mahdollisia syitä tehottomuuteen.

| Projektin vaihe/alue | Mahdollisia syitä monikerroksisten puurakennusprojektien toimitusten tehottomuuteen perustuen tämän tutkimuksen lähtökohtaan |                                                            |                                                 |                                           |                                          |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
|                      | Puutteet rakennejärjestelmien kehittämässä ja standardisoinnissa                                                             | Puutteet BIM-ohjelmistojen saataavuudessa puurakennuksille | Tietyt puurakentamista koskevat lisävaatimukset | Eri toimijoiden kokemattomuus prosessissa | Nykyiset toimitus- ja hankintamenetelmät |
| Projektinhallinta    | Kyllä                                                                                                                        | Ei                                                         | Kyllä                                           | Kyllä                                     | Kyllä/Ei                                 |
| Suunnittelu          | Kyllä                                                                                                                        | Kyllä                                                      | Kyllä                                           | Kyllä                                     | Ei                                       |
| Rakentaminen         | Kyllä                                                                                                                        | Ei                                                         | Kyllä                                           | Kyllä                                     | Ei                                       |

##### 4.2.2.1 Projektinhallinta ja yhteistyö

Haastattelutulosten perusteella on kriittistä, että arkkitehti ja rakennesuunnittelija tuntevat valitun puujärjestelmän tekniset mahdollisuudet ja rajoitukset. Puutuotteiden valmistaja on tässä keskeisessä roolissa, ja sen pitäisikin osallistua aktiivisesti suunnitteluun ja ehdottaa, tukea ja kannustaa suunnitteluratkaisuja, jotka vastaavat tehtaan tuotantomahdollisuuksia. Tämä varmistaisi optimaalisen lopputuloksen ja kevyet prosessit. Haastattelut alleviivaavat kuitenkin sitä, että jos järjestelmiä ja prosesseja ei ole kehitetty loppuun, puutuotteiden valmistaja ei kykene ohjaamaan

suunnittelua tehokkaasti. Tämä aiheuttaa tehottomuutta prosessissa uudelleen-suunnittelun ja ei-optimaalisten suunnitteluratkaisujen muodossa.

Haastatteluiden mukaan ihannetilanne on sellainen, missä projektitiimillä on sekä kokemusta nimenomaisesta käytetystä rakennejärjestelmästä että työskentelystä yhdessä tiiminä. Tällä hetkellä on olemassa vain rajallinen määrä suunnittelijoita, joilla on kokemusta puurakentamisesta, ja rajallinen määrä valmistuneita projekteja. Kun otetaan huomioon, että rakennejärjestelmät ovat vielä kehittymässä ja että on olemassa useita erilaisia järjestelmiä, on ilmiselvää, että ihannetilanne toteutuu harvoin. Lyhyesti sanottuna: moninaiset puurakentamisjärjestelmät ovat hidastaneet kevyiden prosessien käyttöönottoa. (Ruuska & Häkkinen, 2016.)

#### 4.2.2.2 Suunnitteluprosessi

Haastatteluiden mukaan monikerroksiset puurakennukset pitää mallintaa BIM-ohjelmiston avulla, sillä rakenteellisten ja LVI-mallien ristiintarkistus on välttämättöntä puurakennusten suunnittelussa, ja tämä voidaan tehdä tehokkaasti ainoastaan BIM-ohjelmiston avulla. Puurakennusten suunnitteluprosessi on kuitenkin vielä kehittymässä, mikä aiheuttaa tehottomuutta monin eri tavoin. Tällä hetkellä rakennejärjestelmän pilottiluonne kasvattaa suunnittelun työtaakkaa, sillä referenssiprojektien puute johtaa sekä suunniteltuihin että suunnittelemattomiin lisätyöihin. Molempien tapauksien haastattelut osoittivat, että projektiosapuolet tunsivat osallistuvansa tuotekehitysprojektiin ennemminkin kuin tavanomaiseen suunnitteluprojektiin. Erilaisten puurakentamisjärjestelmien kehitystyö on eri vaiheessa, mutta vaikuttaa siltä, että kaikista järjestelmistä puuttuu vielä vakioratkaisuja ja -malleja tai niitä ollaan vasta kehittämässä.

Haastatteluissa kävi selväksi, että suunnittelun työtaakka kasvaa puurakenteita käytettäessä työn suuremman laajuuden ja vaaditun yksityiskohtaisuuden takia. Puurunkoisten rakennusten statiikka, palotekninen suunnittelu, akustinen suunnittelu ja kosteustekninen suunnittelu vaativat lisätyötä ja uusia asiantuntijoita suunnittelutiimiin verrattuna perinteisiin rakennuksiin. Työn määrä on myös suurempi, sillä yksityiskohtaisten piirustuksien lukumäärä on suurempi puurakentamisessa. Tämä pätee erityisesti rakennuskomponentteihin, joiden yksityiskohtainen viimeistely on perinteisesti jätetty työmaalle. Esimerkiksi parvekkeiden yksityiskohtaisten piirustusten lukumäärä voi olla moninkertainen verrattuna perinteisiin rakennuksiin. Lisääntynyt yksityiskohtaisuus ei tarkoita sitä, että jokaisella puukomponentilla pitäisi olla omat mittansa. Tarkkuuden pitää olla korkea, mutta tämä ei tarkoita, että jokaisen puukomponentin pitää olla erikoisvalmisteinen. Vakiokokoisten puukomponenttien sarjalle on tarvetta, jotta yksittäisten komponenttien tuotantokustannuksia voitaisiin madaltaa. (Ruuska & Häkkinen, 2016.)

#### 4.2.2.3 Rakennusvaihe

Haastatteluissa tuotiin usein esille, että tällä hetkellä puurakentamisessa ei hyödynnetä teollisen valmistuksen täyttä potentiaalia. Sisätiloissa tapahtuvan valmis-

tuksen nähtiin parantavan laatua, mutta aikataulu- ja kustannushyötyjä ei vastausten mukaan täysin hyödynnetä. Tällä hetkellä suurimmat säästöpotentiaalit vaikuttavat olevan puuelementtitehtaalla, hankintaprosessissa ja yleisen työnkulun kehittämisessä. Puuelementit mahdollistavat suurien rakennusmassojen nopean asentamisen, mutta esivalmistusastetta voidaan edelleen lisätä. Optimitilanteessa työ rakennustyömaalla on vain minimaalista ja rajoittuu liitosten tekemiseen elementtien välille ja ulkoiseen viimeistelyyn. Työmaa-asennuksissa on kiinnitysmenetelmissä parantamisen varaa, ja toistettavat vakiomenetelmät tekisivät työstä nopeampaa. Myös rakenteiden tilapäisessä tukemisessa ja jäykistämisessä on parantamisen varaa, sillä niissä käytetään tällä hetkellä suuria varmuuskertoimia, mikä aiheuttaa lisätyötä asentamisessa.

Tehokkaat työmaaprosessit vaativat, että liitokset, saumat ja muut vastaavat on suunniteltu ennalta niin, että asentamisen työnkulku on sujuvaa. Tämän lisäksi puuelementtien valmistajan ja urakoitsijan muun tehdas- ja työmaatyön roolit ja vastuut pitää määritellä selkeästi ja sopia. Puuelementtien asentamisen edellytykset ja urakoitsijan osa-alueiden väliset rajat pitää tehdä selviksi. Näin ei tällä hetkellä ole kaikissa projekteissa.

Haastatteluiden mukaan säänsuojaus on tärkein lisävaatimus rakentamisvaiheessa perinteisiin rakennusprojekteihin verrattuna. Vaikuttaa siltä, että säänsuojasta pitää kehittää tulevilla projekteilla, sillä se aiheuttaa viivästyksiä ja lisäkustannuksia työmaalla, jos sitä ei suunnitella ja toteuteta kunnolla.

Haastatteluista kävi hyvin selväksi, että suunnittelematon työn siirto tehtaalta rakennustyömaalle aiheuttaa merkittävän määrän lisätyötä. Optimaalisessa prosessissa rakennustyömaalla vaadittava työ on vain minimaalista ja rajoittuu elementtien ja muiden järjestelmäkomponenttien asentamiseen sekä ulkoiseen viimeistelyyn. Tehtaan tuotantoprosessin pitäisi olla hyvin tarkasti aikataulutettu ja hallittu, ja tuotantolinjan jokaisen vaiheen pitäisi olla virheetön seuraavaa vaihetta varten. (Ruuska & Häkkinen, 2016.)

#### 4.2.2.4 Yhteenveto ja johtopäätökset

Suoritetun tutkimuksen haastatteluiden (Ruuska & Häkkinen, 2016) perusteella puurakentamisen prosesseissa on edelleen tehottomuutta koskien prosessinhallintaa ja resurssien käyttöä. Tutkimusosuuden tavoitteina oli 1) löytää erityyppisiä tehottomuuksia erityyppisistä puurakentamisprojekteista, 2) käsitellä tehottomuuden syitä ja 3) esittää ehdotuksia, jotka saattaisivat auttaa tekemään prosessista kevyemmän. Lähtökohtana oli, että voi olla olemassa joitakin tiettyjä syitä, jotka aiheuttavat tehottomuutta monikerroksisten puurakennusprojektien toimittamisessa. Paperissa käsiteltiin puurakentamisen tehokkuutta silmällä pitäen asioita, jotka voivat aiheuttaa ongelmia projektin kokonaishallinnalle sekä suunnittelu- ja rakentamisprosesseille ja siten vaikuttaa ajan ja resurssien kulutukseen.

Johtopäätöksiä:

- **Rakennejärjestelmien standardisointi**

Tapausten A ja B haastattelut antoivat samanlaisia vastauksia kuin kirjallisuuskatsaus. Puurakennusten suunnitteluprosessi on vielä kehittyvässä,

mikä aiheuttaa tehottomuutta monin eri tavoin. Tällä hetkellä rakennejärjestelmän pilottiluonne kasvattaa suunnittelun työtaakkaa, ja referenssiprojektien puute johtaa sekä suunniteltuihin että suunnittelemattomiin lisätöihin.

- **BIM-ohjelmistojen saatavuus**

BIM-ohjelmistojen käyttö tukee kevyttä ajattelua toistetun työn ja hukan minimoimisen sekä suunnittelun automatisoinnin kautta. Haastattelut viittasivat siihen, että BIM-pohjainen suunnittelu on välttämättömyys monikerroksisessa puurakentamisessa, mikä siten mahdollistaa kevyet prosessit. Haastatteluiden mukaan monikerroksiset puurakennukset pitää mallintaa BIM-ohjelmiston avulla, sillä rakenteellisten ja LVI-mallien ristiintarkistus on välttämätöntä puurakennusten suunnittelussa, ja tämä voidaan tehdä tehokkaasti ainoastaan BIM-ohjelmiston avulla. Ohjelmistojen puutetta ei pidetty kriittisenä ongelmana, mutta vakioratkaisujen ja -mallien sekä ohjelmistojen yhteentoimivuuden puutteet nähtiin tärkeimpinä ongelmina.

- **Vaativa sääntely**

Vaativaa sääntelyä ei korostettu kirjallisuudessa tehokkuuden ja hukan vähentämisen näkökulmasta. Haastatteluissa tuli kuitenkin ilmi, että lainsäädännön nykytila aiheuttaa hukkaa prosessissa. Tällä hetkellä kommunikointia viranomaisten kanssa tarvitaan useammin kuin tyypillisissä projekteissa. Tämä pätee erityisesti paloteknisiin asioihin, jotka ovat paikallisten tulkintojen varassa ja vaativat neuvottelua paikallisten viranomaisten kanssa. Sääsuojaus on tällä hetkellä tärkein lisävaatimus rakentamisvaiheessa perinteisiin rakennusprojekteihin verrattuna. Vaikuttaa siltä, että sääsuojasta pitää kehittää tulevilla projekteilla, sillä se aiheuttaa viivästyksiä ja lisäkustannuksia työmaalla, jos sitä ei suunnitella ja toteuteta kunnolla.

- **Kokemus monikerroksisesta puurakentamisesta**

Tällä hetkellä on olemassa vain rajallinen määrä suunnittelijoita, joilla on kokemusta puurakentamisesta, ja rajallinen määrä valmistuneita projekteja. Kun otetaan huomioon, että rakennejärjestelmät ovat vielä kehittymässä ja että on olemassa useita erilaisia järjestelmiä, on ilmiselvää, että ihannetilanne toteutuu harvoin.

- **Hankintamenetelmät**

Molempien hankkeiden toteutusmuotona oli suunnittele ja rakenna, missä urakoitsija hallitsee sekä suunnittelua että rakentamista. Tulokset viittasivat siihen, että perinteinen suunnittelu-tarjous-rakentaminen-menetelmä ei ole paras vaihtoehto puurakentamisessa, sillä yhteistyötä projektin osapuolien, suunnittelijan, arkkitehdin, urakoitsijan ja puutuotevalmistajan, välillä vaaditaan jo projektin varhaisessa vaiheessa. Haastattelut alleviivasivat sitä, että suunnittele ja rakenna -urakassa urakoitsijan ja omistajan pitäisi sopia kaikista teknisistä ratkaisuista ennen urakkasopimuksen allekirjoittamista. Parhaimmillaan tämä toimitusmuoto sallii urakoitsijan käyttää koko asiantuntemustaan ja tehdä tutkimusta, kehitystyötä ja innovointia sekä hyötyä niistä. Oli selvää, että jos rakennejärjestelmä on vielä kehitystyön alla,

omistaja saattaa rajoittaa urakoitsijan vapauksia minimoidakseen riskinsä sekä asettaa laadunvalvontavaatimuksia ja -toimenpiteitä.

Tutkimuksen tulokset olivat suhteellisen hyvin esitetyn lähtökohdan mukaiset. Kommunikaatiota, yhteistyötä sekä päällekkäisiä projektivaiheita tai vaiheiden ajoitusta korostettiin enemmän kuin odotimme. Vaativaa sääntelyä ei toisaalta korostettu kirjallisuudessa tehokkuuden ja hukan vähentämisen näkökulmasta.

### **4.3 Tietomallinnuksen kehitystarpeet hankeprosessissa**

Rakennushankkeeseen valittu toteutusmuoto ohjaa hankkeen organisoitumista ja luo edellytyksiä tehokkaalle toteutukselle. Suunnittele ja rakenna -muodossa painottuu toteuttajan osaaminen suunnitteluratkaisuun liittyvissä asioissa, ja allianssimuoto luo lisäksi mahdollisuuksia uusille yhteiskehittämisen menetelmille koko hankkeen aikana. Tässä luvussa ei kuitenkaan tarkastella näihin prosesseihin liittyviä menetelmiä tai tekniikoita, vaan keskitytään tietomallipohjaisen suunnittelun mahdollisuuksiin yhtenä puukerrostalorakentamisen tehostamiskeinona.

Suomessa tietomallintamista ohjaavat alan yhdessä määrittelemät Yleiset tietomallivaatimukset YTV2012, jotka sisältävät 14 osaa jaettuna eri toimijoiden ja eräiden muiden käytötapausten mukaan (YTV, 2012). Vaatimukset on tarkoitettu käytettäväksi rakennushankkeissa, kun sovitaan tietomallintamisesta suunnittelu- tehtävissä ja muissa toiminnoissa. YTV2012 kuvaa tietomallintamisen pääsisällön hankkeen eri vaiheissa, ja kuvassa 20 esitetään keskeiset suunnittelun tietomallinimikkeet eri vaiheissa. Käytännössä vaiheistus ja versiointi ei ole näin selvää, vaan yleensä suunnittelun edessä tietomallia tarkennetaan ja siitä tulostetaan ko. vaiheessa tarvittavia 2D-piirustuksia. Mallit eivät ole merkittäväsi korvanneet piirustusten laatimista, mutta malleja käytetään piirustusten rinnalla myös tuotannossa ja luovutetaan ei-sitovina urakoitsijoille sekä tuotevalmistajille, jotka pystyvät niitä hyödyntämään.

LeanWOOD-hankkeessa järjestettiin puukerrostalorakentamisen tietomallintamista koskeva työpaja, johon osallistui yhteensä 17 henkilöä. He edustivat rakennuttajia, suunnittelijoita, urakoitsijoita, puutuotevalmistajia sekä tutkijoita. Tavoitteena oli tunnistaa, miten tietomallintamista voidaan tehokkaammin käyttää puukerrostalorakentamisen prosessissa sekä toisaalta koota tietomallintamiseen liittyviä kehitystarpeita. Taulukossa 23 esitetään yhteenveto työpajan ryhmätyössä esitetystä näkemyksistä.

Käytännössä puukerrostalojen suunnittelussa käytetään samoja mallinnusohjelmia kuin muissakin kerrostalohankkeissa. YTV2012 määrittelee tietomallinnuksen sisältövaatimukset, mutta kuvaukset ovat riippumattomia esim. käytettävistä mallinnusohjelmista. Kuvausten lisäksi eri toimialojen osapuolet ovat kehittäneet tarkempia ohjeita ja vaatimusmäärittelyjä. Esimerkiksi Betoniteollisuus on laatinut betonielementtien mallinnusohjeen (BEC2012), ja nämä ohjeet sisältävät myös sovelluskohtaisia määrittelyjä. Betoniteollisuus on myös yhdessä rahoittanut ja kehittänyt avointa elementtirakentamisjärjestelmää tukevia suunnittelukomponentteja Tekla Structures -ohjelmaan. Ohjelmavalmistaja tarjoaa lisäksi alustan lisä-

toiminnallisuuksien jakeluun, ja palvelusta löytyy pelkästään hakusanalla "BEC" yhteensä 30 nimikettä<sup>1</sup>.

**Taulukko 23.** Puukerrostalorakentamisen ja tietomallintamisen kehitystarpeita kehitystyöpajan tulosten perusteella (muokattu lähteestä VTT, 2016).

---

#### **Hankinnat ja kokonaisprosessi**

- Puukerrostalon runkojärjestelmä valitaan suunnittelun alkuvaiheessa, ja urakkakilpailu on järjestettävä ennen sitä, jos halutaan kilpailuttaa eri runkojärjestelmiä. Alalla ei ole yhtä avointa rakentamisjärjestelmää.
- Kohteet ovat olleet julkisten tilaajien kohteita, ja niissä hankintalaki edellyttää kilpailuttamista ja menettelyn pitää täyttää lain muotovaatimukset.

#### **Rakennejärjestelmät**

- Rakenneratkaisujen vakiointia halutaan, jotta tehostetaan suunnittelu- ja rakentamisprosessia sekä saadaan parempi varmuus rakenteiden toimivuudesta.
- Rakenneratkaisujen vakiointi on keino lisätä kilpailua vakioitujen ratkaisujen puitteissa, mikä parantaa näiden rakenteiden kilpailukykyä.
- Markkinoille odotetaan jäävän ehkä vain 1–2 puukerrostalojen rakentamisjärjestelmää, joihin ratkaisuja toimittavat useat tuoteosatoimittajat.
- Puukerrostalojen suunnittelusta ei ole paljon kokemuksia, mikä näkyy myös korkeampina suunnittelukustannuksina.

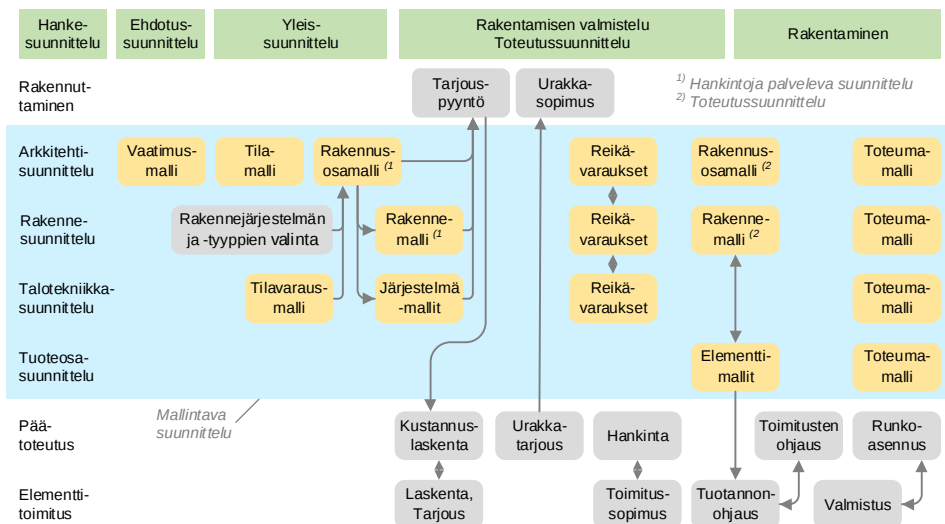
#### **Tietomallipohjainen suunnittelu**

- Tietomalliprosessin tulee ohjata huomio suunnittelun ja rakentamisen sisältöihin ja ratkaisuihin, ei suunnitteluvälineisiin tai niiden rajoitteisiin.
- Rakenneratkaisujen tuotekehityksen vuoksi rakennejärjestelmät ovat muutostilassa, mikä hidastaa tehokkaiden BIM-työkalujen kehittämistä.
- Tietomallipohjainen suunnittelu vaatii määrämuotoista suunnitteluprosessia, ja mallintavaa rakenne- ja talotekniikkasuunnittelua tehdään hankkeessa osin aikaisemmin kuin perinteisillä suunnitteluvälineillä.
- Suunnitelmamuutosten tekeminen BIM-työkaluilla on hankalampaa kuin perinteisessä 2D-piirtämisessä.
- Tietomallisuunnittelussa esiintyy vielä perusvirheitä, kuten esim. eri mallien origot eri paikassa tai mallissa ylimääräisiä objekteja, jotka estävät luotettavan määrälaskennan mallista. Mallien laadunvarmistusta tarvitaan.
- Tuoteosasuunnittelun ja valmistajan tuotannonsuunnittelun välistä rajapintaa on täsmennettävä.

#### **Tietomallintamisen komponenttikirjasto**

- Puukerrostalorakentamisessa tarvitaan BIM-ohjelmistojen suunnittelu-komponentteja, sillä ne nopeuttavat mallinnustyötä.
  - Ohjelmistojen suunnittelukomponentteja ehdotetaan tehtäväksi alan yhteistyönä eikä suunnittelutoimisto- tai tuoteosavalmistajakohtaisesti.
  - Mallin tietosisältöä on mahdollista käyttää tuotantoautomaation ohjauksessa rakenneosien valmistuksessa, mikä tehostaa osaltaan toimintaa.
- 

<sup>1</sup> <https://warehouse.tekla.com/#/search/?searchTerm=bec>, viitattu 6.3.2017.



**Kuva 20.** YTV:n (2012) mukaiset tietomallit perinteisessä kokonaisurakassa. Mallinnuksen sisältö tarkennetaan hankekohtaisesti.

Puukerrostalorakentamisessa RunkoPES 2.0. -aineisto sisältää arkkitehtisuunnitteluun soveltuvat rakennetyyppikirjastot ArchiCAD- ja Revit-ohjelmiin. RunkoPES-aineistossa yksityiskohtaiset rakennetyypit ja detaljit esitetään tavanomaisina 2D-leikkauksina, joita voidaan liittää perinteisiin rakennetyyppiluetteloihin ja detaljipiirustuksiin. Arkkitehtisuunnittelun mitoitussasiat pystytään hoitamaan näillä mallinnusmenetelmillä ja -kirjastoilla, mutta rakennesuunnittelua varten tarvitaan suunnittelukomponentteja ainakin toteutussuunnittelua varten. Rakenteiden yksityiskohtainen mallintaminen luo myös mahdollisuuden paremmin arvioida detaljeja ja niiden rakennettavuutta, mikä edistää kilpailukyyn kehittymistä.

Lyhyellä aikavälillä toimialan pitää tunnistaa hyviä suunnittelutyökaluja ja pyrkiä niiden jakamiseen yhteistyössä ohjelmistoyritysten kanssa. Osa työkaluista on suunnittelutoimistojen omaisuutta, mutta niiden jatkokehittämiseen kannattaisi koota lisärahoitusta ja sen avulla saada ne laajempaan käyttöön. Myös tuoteosa-valmistajien tulisi tarjota suunnittelua tukevia tietomallikirjastoja. Kuitenkin kaikessa kehittämisessä pitää ottaa huomioon ylläpitotarve ohjelmistojen kehittyessä jatkuvasti. Mallinnusohjelmat päivittyvät vähintään kerran vuodessa, osin useaminkin, ja jokaisen versiopäivityksen yhteydessä on varmistettava, että suunnittelukirjastot toimivat oikein.

Suunnitteluvälineet kehittyvät joka tapauksessa rakennejärjestelmän mukana ja sitä nopeammin, mitä enemmän rakennejärjestelmällä on kysyntää. Nykyisellä puukerrostalojen tuotantovolyyymillä aktiivisin tietomallintamisen kehitys tapahtuu käytännössä rakennushankkeiden yhteydessä. Osana puukerrostalorakentamisen osaamisen ja kokemuksen kerryttämistä tulisi hankkeista koota myös tietoa mallinnuskokemuksista sekä koota käytössä olleita suunnitteluapuvälineitä yhteiselle

alustalle jaettavaksi. Jopa hankkeiden tilaajat voisivat tukea sopimusvaatimuksilla tätä tiedon koostamista.

Oleellista on kuitenkin saada aikaan uusia rakennushankkeita, jotta rakennejärjestelmiä ja työkaluja kannattaa kehittää. Tähän liittyy puukerrostalojen hankkeprosessin ja kilpailuttamisen vakiointitarve. Kuitenkin esim. suunnittele ja rakenna -toteutusmuodossa tehdään tarjoussuunnittelua useammassa tarjoavassa ryhmässä, mikä nostaa tarjouskustannuksia. Niitä voitaisiin kuitenkin alentaa, jos osana prosessin vakiointia määritellään riittävä tarjoussuunnitelmien taso ja esitystapa kilpailun voittajan valitsemiseksi. Myös tietomallin asemaa tarjoussuunnitelman esittämisessä tulee korostaa ja pyrkiä korvaamaan perinteisiä 2D-piirustuksia mallista otettavilla näkymillä.

#### **4.4 Hankinta- ja toteutusprosessit**

Palveluntuottajien osaamisen hyödyntäminen todettiin edellä keskeiseksi, ja siksi jatkotarkasteluun valikoituivat vain suunnittelu ja rakenna -malli sekä projektiallianssi.

Suunnittele ja rakenna (SR) on hankkeen toteutusmuoto, jossa tilaaja tekee sopimuksen yhden yrityksen kanssa sekä suunnittelun että rakentamisen toteuttamisesta ja joka näin ollen tarjoaa tilaajalle yhdenpisteisen kokonaisvastuun näiden tehtävien osalta (Lahdenperä, 2001). Toteutusmuotoa nimitetään tosinaan myös suunnittele ja toteuta -muodoksi sekä yleisemmin kokonaisvastuurakentämiseksi (KVR-urakka) vakiomuotoisten ja laajasti käytettyjen sopimusmallien ja asiakirjojen nimeä mukaillen (esim. RT 16-10740, RT 16-10758).

Allianssiurakka on hankkeen keskeisten toimijoiden väliseen, kaikille yhteiseen sopimukseen perustuva hankkeen toteutusmuoto, jossa osapuolet vastaavat toteutettavan projektin suunnittelusta ja rakentamisesta yhdessä yhteisellä organisaatiolla ja jossa toimijat jakavat projektiin liittyviä sekä positiivisia että negatiivisia riskejä sekä noudattavat tiedon avoimuuden periaatteita kiinteää yhteistyötä tavoitellen (Lahdenperä, 2009). Projektiallianssiin viitataan myös termillä allianssiurakka tai sitä kutsutaan yksinkertaisesti vain allianssiksi. Toteutusmuoto on otettu käyttöön vasta joitakin vuosia sitten, mutta se on saavuttamassa vakiintuneen aseman mm. piakkoin ilmestyvien, alan yhteisten pelisääntöjen myötä (esim. RT 10-112XX).

Palveluntuottajien aikaisen mukanaolon lisäksi toinen painotettava ja esitettävien prosessien valintaa ohjaava tekijä on yhteissuunnittelu. Sillä pyritään toisaalta siihen, että tarjousvaiheen työmäärä pysyy kohtuullisena palvelua tarjoaville yrityksille, ja toisaalta siihen, että näin hyödynnetään osaamisen yhdistämisestä saatava hyöty: ideoiden vuorovaikutteinen kehittäminen johtaa parhaimmillaan positiiviseen kehityskierteeseen hankkeen hyödyksi (vrt. Koski & Lahdenperä, 2015; Lahdenperä, 2016). Muiden osapuolien välitön palaute ohjaa toimintaa, ja ratkaisujen ohella myös toimintaprosessit sujuvoituvat.

Jäljempänä seuraavat prosessikohtaiset tarkastelut lähtevät olettamuksesta, että hankinnassa halutaan ulottaa kilpailutekijät kattamaan myös hankkeen loppu-

tuoteominaisuuksia ja taloudellisuutta ainakin jossakin määrin sen sijaan, että useamman tarjoajan vielä mukana ollessa kilpailu keskittyisi lähinnä vain palveluntuottajien kyvykkyyteen ja sen toteamiseksi tuotettaviin aineistoihin, hallinnollisiin suunnitelmiin ja ratkaisuideoihin. Näin ollen suoraviivaisimmat ratkaisut jäävät ulos tarkastelusta. Niitä ovat neuvottelu-urakkana toteutettava KVR sekä allianssi siinä muodossaan kuin sitä Suomessa on tyypillisesti toteutettu: kyvykkyysspainotteisen valinnan perusteella kehittäminen jatkuu vain kilpailun voittaneen konsortion kanssa.

#### 4.4.1 Suunnittele ja rakenna -hankkeiden prosessit

##### 4.4.1.1 Suunnittele ja rakenna yhdellä kehityssopimuksella

Suunnittele ja rakenna -muodon kilpailullisia prosesseja on hahmoteltu kuvassa 21. Malli A eli SR yhdellä kehityssopimuksella on pääpiirteissään seuraava:

- **Valintavaihe.** Tilaaaja järjestää tarjouskilpailun, jonka osana tarjoajien tulee suunnitella ja hinnoitella tarjouspyynnössä esitetyt vaatimukset täyttävä ja tavoitteisiin mahdollisimman hyvin vastaava projektiratkaisu. Tilaaaja tekee toteuttajan valinnan kilpailijoiden toimittamien tarjousten kokonaistaloudelliseen edullisuuteen perustuen. Tarjoajien määrää on jo ensivaiheessa rajattu esimerkiksi neljään osallistumisilmoitusten kyvykkyysselvityksen tai sen jälkeisen konseptitasovaiheen arvioinnin perusteella.
- **Kehitysvaihe.** Valittu konsortio jatkaa suunnittelu- ja toteutusratkaisun kehittämistä sille tasolle, että sen pohjalta voidaan tehdä sopimus hankkeen toteuttamisesta. Kehitettäviä asioita voivat olla mahdolliset puutteet tavoitteiden täyttämiseksi, asemakaavan tai viranomaismääräysten täyttyminen ja rakennusluvan edellyttämät suunnitelmat. Kehitysvaiheen työt perustuvat sopimukseen, jotta toiminnat ehdot ovat osapuolten tiedossa ja ne voivat niihin sitoutua (korvauserusteet, muutosten vaikutus urakkahintaan jne.).
- **Toteutusvaihe.** Palveluntuottaja toteuttaa hankkeen vastaten suunnittelusta ja rakentamisesta kokonaisuutena, eli esim. viipeet tai muutokset tuotantoa palvelevissa suunnitelmissa eivät anna aihetta aikataulu- tai hintamuutoksiin, vaan nämä riskit jäävät SR-urakoitsijan kannettaviksi. Hinta on tyypillisesti kiinteä, vaikka myös tavoitehintaurakka on mahdollinen. Niin ikään hankkeessa voidaan käyttää kannustimia, jolloin maksu urakoitsijalle on viime kädessä riippuvainen hankkeessa saavutetuista tuloksista.

Menettelytapaa on käytetty menestyksellä ainakin yhdessä puukerrostalo-hankkeessa (ATT, 2016). Soveltamisen tilanteen ja ratkaisujen konkretisoimiseksi taulukossa 24 kuvataan tarkemmin kyseisen hankkeen ominaisuuksia ja menettelytapoja. Taulukot 25 ja 26 havainnollistavat osaltaan kilpailujärjestelyjä: edellinen listaa tarjouspyyntöaineiston pääpiirteisen sisällön ja jälkimmäinen tarjouksilta edellytetyt asiakirjat tietosisältöineen. Hankkeen vaiheet ja aikataulu esitetään kuvassa 22.

Hankkeessa osallistumisilmoituksen jättäneistä ehdokkaista oli määrä valita korkeintaan viisi tarjoajaa varsinaiseen tarjousvaiheeseen. Valituksi tuli kuitenkin vain neljä ryhmää, sillä viidestä hakemuksesta yksi hylättiin puutteellisenä. Hankintalain termein kyseessä oli kilpailullinen neuvottelumenettely, ja tarjoajien kanssa käytiin kolme neuvottelukierrosta ennen lopullisen tarjouspyynnön valmistumista. Neuvottelujen tarkoituksena oli luoda yhteisesti pelisäännöt urakoitsijavalinnan tavoitteista ja kriteereistä sekä määritellä tavoitehinnan määräytymisperusteet (ATT, 2013a). Tilaaaja sai lopulta kolme tarjousta, joista yksi valittiin hankkeessa toteutettavaksi.

Lähtökohtaisesti kyseessä on tavanomainen SR-hankkeen kilpailullinen hankintaprosessi erityisesti suhteessa jäljempänä esiteltäviin vaihtoehtoihin. Vastaava yksivaiheinen tarjousvaihe on ollut myös perinteisesti käytetympi kuin konseptisuunnitelmatazon väliarviointiin ja sen perusteella tehtävään osallistujien vähentämiseen tukeutuva menettely (VTT, 1999). Toki viimeksi mainittua menettelyäkin on käytetty (esim. Pernu, 1995), jolloin avoimen arvioinnin tapauksessa ongelmaksi on koettu mm. ideoiden vuotaminen (Pernu, 1996). Kilpailuissa on myös tavallista kiinnittää tarjoushinta tai vähintäänkin (tiukka) maksimihinta ennakkoon. Esimerkkihankkeessa käytetty kiinteähintainen sopimus noudattaa niin ikään valitsevaa linjaa, vaikka tavoitehintaisia urakoita käytetään myös SR-kilpailuhankkeissa. Myös näistä syistä esimerkkiprosessilla olisi edellytykset vakiinnuttaa paikkansa markkinoilla.

Menettelyn riskikohta liittyy tarjousvaiheeseen ja sen raskauteen (kuten kuvan 21 punainen väritys suhteellisesti indikoi). Suunnittelun sisältävän tarjouksen laadinta on osallistujille raskasta, ja siksi tarjoajien määrää on yleensä syytä rajoittaa kyvykkyyksiperustein. Samaisesta syystä suunnittelua ei ole aina mielekästä viedä kohtuuttoman pitkälle vielä kilpailuvaiheessa, ja kehitysvaiheen onkin ajateltu olevan mukana juuri siksi, että sen aikana vasta viime kädessä varmistetaan vaatimusten ja määräystenmukaisuus ja toteutuksen edellytykset. Päätös toteutettavasta vaihtoehdosta voitaneen tehdä ehdollisesti jo tätä karkeammilla suunnitelmilla. Tarjouksenteon raskautta voi helpottaa tilaajan hävinneille tarjoajille usein maksama tarjouspalkkio, joka myös lisänee osallistumishalukkuutta ja toimii tilaajan eduksi tuottaessaan kirivaikutusta. Palkkion ei kuitenkaan yleensä oleteta kattavan kuin osan tarjouskustannuksista.

Toinen riski liittyy tilaajan vaatimusmäärittelyyn. Tavoitteiden toteutuminen edellyttää niiden riittävän yksikäsitteistä määrittelyä ennen kilpailua, mutta vaarana on kehitysmahdollisuuksien poissulkeminen liiallisella rajauksella. Yksityiskohtaiset tarjouspyyntösuunnitelmat voivat rajoittaa turhaan kilpailukykyisten ratkaisujen kehittämistä. Toisaalta liika väljyys tuo liikaa tulkinnanvaraa niin ratkaisujen kuin niiden edullisuuden ja keskinäisen paremmuuden määrittelyssä, jolloin julkisissa hankinnoissa voidaan ajautua markkinaoikeusvalituksiin ja niiden myötä hankkeen viivästymiseen ja lisäkustannuksiin. Tämä haaste voi puoltaa vaihtoehtoisia prosesseja.

#### 4.4.1.2 Suunnittele ja rakenna kahdella kehityssopimuksella

Toinen kuvassa 21 hahmoteltu SR-malli (B) esittää ratkaisua, jossa kehityssopimus tehdään kahden palveluntuottajan kanssa. Menettely on pääpiirteissään seuraava:

- **Valintavaihe.** Tilaaja järjestää kilpailun, jossa tarjoajien tulee osoittaa kilpailukykyä hankekohtaisesti määräytyvin kriteerein: kyse on kyvykkyydestä yleisesti, minkä lisäksi myös hankkeen toteutuksen periaatteet ja palkkiotasot korostuvat. Tilaaja tekee valinnan kilpailijoiden toimittamien tarjousten kokonaistaloudelliseen edullisuuteen perustuen ja valitsee kaksi toimijaa jatkamaan kehitysvaiheeseen. Tarjoajien määrää on jo ensivaiheessa rajattu osallistumisilmoitusten arvioinnin perusteella.
- **Kehitysvaihe.** Valintavaiheesta kaksi parhaan tarjouksen tehnyttä yritystä tai yritysryhmää jatkaa hankkeiden suunnittelu- ja toteutusratkaisujen kehittämistä vuorovaikutuksessa tilaajan kanssa. Tilaaja arvioi ratkaisut, ja kokonaistaloudellisesti edullisimman ehdotukset tehnyt urakoitsija valitaan hankkeen toteuttajaksi. Kehitysvaiheen työt perustuvat sopimukseen, jotta toiminnot ehdot ovat osapuolten tiedossa ja ne voivat niihin sitoutua (työn korvausperusteet, muutosten vaikutus urakkahintaan jne.).
- **Toteutusvaihe.** Vaiheen sisältö vastaa prosessin A toteutusvaihetta.

Menettely on syntynyt allianssin kokemusten pohjalta, kun on haluttu lisätä vuorovaikutteista kehittämistä SR-hankkeisiin, vaikka riskien siirtäminen palveluntuottajille on viime kädessä kuitenkin tarkoituksenmukaista (DIT, 2015a). Edellisessä vaihtoehdossa A vuorovaikutus painottui neuvottelulliseen kilpailuprosessiin, jonka tuloksena tulisi jo löytää periaatteessa lopullinen projektiratkaisu. Tässä mallissa lähtökohta-ajatus on, että hankkeen haasteet ovat sitä luokkaa, ettei niitä kyetä tarkastelemaan vuorovaikutuksessa riittävästi neuvottelullisen prosessin aikana.

Kehitysvaihe antaa enemmän aikaa hankkeen riskien tunnistamiseen ja minimointiin sekä sen arviointiin, mitä riskejä on yleensä tarkoituksenmukaista siirtää palveluntuottajalle. Vuorovaikutus kehitysvaiheessa antaa toimittajille mahdollisuuden testata ideoitaan tilaajalla sekä todentaa niiden kelpoisuus hankkeen tavoitteiden täyttämiseksi. Yleisemmin kyse on sellaisen tilaajanäkemyksen, kuvainnollisesti sisäpiiritiedon, hyödyntämisestä, joka ei voi toteutua nopeatempoisessa tarjouspyyntöä edeltävässä vuoropuhelussa, sillä keskeiset kysymykset syntyvät usein vasta suunnittelun konkreettisesti edetessä. Samoin viranomaistulkinnat voidaan todentaa nyt varmemmin käytettävissä olevan ajan puitteissa.

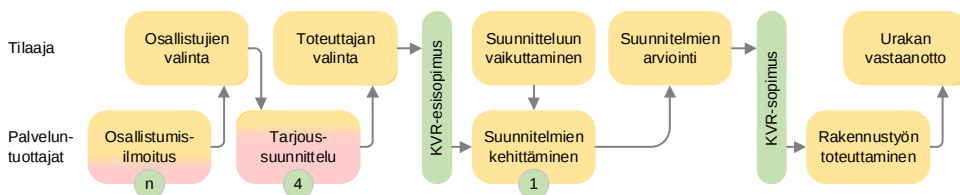
Prosessia käytettäessä ei toteuttajan valinnan jälkeen pitäisi enää olla vastavassa määrin epävarmuustekijöitä sopimuksen syntymiselle kuin prosessin A tapauksessa. Olettaen, että käypä tarjousratkaisu on yleensä löydettävissä. Menettelyn myötä projektin riskit ja kehitysmahdollisuudet tulevat arvioitaviksi ja huomioiduiksi tavanomaista kokonaisvaltaisemmin. Tilaajanäkemyks on mahdollista ottaa huomioon suunnittelussa jo ennen projektin hinnoittelua, ja hankkeen menestystekijöiden voi monissa tapauksissa olettaa näkyvän lopputuloksessa

perinteistä kilpailua paremmin. Silti kyse on pääsääntöisesti tilaajan kuulemisesta ja tilaajapalautteesta eikä varsinaisesta yhteiskehittämisestä, koska tilaajan tulee huolehtia kilpailevien tarjoajien tasapuolisesta kohtelusta ja kilpailusalaisuuksien säilyttämisestä.

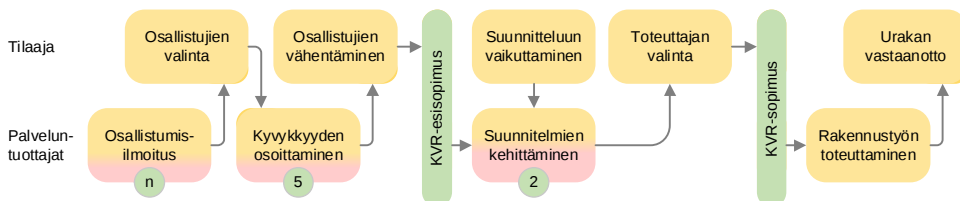
Koska merkittävä osa varsinaista tarjoussuunnittelua jää ns. kehitysvaiheeseen, on luonnollista, ettei sitä edeltävä kilpailuvaihe vaadi vastaavassa määrin työtä kuin vaihtoehdossa A. Kyseessä voi silti olla laaja-alaisempi kilpailu kuin kirjaimellisesti kyvykkyyden osoittaminen, joka voi tarkoittaa toteutuksen ja johtamisen periaatteita, organisaation nimeämistä ja toimijoiden näyttöjä onnistumisista sekä esimerkiksi tilaajan kustannusarvion kriittistä arviointia (vrt. Lahdenperä, 2012). Myös hintakomponentteja voidaan käyttää, jos kehitysvaihe viedään läpi avoimien kustannusten periaatteella, kuten mallin kehittelyn lähtökohtaetus on (ks. prosessi C jäljempänä), vaikka se poikkeaaakin totutuista SR-hankkeiden menettelytavoista.

Suunnittelutyön painottuessa kehitysvaiheeseen vuorovaikutus, reunaehojen tarkastelu sekä tilaajan ohjeistus ja palaute yleisemmin lisäävät tarjoajien työmäärää suhteessa palveluntuottajan tarjousvaiheessa yksin tekemään suunnitteluun. Näin onkin luontevaa, että tilaaja maksaa kehitysvaiheessa mukana olevalle kahdelle toimijalle palkkion, joka ei kuitenkaan kata tehtävää työtä, mutta on selvästi enemmän kuin mahdolliset tarjouspalkkiot ovat prosessissa A. Tätä puoltaa myös se, että kehitysvaihe on sopimuspohjainen, sillä tilaajan tulee varmistaa tarjousten saaminen tilanteessa, jossa tarjoajia on vain kaksi ja toisen jättäytyminen pois hankkeesta kesken kehitysvaiheen voisi olla vahingollista. Useamman kilpailijan malli taas lienee yleensä liian raskas vastaavissa vuorovaikutteisissa prosesseissa.

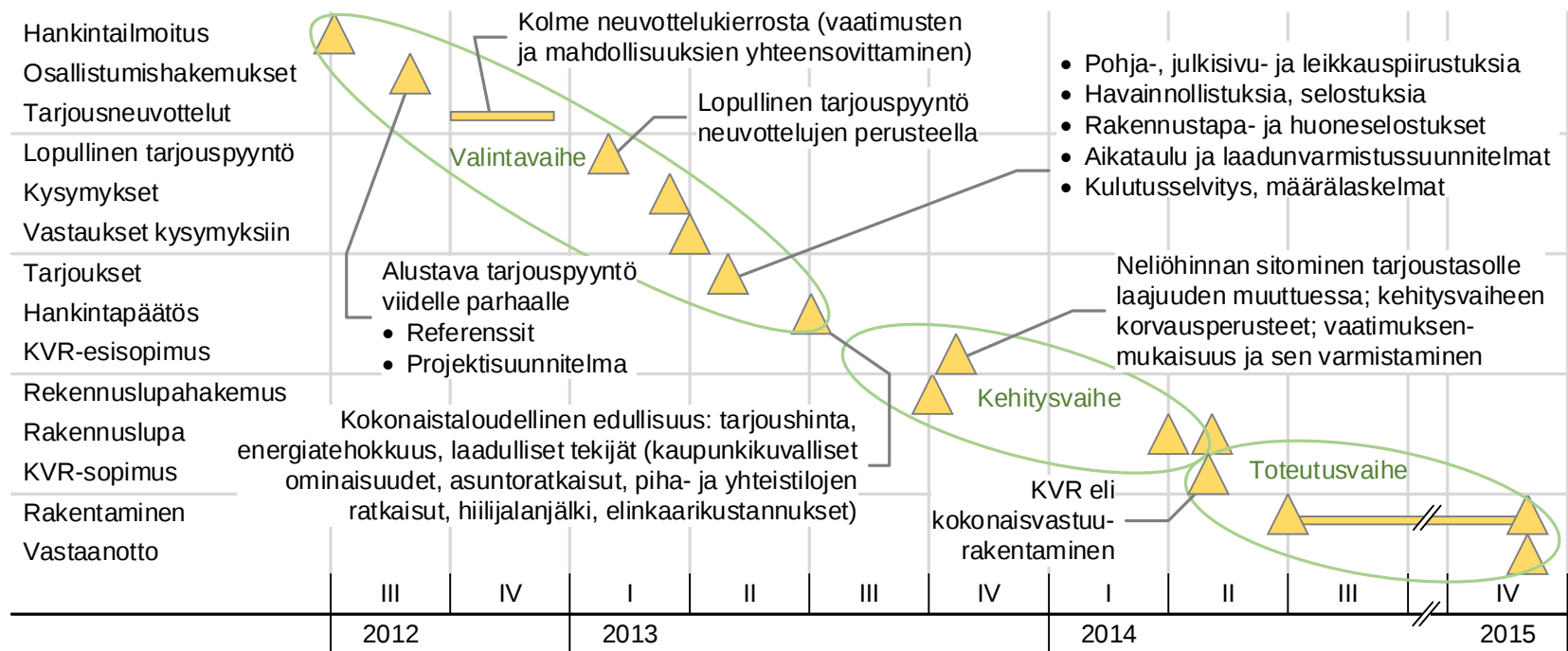
#### A. SR yhdellä kehityssopimuksella



#### B. SR kahdella kehityssopimuksella



**Kuva 21.** SR-urakan hankinta- ja toteutusprosesseja (numerot ovat esimerkkejä kilpailevien tarjoajien määristä eri vaiheissa).



**Kuva 22.** Esimerkkihankkeen kokonaisprosessi toteutuneen aikataulun mukaisena (mm. ATT, 2012b; 2013a).

**Taulukko 24.** Esimerkkihankkeen tiedot, ohjeet ja käytännöt (ATT, 2012a; 2013b).

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Rakennustyyppi</i>                  | Asuinrakennus, kerrostalo.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>Rakennuttaja</i>                    | Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimisto (ATT).                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <i>Kohteen sijainti</i>                | Pukinmäki, Eskolantie 4, Helsinki.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <i>Kohteen laajuus</i>                 | 7 700 k-m <sup>2</sup> (rakennusoikeus on määrä käyttää kokonaan).                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <i>Massoittelu ja käyttö</i>           | 4 rakennusta, asemakaavan kerrosluku 5–7; puolet ARA-vuokrakohteena ja puolet asumisoikeus/Hitas-kohteena.                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>Hintataso</i>                       | Enintään ARAn hyväksymä hintataso (3 400 €/asm <sup>2</sup> ).                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <i>Hankintamenettely</i>               | EU-kynnysarvon ylittävä julkinen hankinta; kilpailullinen neuvottelumenettely (kolme neuvottelukierrosta).                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>Kilpailun tavoite</i>               | Löytää rakennuskohteelle arkkitehtonisesti ja kaupunkikuvallisesti korkeatasoinen ja toteutuskelpoinen suunnitteluratkaisu ja sen rakentaja asumisoikeus- ja vuokra-asuntojen rakentamiseksi.                                                                                                                                                             |
| <i>Osanottajat</i>                     | Konsortioon tulee nimetä vähintään päätoteuttaja (rakennusliike) sekä pää- ja arkkitehtisuunnittelutoimisto; alustava esitys taloteknisten töiden sekä rakenne-, LVI- ja sähkösuunnittelun osalta.                                                                                                                                                        |
| <i>Osallistumisehdot</i>               | Lainsäädännölliset velvoitteet, tekninen ja rahoituksellinen tilanne, tekninen suorituskyky.                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <i>Osanottajien arviointiperusteet</i> | Päätoteuttajan referenssit, pää- ja arkkitehtisuunnittelun referenssit, projektipäällikön referenssit, vastaavan työnohtajan referenssit, projektisuunnitelma (yhteistoiminta, varahenkilöjärjestelmä, laadunvarmistussuunnitelma, aikataulu, harmaan talouden torjuntasuunnitelma).                                                                      |
| <i>Tarjoajien määrä</i>                | Osallistumishakemuksen jättäneistä viisi parasta saavat alustavan tarjouspyynnön, muut karsiutuvat kilpailusta. Lopullinen tarjouspyyntö laaditaan neuvottelujen perusteella.                                                                                                                                                                             |
| <i>Tarjousten arviointiperusteet</i>   | Tarjoushinta, energiatehokkuus ja laadulliset tekijät (kaupunkikuvalliset ominaisuudet, asuntoratkaisut, piha- ja yhteistilojen ratkaisut, hiilijalanjälki, elinkaarikustannukset).                                                                                                                                                                       |
| <i>Tarjouspalkkio</i>                  | Ei makseta. Voittaja saa toimeksiannon ja toiseksi tulleelle maksetaan 40 000 euron (alv 23 %) palkkio.                                                                                                                                                                                                                                                   |
| <i>Urakan sisältö</i>                  | KVR. Asuinrakennusten ja niihin liittyvän piha-alueen rakentamisen rakennus-, LVIA-, sähkö- ja sprinklerityöt.                                                                                                                                                                                                                                            |
| <i>Esisopimusvaiheen sisältö</i>       | Jatkokehittäminen siten, että hankkeen kokonaislaajuus kasvaa. Kilpailuehdotuksen laadinnassa esiin nostettujen puutteiden korjaus (esteettömyysvaatimukset, pysäköintiratkaisun kaavan mukaisuus; puiden säilyttäminen tontilla).                                                                                                                        |
| <i>Urakan maksuperusteet</i>           | Rakennusluvan hankinta kohteen toteuttamiseksi. Työmaan laatusuunnitelma, työaikataulu, suunnitelma-aikataulu ja luovutusvaihetta ennakkoiva valmiusasteraportti.<br>Urakkahinta on tarjoushinta korjattuna esisopimusvaiheen laajuusmuutoksella (€/m <sup>2</sup> kiinnitetty). Yksi prosentti urakkahinnasta ehdollinen energiakulutuksen toteutumalle. |

**Taulukko 25.** Kilpailuohjelman asiakirjat (ATT, 2013b).

---

|                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Kilpailuohjelma-<br/>asiakirjat</i> | <ul style="list-style-type: none"><li>• SR-laatu kilpailun kilpailuohjelma</li><li>• Urakkatarjouspyyntö ja urakka-asiakirjaluettelo</li><li>• Tarjouslomake</li><li>• KVR-urakkaohjelma</li><li>• KVR-urakkaohjelman liitteet; tarkastusasiakirja, koh-<br/>teet ja mallit -listaus, ohje työmaan ympäristösuunni-<br/>telman laatimista varten sekä työmaan ympäristö-<br/>suunnitelma -malli, maksuerätaulukkomalli</li><li>• Hankeselostus</li><li>• Ohjeelliset tilaohjelmat, 2 kpl</li><li>• Laatutavoitteet</li><li>• Talotekniikan tavoitteet</li><li>• Rakennuttajan turvallisuusasiakirja</li><li>• Pohjarakennusluonnos liitteineen</li><li>• Rakennettavuusselvitykset</li><li>• Vanhat paalutuspöytäkirjat</li><li>• Vanhat paalutusten rakennepiirustukset, kuvatiedostot</li><li>• Neuvottelujen aikana kilpailijoiden esittämät kysymyk-<br/>set vastauksineen</li><li>• Asemakaava-tiedostokansio</li><li>• Tonttikartta</li><li>• Liikenteenohjaussuunnitelma-tiedostokansio</li><li>• Ohjeet energialaskelmien tekoon</li><li>• Rakennusvalvontaviraston yhteistilat -ohje</li><li>• Kilpailun arviointiperusteiden pisteytysmalli</li><li>• Hanketietolomake, 2 kpl</li><li>• Urakkahinnan korjaaminen takuilla, malli</li></ul> |
|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

---

**Taulukko 26.** Kilpailussa vaaditut ehdotusasiakirjat (ATT, 2013b).

|                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Arkkitehti-suunnitelmat</i>    | <p>Alueesta esitettävät suunnitelmat</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Korttelin liittyminen ympäristöön 1:1 000</li> <li>• Asemapiirros 1:500, jossa esitetään rakennusmassat, pihasuunnittelun periaatteet, pysäköinti, huolto- ja pelastusliikenteen periaatteet ja korkeussuhteet sekä pihakäytävien sijainti, sisääntulot ja liittyminen katuun</li> <li>• Aluejulkisivut 1:500</li> <li>• Alueleikkaus 1:500, maastoleikkaus pohjois- ja eteläsuunnassa</li> </ul> <p>Tonteista esitettävät suunnitelmat</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asuntopohjia kalustettuina 1:100 keskenään erilaisista rakennuksista, huoneiston sijainti esim. sijaintikaavion avulla. Pohjapiirustuksista on ilmentävä tilan nimi, mitattu pinta-ala ja tarjoukseen sisältyvät kiintokalusteet. Ikkuna-aukot tulee esittää.</li> <li>• Julkisivut ja tarvittavat leikkaukset 1:200</li> <li>• Julkisivuote 1:50, jossa pintamateriaalit ja värit</li> <li>• Havainnekuvat vähintään 2 kpl (ulkoperspektiivikuva tai aksonometria)</li> <li>• Pinta-ala- ja tehokkuustiedot laajuuslaskelmalomakkeella</li> <li>• Rakennustapaselostus</li> <li>• Huoneselostus, pääasialliset pintamateriaalit ja varustus esitetään tiloittain</li> </ul> |
| <i>Rakenne-suunnitelmat</i>       | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leikkauspiirustukset 1:200</li> <li>• Rakennetyypit</li> <li>• Tärkeimpien rakenteiden periaateratkaisut</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| <i>LVI-suunnitelmat</i>           | <ul style="list-style-type: none"> <li>• LVIA-järjestelmäselostus</li> <li>• Energiaselvitys (eli selvitys rakennuslupaa varten), selvitys energiatehokkuudesta</li> <li>• Suunnitelmanmukaiset energiankulutustavoitteet</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <i>Sähkötekniset suunnitelmat</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sähkötekkinen selostus</li> <li>• Sähköenergian kulutusselvitys</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <i>Muut asiakirjat</i>            | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alustava aikataulu</li> <li>• Kohdekohtainen laadunvarmistusasiakirja, laatu- ja työturvallisuussuunnitelmat</li> <li>• Kosteudenhallintasuunnitelma</li> <li>• Huoltosuunnitelma</li> <li>• Päärakenteiden ja järjestelmien määrälaskelma</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

## 4.4.2 Allianssihankkeiden prosessit

### 4.4.2.1 Allianssi yhdellä kehityssopimuksella

Allianssihankkeiden prosesseja on esitelty pääpiirteissään kuvassa 23. Niistä ensimmäinen eli menettely C, jota tässä nimitetään allianssiksi yhdellä kehityssopimuksella, etenee pääpiirteissään seuraavasti:

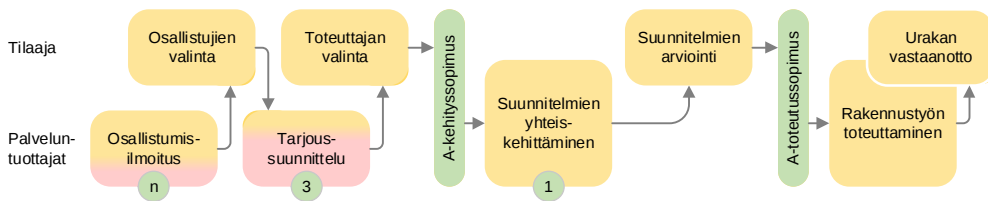
- **Valintavaihe.** Tilaaaja järjestää kilpailun, jossa tarjoajien tulee osoittaa kilpailukykyä hankekohtaisesti määräytyvin kriteerein: kyvykkyyden lisäksi kilpailussa otetaan valituilta osin huomioon tarjoussuunnitelmat ja hinnat. Tilaaaja tekee toteuttajan valinnan kilpailijoiden toimittamien tarjousten kokonaistaloudelliseen edullisuuteen perustuen, ja yksi toimija jatkaa tilaajan kanssa yhdessä toteutettavaan kehitysvaiheeseen. Tarjoajien määrää on jo ensivaiheessa rajattu osallistumisilmoitusten arvioinnin perusteella.
- **Kehitysvaihe.** Valittu konsortio käynnistää suunnittelu- ja toteutusratkaisun kehittämisen tavoitteena sellainen valmiustaso, että sen pohjalta voidaan tehdä sopimus hankkeen toteuttamisesta. Konsortion yhteistyö tilaajan kanssa on avointa, eli mm. hinnoittelu on läpinäkyvää ja päätöksentekoperusteet myös tilaajan käytettävissä kattavasti ja alkuperäisinä. Kehitysvaihe perustuu sopimukseen, jotta toiminnan pelisäännöt ovat osapuolten tiedossa ja ne voivat niihin sitoutua (korvauserusteet jne.).
- **Toteutusvaihe.** Toimijat sopivat toteutusvaiheen käynnistämisestä, mikäli he katsovat kehitysvaiheen tavoitteet saavutetuiksi eli onnistunut projekti-ratkaisu on kyetty kehittämään siten, että osapuolet ovat päässeet yhteisymmärrykseen mm. sen toteutuksen tavoitekustannuksesta. Osapuolten yhteistyö jatkuu yhteisellä organisaatiolla ja yhteisellä riskin kantamisella yli toteutusvaiheen, eli allianssin tapauksessa hankkeen riskejä ei siirretä sopimuksella vain urakoitsijan kannettavaksi.

Suomalaisissa allianssihankkeissa on totuttu käyttämään korostetusti kyvykkyyttä painottavaa valintaa, jossa ehkä vain palveluntuottajien yritystason yleiskustannusta ja kateodotetta summaava palkkio edustaa konkreettisesti hintatarjousta (Lahdenperä, 2015c). Näin menetellen sittemmin kehitysvaiheessa koostettua suorien kustannusten arviota korotetaan palkkio-osuudella, jolloin siitä saadaan tavoite-kustannus. Tässä kuvattavassa menettelyssä kilpailutekijöitä on ajateltu laajennettavan jo tarjousvaiheessa osittain tehtävään suunnitteluun ja hinnoitteluun.

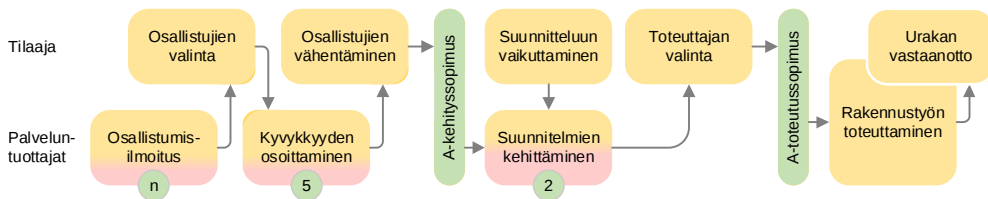
Myös koko hankkeen suunnittelu tarjousvaiheessa on mahdollista, jolloin kyseessä olisi eräänlainen takuutaso, jota lähdetään kehitysvaiheessa parantamaan yhdessä tilaajan kanssa: esimerkiksi maksimihinta, jota ei tulla ylittämään. Suunnitteluperusteiden kyseenalaistaminen ja muuttaminen yhteiskehittämisen vaiheessa aiheuttaa kuitenkin todennäköisesti sen, että tarjoustyötä tehdään osin turhaan ratkaisujen muuttuessa. Hintatarjoukset eivät näiltä osin ole siis myöskään edustava päätöksentekoperuste, eli aikaisen hinnoittelun ja yhteiskehittämisen välillä on periaatteellinen ristiriita. Mielekkäämpää voikin olla se, että kilpailu kos-



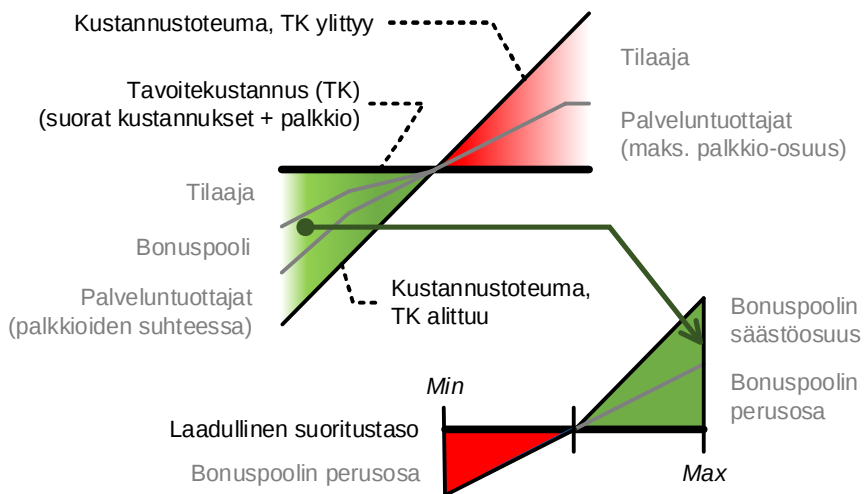
### C. Allianssi yhdellä kehityssopimuksella



### D. Allianssi kahdella kehityssopimuksella



**Kuva 23.** Allianssiurakan hankinta- ja toteutusprosesseja (numerot ovat esimerkkejä kilpailevien tarjoajien määristä eri vaiheissa).



**Kuva 24.** Allianssin maksuperustemallin periaatehavainnollistus.

Yhteinen riskin kantaminen toteutusvaiheessa heijastuu myös kehitysvaiheeseen, vaikka tavoitekustannus ja kannustinjärjestelmä ohjaavat toimintaa varsinaisesti vasta toteutusvaiheessa. Tietoisuus sopimuksen ehdoista ohjaa yhteistyöhön, riskien minimointiin ja eri tekijöiden huomioon ottamiseen kokonaisvaltaisesti hankkeen eduksi. Osapuolet ovat yhteisesti vastuussa hankkeen suunnittelusta ja

toteutuksesta ja tekevät työn yhteisellä organisaatiolla. Loogisesti myös allianssi-sopimukset ovat yleensä monen toimijan yhteisiä sopimuksia, eli ketjutettujen tai rinnakkaisten sopimusten sijaan vähintäänkin suunnittelija, urakoitsija ja hankkeen tilaaja ovat saman sopimuksen osapuolia.

#### 4.4.2.2 Allianssi kahdella kehityssopimuksella

Allianssihankkeiden etenemistä hahmottelevan kuvan 23 jälkimmäinen prosessi eli vaihtoehto D mallintaa allianssia kahden konsortion kehityssopimuksella. Sen kulkua voidaan suuntaa-antavasti kuvata yhdistelmänä jo aiemmin esiteltyjä vaiheita:

- **Valintavaihe.** Vaiheen sisältö jäljittelee prosessin B valintavaihetta.
- **Kehitysvaihe.** Vaiheen sisältö jäljittelee prosessin B kehitysvaihetta.
- **Toteutusvaihe.** Vaiheen sisältö vastaa prosessin C toteutusvaihetta.

Hankinta etenee luontevasti siten, että sopimus pohjaiseen kehittämiseen valitaan kevennetyllä, ehkä vain kyvykkyyttä painottavalla kilpailumenettelyllä kaksi konsortiota. Kyvykkyysvalinta on riittävä, koska kehitysvaihe on kilpailullinen ja koskee itse projektiratkaisua. Menettelyn on luonteva vastata erityisesti kriteereiltään suomalaisissa allianssihankkeissa käytettyä menettelyä (ks. Lahdenperä, 2012), vaikka kilpailun vaiheistus voi poiketa tästä mm. jatkoon pääsevien määrän johdosta. Näin ollen kyvykkyuden osoittaminen tarkoittaa organisaation nimeämistä ja toimijoiden näyttöjä onnistumisista, toteutuksen ja johtamisen periaatteita sekä esimerkiksi tilaajan kustannusarvion kriittistä arviointia. Lisäksi yhteistyökykyä ja osaamista yleisemmin arvioidaan myös hankkeen haasteisiin paneutuissa valintatyöpajoissa.

Kilpailun luonne voi kuitenkin poiketa prosessista B sikäli, että nyt tavoiteltavan allianssin myötä toiminnan ja kustannusten on oltava aina kokonaisuudessaan läpinäkyviä. Näin ollen mahdollisesti tarjottavat hintakomponentit – tyypillisesti vähintäänkin konsortion palkkio – voivat tulla sellaisenaan osaksi avointen kustannusten perusteella tehtävää jatkokehitystyötä, eikä kyse ole vain vaikkapa aiemmista toteumatiedoista. Allianssissa kustannusten todentaminen toteutetaan usein ulkoisen kustannusauditoinnin avulla. Toki sama avoimuus oli oletus prosessissa B, mutta SR-muoto ei sinällään estä myös toisenlaisten sovellusten kehittämistä.

Toteutusmuoto voi heijastua myös kehitysvaiheeseen. SR-hankkeessa prosessissa B kehitysvaihe sisältää tilaajan kuulemista ja tilaajapalautetta eikä kyse ole yhteiskehittämisestä siinä merkityksessä, mitä allianssissa lähtökohtaisesti tavoitellaan. Allianssin yhteinen toteutusvaihe kun edellyttää läheistä yhteistyötä myös kehitysvaiheessa. Silti kahden kilpailevan konsortion mukana olo rajoittaa nyt yhteistyötä, eikä siinä voida yltää prosessin C tasolle. Kilpailusalaisuuksien säilyttämisen näkökulmasta aito yhteiskehittäminen on mahdotonta, ellei eri tiimeihin osoiteta tilaajalta eri asiantuntijoita, mikä voi taas toimia kilpailijoiden tasapuolisen kohtelun periaatetta vastaan. Monien asiantuntijoiden tarve myös tekisi prosessista raskaan eikä siksi ole yleisesti realistinen ratkaisu. Haasteellisuudesta huolimatta kyseessä on pääpiirteissään oletusarvoisesti käytettävä, suositeltu malli (DIT, 2015b), vaikka vastakkaisiakin suosituksia on usein esitetty (mm. DTF, 2006).

#### 4.4.3 Toteutusmuotojen ja prosessien käyttötilanteet

Erilaiset hankeprosessit soveltuvat luonnostaan eri tilanteisiin. Tilaajat ja hankkeet ovat erilaisia, samoin niiden tavoitteet ja toteutuksen reunaehdot. Taulukko 27 listaa erilaisten menettelytapojen käyttöön liittyviä vaikuttimia tilaajan näkökulmasta: väliotsikoiden V viittaa valintavaiheen vaihtoehtoihin ja K ja T kehitys- ja toteutusvaiheisiin. Esitys kuvaa kuitenkin vain osatotuuden asiasta, sillä kokonaisuus – eli hankeprosessi – on aina jotain muuta kuin pelkästään osiensa summa. Yksittäisen tekijän merkitys voi korostua tai mitätöityä osana kokonaisprosessia. Pääpiirteissään vastaavia menettelyjä sovelletaan myös eri prosesseissa hieman eri tavoin. Taulukon arviot ovatkin näin ainoastaan suuntaa-antavia yleistyksiä.

Tarkasteltaessa vaihtoehtoja kokonaisprosessien tasolla erottuu malli A muista siinä, että sitä on käytetty puukerrostalorakentamisessa, kuten aiemmasta esimerkiksikin selviää. Lisäesimerkkejä menettelystä yleisemmin tarjoavat mm. Seppänen (1997), Pernu (1995; 1998) ja Pernu et al. (1998). Vaihtoehto C on puolestaan sukua Suomessa toistaiseksi käytetylle allianssiprosessille, vaikka se soveltaa jälkimmäistä enemmän erilaisia kilpailuelementtejä. Sen sijaan ei ole tiedossa, että kahden tiimin kehitysvaiheisiin pohjautuvia prosesseja B ja D olisi käytetty Suomessa, mutta niidenkin osalta löytyy esimerkkejä maailmalta. Mallit on kuitenkin haluttu tuoda esille havainnollistamaan niitä monia mahdollisuuksia, joita on olemassa, kun ratkaisua haetaan kasvavassa määrin nimenomaan kilpailullisista, osaamista yhdistävistä hankeprosesseista.

**Taulukko 27.** Vaihtoehtoisten menettelytapojen vertailua prosessin vaiheittain.

| V1. Tarjoussuunnittelu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | V2. Kyvykkyyden osoittaminen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Hyödyntää laaja-alaisen kilpailun vaikutuksen parhaimman toteutusratkaisun etsimiseksi</li> <li>+ Tilaajan tarve ja vaatimukset ohjaavat voimakkaasi suunnittelua ja toteutusta</li> <li>– Edellyttää suhteellisten yksikäsitteiden vaatimusten esittämistä tarjouspyynnössä</li> <li>– Vaatimukset voivat epähuomiossa asettaa epätarkoituksenmukaisia reunaehdoja suunnittelulle</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Varmistaa hankkeelle kyvykkäät resurssit ja toimivan konsortion luoden perustan onnistumiselle</li> <li>+ Keventää tarjoussuunnittelua edellyttävän kilpailun palveluntuotajille asettamaa kuormaa</li> <li>– Jättää toimivan ratkaisun etsimisen määrällisesti rajoitetun kilpailun ja suunnittelun varaan</li> <li>– Lisää tilaajan kuormaa ja pidentää mahdollisesti hankkeen läpime-<br/>non kokonaiskestoa</li> </ul> |
| K1. Ohjattu kehittäminen (2 tiimiä)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | K2. Yhteiskehittäminen (1 tiimi)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Mahdollistaa tilaajan osallistumisen (osin) vuorovaikutteiseen kilpailulliseen valintaan</li> <li>+ Motivoi mukana olevia kandidaatteja erityisen tehokkaasti etsimään parasta projektiratkaisua</li> <li>– Rinnakkaistoimijoiden mukaan ot-</li> </ul>                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>+ Mahdollistaa suunnitteluratkaisun optimoinnin vaatimusten tarkoituksenmukaisuuksia kyseenalaistaen</li> <li>+ Osaamisen aito yhdistäminen ja avoin ja luottamuksellinen yhteistyö edistävät innovatiivisuutta</li> <li>+ Mahdollistaa riskien kokonaisval-</li> </ul>                                                                                                                                                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| taminen rajoittaa tiiviin yhteistyön<br>hyödyntämistä kehittämisessä<br>– Voi vaatia osin kaksinkertaista<br>miehitystä tilaajalta (tasapuolinen<br>kohtelu, ratkaisujen salassapito)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | taisen tunnistamisen ja minimoin-<br>nin eikä tyydy osaoptimointiin<br>– Hinnoittelu jää avoimen prosessin<br>ja ulkoisen arvioinnin varaan kilpai-<br>luvaikutuksen ollessa rajallinen                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>T1. SR-toteutus</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>T2. Allianssitoteutus</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| + Tilaaja välttyy kustannuslityksiltä<br>ja yllätyksiltä riskien ollessa siirret-<br>tynä palveluntuottajille<br>+ Minimoi tilaajalta vaaditun osallis-<br>tumisen ja työpanoksen toteutus-<br>vaiheessa<br>– Tilaaja ei (yleensä) hyödy toteu-<br>tusvaiheessa tehdyistä parannuk-<br>sista ja onnistumisista<br>– Riskien siirto toimittajille on omi-<br>aan lisäämään riskipreemioita ja<br>hankkeen kustannuksia tilaajalle<br>– Tilaaja maksaa riskipreemion<br>myös kustannusarvioon hinnoitel-<br>luista toteutumattomista riskeistä | + Kannustaa tilaajalle edullisten<br>ratkaisujen hakemiseen vielä to-<br>teutusvaiheessa<br>+ Mahdollistaa tarpeelliseksi katsotut<br>muutokset suhteellisen joustavasti<br>vielä myöhäisessä vaiheessa<br>+ Yhteinen riskien kantaminen pie-<br>nentää palveluntuottajien ris-<br>kipreemioita ja palkkioita<br>+ Tilaajan maksaa vain toteutuneet<br>kustannukset eikä toteutumatto-<br>mista riskeistä<br>– Tilaajalle tulevat kustannukset<br>ovat lopullisesti tiedossa vasta<br>hankkeen päätyttyä |

Mikä prosesseista sitten sopii mihinkin tilanteeseen? Jos tilaajan tarve ja hankkeelle asetettavat vaatimukset ovat suhteellisen yksikäsitteisesti määriteltävissä, ja neuvottelullinen kilpailuvaihe riittää kysynnän ja tarjonnan kohtaamisen varmistamiseen, on kilpailun keskittäminen valintavaiheeseen ja työn teettäminen SR-hankkeena usein mielekästä. Näin silloin, kun hankkeeseen ei liity tavanomaisesta poikkeavia riskejä ja epävarmuus liittyy lähinnä toimittajien osaamisen varassa olevaan rakennejärjestelmään ja sen toimivuuteen ja toteutettavuuteen osana hanketta.

Jos tarpeenmäärittely pelkästään markkinavuoropuhelun keinoin on sen sijaan vaikeaa ja onnistuu vain sitomalla tulevat käyttäjät tai muut sidosryhmät hankkeen suunnitteluun, osapuolten yhteinen kehitysvaihe korostuu suhteellisen nopean kilpailuvaiheen sijaan. Myös erityiset vaatimukset ja mm. tavoitteet uudentyypisistä ratkaisuksista sekä yleisesti hankkeen koerakentamislunne puoltavat kehitysvaiheen painottamista. Se antaa aikaa ja mahdollistaa paremmin hankkeen yhteiskehittämisen. Samaan ratkaisuun voi ajaa tietoisuus siitä, että hankkeen reunaehdoissa on pelivaraa ja hankeratkaisua on mahdollista optimoida yhteistyössä.

Jos haasteellinen puurakennejärjestelmän toteutus yhdistyy muutoinkin poikkeukselliseen hankkeeseen, kasvavat riskit oleellisesti. Jos riskit ovat sellaisia, että ne voidaan hallita parhaiten hankkeen avainosapuolten yhteistyössä, voi allianssi olla hankkeen oikea toteutusmuoto. Käytännössä tämä edellyttää sitä, että tilaajalla on mahdollisuus käyttää hankkeeseen tavanomaista enemmän aikaa ja tilaajalla on myös sellaista osaamista, joka tuottaa lisäarvoa hankkeen toteutukseen. Allianssi on paikallaan erityisesti silloin, kun hankkeen riskejä ei kyetä minimoimaan vielä kehitysvaiheessa vaan toteutusvaiheeseen jää tavanomaista

enemmän aitoa epävarmuutta, minkä toteutumiseen mikään osapuoli ei voi juuri vaikuttaa.

Allianssin osalta kehitysvaiheen läpivienti yhden tiimin kanssa on loogista tavoiteltaessa avointa yhteistyötä. Monien sidosryhmien sitominen kahden tiimin kilpailulliseen kehittämiseen on vaikeaa. Yhden tiimin kehitysvaihe mahdollistaa luontevasti myös vaiheittaisen etenemisen tiimin kokoamisessa: kriittinen osaaminen tuodaan mukaan ensin ja tätä näkemystä hyödyntäen valitaan muut tiimin toimijat, jolloin suunnittelija, urakoitsija ja järjestelmätoimittaja voivat tulla mukaan eri aikaan (vrt. Kananen & Lahdenperä, 2013).

Toisaalta kahden tiimin kanssa rinnakkain tehtävät kehitysprosessit taas konkretisoivat kilpailun olemassaolon ja voivat toimia hankkeen eduksi myös siten, että tilaajalle tarjoutuu näin mahdollisuus valistuneempaan päätöksentekoon ennen lopullisen projektiratkaisun ja kumppanin valintaa. Menettelyä voisi puoltaa esim. kahden erityyppisen puurakenneljärjestelmän kehittäminen silloin, kun halutaan katsoa niiden koko kehityspotentiaali ennen lopullista päätöksentekoa. Yhden ja kahden tiimin mukanaoloa kehitysvaiheessa on käsitelty julkaisussa Lahdenperä (2013).

Myös hankekoko vaikuttaa mielekkään toteutustavan valintaan. Hankekoon tulee olla riittävä, että alkuvaiheen investoinnit tarjousprosessiin ovat mielekkäitä. Suunnittele ja rakenna -hankkeissa pitkälle viety tarjoussuunnittelu tekee tarjoamisesta raskaan, ja hankkeen palveluntuottajille muodostuvan tulo-odotteen tulee olla riittävä mielenkiinnon herättelemiseksi. Allianssin osalta korostuu erityisesti oletettu kehityspotentiaali, joka suurissa ja haastavissa hankkeissa todennäköisimmin tekee tilaajan satsauksen organisaatioon kannattavaksi. Luonnollisesti palveluntuottajien ja potentiaalisten tarjoajien määrä sekä yleinen markkinatilanne vaikuttavat kilpailumenettelyn ja siten edelleen toteutusmuodon valintaan.

## 4.5 Lopuksi

Puurakentamisen yleistyminen vaatii monia toimenpiteitä. Hankkeiden tilaajien osalta keskeistä on mm. kehittämistä edistävien hankinta- ja toteutusprosessien käyttö. Prosessin tulee olla ensivaiheessa sellainen, että siinä hyödynnetään toimittajien osaamista, sillä muutoin hankkeissa ajaututaan ongelmiin, jotka toimivat puurakentamisen kilpailukyyn kehittymistä ja sen yleistymistä vastaan. Toimivan prosessin käytöllä on puolestaan mahdollisuus nostaa kilpailukykyä.

Toimijoiden yhteisesti hyväksymä ja ymmärtämä prosessi helpottaa kilpailujen järjestämistä ja niihin osallistumista. Tietyn toimintamallin laajamittainen käyttö helpottaisi yhteisen näkemyksen muodostamista ja tekisi käytännöt tunnetuksi alalla. Tämä lisäisi ennakoitavuutta ja halukkuutta osallistua kilpailuihin. Näin oppiminen olisi tehokkaampaa ja alalle olisi luotu edellytykset kehittyä. Tämä taas tuottaa tilaajille parempaa tulosta ja edistää ajan myötä puurakentamisen kilpailukykyä.

Vaikka hankkeet ovat erilaisia ja vaativat siten erilaisia toimintatapoja, tavanomaiset kerrostalohankkeet ovat siksi samankaltaisia, että ne voivat tukeutua samanlaisiin hankintakäytäntöihin. Esimerkiksi puisten asuinkerrostalojen raken-

taminen on kokonaisuutena yksinkertaista toimintaa rakentamisen koko kentässä, vaikka puurakennejärjestelmien mukaan ottaminen tuo siihen haastetta. Näin ollen siinä olisi luontevaa tukeutua esimerkkinä esitettyyn ja suhteellisen yksinkertaiseen SR-menettelyyn, joka hyödyntää kilpailullista neuvottelumenettelyä. Näin tavoitteet vakioidusta, tarjoajien osaamista hyödyntävästä prosessista toteutuisivat.

Projektiallianssi on ensisijaisesti hyvin haastavien hankkeiden malli. Edellä kuvattu esimerkkihanke oli kooltaan n. 20 miljoona euroa. Allianssia on käytetty myös tämän kokoisiin ja tätä pienempiin hankkeisiin silloin, kun niihin liittyy erityisiä haasteita. Silti esimerkiksi DIT (2015b) ehdottaa allianssin käytön kynnysehdoksi noin kaksikertaista kokoa esimerkkihankkeeseen nähden. Allianssi ei siksi ole ensisijainen, laajalti sovellettavissa oleva hankintamuoto, mutta tarjoaa vaihtoehdon silloin, kun kyse on poikkeuksellisen haastavista puurakentamishankkeista.

## **5. Energiatehokkaan Lean-puukerrostalorakentamisen tuottavuus- ja talousvaikutukset**

Tässä luvussa analysoidaan erityisesti Lean-rakentamisen vaikutusta puurakenteisten asuinkerrostalojen taloudellisuuteen suhteessa perinteiseen puukerrostalotuotantoon (esimerkkikohteet A ja B). Lisäksi tarkastellaan erikseen puurakenteisten suurelementtien (esimerkkikohde A) ja puurakenteisten tilaelementtien (esimerkkikohde B) tuottavuusvaikutuksia työmenekin kautta sekä puukerrostaloasukkaiden tyytyväisyyttä sisäolosuhteisiin (esimerkkikohde A).

Tutkimustulokset perustuvat kirjallisuusselvitykseen, haastatteluihin sekä taloudellisuusanalyysiin kahden tapaustutkimuksen ja asukastytyväisyyskyselyyn yhden tapaustutkimuksen keinoin.



**Kuva 25.** Esimerkkikohde A:n kuvaus (Kivistön puukerrostalo Vantaalla).

## 5.1 Puurakenteisen kerrostalon Lean nZEB -konsepti

Tässä alaluvussa tarkastellaan aluksi yleisiä Lean-metodologisia vaatimuksia, sen jälkeen niiden vaikutusta työn tuottavuuteen ja lopuksi analysoidaan energiatehokkuus- ja talousvaikutuksia tapaustutkimus A:n valossa.

### 5.1.1 Yleiset Lean-vaikutukset

Projektisuunnittelun hankinnan tulee perustua suunnitteluryhmän hyvään kokeemukseen ja yhteistyökykyyn. Myös suunnittelun ja rakentamisen samanaikainen hankinta tai ns. projektialianssin soveltaminen on usein perusteltua.

Puisten lähes nollaenergiarakennusten Lean-rakentaminen jakautuu

- suunnitteluun (suunnittelukonseptit, prosessisuunnittelu, tuotesuunnittelu)
- teolliseen esivalmistukseen
- rakentamiseen
- käyttöön ja ylläpitoon.

Lean-hankesuunnittelu perustuu seuraaviin vaatimuksiin (Dave et al., 2015):

- asiakasarvojen määrittelyn tukeminen
- riskien hallinnasta sekä energiatehokkuus- ja sisäolosuhdetavoitteiden saavuttamisesta vastaavan henkilön nimeäminen mahdollisimman aikaisessa vaiheessa
- säännöllisen ja yhteistyömuotoisen suunnitteluprosessin soveltaminen pääsuunnittelijan ja puujärjestelmäsuunnittelijoiden roolien ollessa korostuneina
- standardoitujen 3D-liitosten ja toistensa kanssa yhteensopivien järjestelmäratkaisujen valinta yksityiskohtien määrä minimoiden ja ratkaisujen saatavuus varmistaen
- elementtisuunnittelun viimeistely ennen valmistuksen aloitusta
- kuljetus- ja nostonajojen huomioon ottaminen
  - tarkka työmaatyön ja ajankäytön suunnittelu ensimmäisen kerroksen toteutuksesta.

Pääasiallisia tuotannon hallintakeinoja ovat prosessisuunnittelu ja tuotannonohjaus.

### 5.1.2 Tuottavuusvaikutukset

Taulukossa 28 esitetään tilaelementtien ja niitä vastaavien suurelementtien käyttöön perustuvat työmenekit suunnittelun, tehdastuotannon ja työmaatyön osalta. Lisäksi esitetään kokonaisasennusaika lattianeliömetriä kohti. Esitetyt arviot perustuvat suunnittelutyön ja tehdastyön osalta haastattelututkimukseen ja kohdetietoon sekä työmaatyön osalta lisäksi RATU-tuotantotietoon.

**Taulukko 28.** Tilaelementtien ja niitä vastaavien suurelementtien käyttöön perustuvat työmenekit suunnittelun, tehdastuotannon ja työmaatyön tunnit huoneeliömetriä kohti.

|                                     | Suunnittelu              | Tehdas-<br>tuotanto      | Rakentaminen             | Yhteensä                 |
|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Ulkoseinät, sisäseinät ja alapohjat | tth/huone-m <sup>2</sup> | tth/huone-m <sup>2</sup> | tth/huone-m <sup>2</sup> | tth/huone-m <sup>2</sup> |
| <b>Suurelementti</b>                |                          |                          |                          |                          |
| RATU-työmenekki                     | 0,40                     | 1,05                     | 1,00                     | <b>2,45</b>              |
| Todellinen työmenekki (Tapaus A)    | 0,40                     | 0,80                     | 1,10                     | <b>2,30</b>              |
| Lean-arvio (*)                      | 0,35                     | 0,85                     | 0,85                     | <b>2,05</b>              |
| Asennusaika                         |                          |                          | 0,7–0,9                  |                          |
| <b>Tilaelementit</b>                |                          |                          |                          |                          |
| RATU-työmenekki                     | 0,30                     | 1,60                     | 0,20                     | <b>2,10</b>              |
| Todellinen työmenekki (Tapaus B)    | 0,30                     | 1,65                     | 0,25                     | <b>2,20</b>              |
| Lean-arvio (**)                     | 0,30                     | 1,45                     | 0,15                     | <b>1,90</b>              |
| Asennusaika                         |                          |                          | 0,06–0,08                |                          |

\*) Dave et al. (2015), Sorsa (2015)

\*\*) Dave et al. (2015), Ruuska & Häkkinen (2016)

Analyyisin mukaisesti tilaelementin kokonaistyöntuottavuus on 10–15 % parempi kuin suurelementein toteutetun vastaavan kokonaisuuden. Myös tilaelementtien asennusaika on lyhyempi. Lean-metodologian mukainen kokonaistyöntuottavuus on edelleen 15–20 % parempi kuin tavanomainen kokonaistyön tuottavuus.

### 5.1.3 Energiatohkeuus ja kustannusvaikutukset

Taulukossa 29 tarkastellaan uuden puurakenteisen lähes nollaenergiarakennuksen (Kivistön asuinkerrostalo) vaatimusten, suunnittelun, rakentamisen ja käytön arvoja.

**Taulukko 29.** Kivistön asuinkerrostalon vaatimusten, suunnittelun, rakentamisen ja käytön arvoja energiatohkeuden, taloudellisuuden ja käyttäjätyytyväisyyden näkökulmista.

| Asuinala:<br>10 120 m <sup>2</sup>     | Yksikkö                            | Minimi                                    | Suunnittelu                       | Suunnittelu                       | Rakenta-<br>minen                 | Käyttö                |
|----------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| <b>Laskentajakso:</b><br>30 vuotta     |                                    | Määräys-<br>taso ja<br>vertailuar-<br>vot | Tavanomaiset<br>nZEB-arvot        | Lean<br>nZEB -arvot               | Toteutuneet<br>nZEB-arvot         | 1.1.–<br>31.12.2016   |
| <b>Energiatohke-<br/>uus</b>           |                                    | Laskennal-<br>linen <sup>1)</sup>         | Laskennalli-<br>nen <sup>1)</sup> | Laskennalli-<br>nen <sup>1)</sup> | Laskennalli-<br>nen <sup>1)</sup> | Mitattu <sup>2)</sup> |
| Energialuokka                          | class                              | C                                         | B                                 | B                                 | B                                 |                       |
| Laskennallinen<br>E-luku <sup>1)</sup> | kWh/m <sup>2</sup>                 | 130                                       | 92                                | 92                                | 92                                |                       |
| Tilojen lämmitys                       | kWh/m <sup>2</sup>                 | 45                                        | 15                                | 15                                | 15                                | 32 <sup>3)</sup>      |
| Käyttöveden<br>lämmitys                | kWh/m <sup>2</sup>                 | 35                                        | 20                                | 20                                | 20                                | 28 <sup>4)</sup>      |
| Kiinteistösähkö                        | kWh/m <sup>2</sup>                 | 23                                        | 20                                | 20                                | 20                                | 14                    |
| Käyttäjäsähkö                          | kWh/m <sup>2</sup>                 | 20                                        | 15                                | 15                                | 15                                | 15                    |
| Kokonais-<br>energiantarve             | kWh/m <sup>2</sup>                 | 123                                       | 70                                | 70                                | 70                                | 90                    |
| Uusiutuvan<br>aurinkosähkön<br>osuus   | kWh/m <sup>2</sup>                 | 0                                         | 18,5                              | 18,5                              | 18,5                              | 1,9                   |
| <b>Rakenteelliset<br/>tavoitteet</b>   |                                    |                                           |                                   |                                   |                                   |                       |
| Alapohjan läm-<br>pöhäviöt             | W/m <sup>2</sup> K                 | 0,16                                      | 0,09                              | 0,09                              | 0,09                              |                       |
| Ulkoseinien<br>lämpöhäviöt             | W/m <sup>2</sup> K                 | 0,17                                      | 0,12                              | 0,12                              | 0,12                              |                       |
| Yläpohjan läm-<br>pöhäviöt             | W/m <sup>2</sup> K                 | 0,09                                      | 0,08                              | 0,08                              | 0,08                              |                       |
| Ikkunoiden<br>lämpöhäviöt              | W/m <sup>2</sup> K                 | 1,00                                      | 0,59                              | 0,59                              | 0,59                              |                       |
| Tiiviys                                | m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> h) | 2,00                                      | 0,60                              | 0,60                              | 0,60                              |                       |
| <b>Talotekniset<br/>tavoitteet</b>     |                                    |                                           |                                   |                                   |                                   |                       |
| Energiatohkeas<br>valaistus            | kyllä/ei                           | k                                         | k                                 | k                                 | k                                 |                       |

| <b>Asuinala:</b><br>10 120 m <sup>2</sup>   | <b>Yksikkö</b>      | <b>Minimi</b>     | <b>Suunnittelu</b> | <b>Suunnittelu</b> | <b>Rakenta-<br/>minen</b> | <b>Käyttö</b> |
|---------------------------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------|
| Säädettävä<br>ilmanvaihto                   | kyllä/ei            | e                 | k                  | k                  | k                         |               |
| Ilmanvaihdon<br>lämmön talteen-<br>otto     | %                   | 65                | 80                 | 80                 | 80                        |               |
| Rakennusauto-<br>maation taso               |                     | tavan-<br>omainen | korkea             | korkea             | korkea                    |               |
| <b>Kustannus-<br/>tehokkuus</b>             |                     |                   |                    |                    |                           |               |
| Investointikus-<br>tannusero                | €/m <sup>2</sup>    | 0                 | 130                | 115                | 115                       |               |
| Vuotuisten ener-<br>giakustannusten<br>erot | €/m <sup>2</sup> ,a | 0                 | -8                 | -8                 | -8                        |               |
| Vuosikustannus-<br>ero (30 v)               | €/m <sup>2</sup> ,a | 0                 | -4                 | -5                 | -5                        |               |
| <b>Sisäolosuhteet</b>                       |                     |                   |                    |                    |                           |               |
| Sisäilmaluokka                              | Fisiaq <sup>6</sup> | S2                | S2                 | S2                 | S2                        |               |
| Tyytyväisyys<br>lämpöoloihin                |                     | Hyvä              | Hyvä               | Erinomainen        | Erinomainen               |               |
| Tyytyväisyys<br>sisäilman laatuun           |                     | Hyvä              | Hyvä               | Erinomainen        | Erinomainen               |               |
| Tyytyväisyys<br>akustiikkaan                |                     | Hyvä              | Hyvä               | Erinomainen        | Erinomainen               |               |

1) E-luku on laskennallinen luku nettoalaa kohti, joka on bruttoala miinus ulkoseinien rakennusosa-ala.

2) Mitattu kulutus on laskettu rakennuksen bruttoalaa kohti (17730 m<sup>2</sup>), joka sisältää autohallin (netto-ala on tyypillisesti noin 10 % pienempi).

3) Tilojen lämmitykseen sisältyy lämmöntuoton häviöt (3,3 kWh/brm<sup>2</sup>).

4) Mitattu käyttöveden lämmitys sisältää käyttöveden kiertojohdon häviöt (12 kWh/brm<sup>2</sup>).

Taulukon 29 tulosten mukaan Lean-metodologia on suositeltava, laaja-alaiseen yhteistyöhön perustuva mahdollisuus saavuttaa asetetut tavoitteet kustannustehokkaasti. Puurakenteisen lähes nollaenergiarakennuksen kokonaisrakennuskustannus on tapaustutkimuksessa A noin 130 €/m<sup>2</sup> kalliimpi kuin tavanomaisen puukerrostalon. Lean-metodologian soveltaminen merkitsisi noin 15 €/m<sup>2</sup> vähennystä ko. lisäkustannukseen johtuen kokonaistyöntuottavuuden parantumisesta. Tällöin elinkaarikustannuksissa saavutettaisiin noin 5 €/m<sup>2</sup> vuotuinen keskimääräinen säästö 30 vuoden laskentajaksolla energiakustannusten alentuessa noin 8 €/m<sup>2</sup>,a. Myös asuntojen jälleenmyyntiarvo ja asukastytyväisyys ovat hieman korkeammat kuin minimivaatimukset täyttävässä asuinkerrostalossa.

### 5.1.4 Sisäolosuhteet

Asukkaiden tyytyväisyyttä sisäolosuhteisiin selvitettiin kyselyllä, joka kohdistui sekä uuteen asuintaloon että vertailun vuoksi aiempaan asuntoon eri rakennuksessa. Tulokset osoittavat suurta tyytyväisyyttä Kivistön puukerrostalojen sisäolosuhteisiin. Olosuhteet koettiin myös paremmiksi kuin aiemmassa asunnossa. On luonnollista olettaa, että asukkaat ovat tyytyväisempiä uuteen asuntoon kuin edel-

liseen, ikääntyneeseen asuntoon. Kaikki paitsi yksi kysymys osoittivat korkeampaa tyytyväisyyttä uuteen kuin vanhaan asuntoon keskimäärin. Keittiön ilmanvaihdon tehokkuuteen oltiin nimittäin tyytymättömämpiä kuin edellisessä asunnossa keskimäärin. Tämä johtui käyttöpastuksen puutteesta. Havainto todistaa osaltaan, ettei asukas anna perusteetta parempia vastauksia vain siksi, että asunto on uusi.

## 6. Esimerkkikohteet

Suomalaisten puukerrostalojen materiaalien käyttö ja hiilijalanjälki selvitettiin tapaustutkimuksen avulla. Vertailtavina oli kolme erikokoista asuinrakennuskohdetta, jossa kahdessa oli käytössä esivalmistetut suurelementtirakenteet ja yhdessä CLT-valmisteiset tilaelementit.

Tapaustutkimuksia käytettiin myös Lean-metodologiaan perustuvan energiatehokkaan puukerrostalorakentamisen tuottavuus- ja talousvaikutuksien laskennassa sekä elementtien ja rakennuksen toimituksien tehokkuusselvityksissä.

### 6.1 Yleistä kohteista

Suurin puukerrostalokohde rakennettiin Vantaan asuntomessualueelle, Kivistöön (kohde A). Siinä rakenteina käytettiin puurakenteisia tehdasvalmistettuja suurelementtejä. Eskolantien kohde rakennettiin Helsinkiin, siinä rakennustapa oli esivalmistettujen tilamoduulien käyttö (kohde B). Molemmissa puukerrostaloissa ensimmäinen kerros rakennettiin betonista, lisäksi Kivistön kohteeseen, pihakannen alle, rakennettiin autohalli.

Kolmantena tapaustutkimuksena on rakenteilla oleva kohde Helsinkiin, Kuninkaantammen (kohde C). Kohteen erikoisuus on sen pohjaratkaisu, joka on sama kahdelle puukerrostalolle sekä viereen rakennettaville betonikerrostaloille. Lisäksi kohteen pihakannen alle rakennetaan yhteinen autohalli puukerrostalojen ja betonikerrostalojen asukkaille. Kuninkaantammen puukerrostaloissa käytetään esivalmistettuja puurakenteisia suurelementtejä ja betonikerrostalojen tapauksessa betonielementtejä. Taulukko 30 esittää tapaustutkimuksen kohteet.

**Taulukko 30. Puukerrostalojen tiedot.**

| Rakennuskohde           | Asuinrakennuskohde<br>Kivistö<br>(A)                                                                                                         | Asuinrakennuskohde<br>Eskolantie<br>(B)                                                                                                                                                                                                          | Asuinrakennuskohde<br>Kuninkaantammi (C)                                                                                                                                             |
|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Rakennuksien määrä      | 1 talo                                                                                                                                       | 1 talo (tapaustutkimukseen valittiin Eskolantien kohteen neljästä kerrostalosta talo A)                                                                                                                                                          | 2 puutaloa ja 2 betonitaloa                                                                                                                                                          |
| Kaupunki                | Vantaa                                                                                                                                       | Helsinki                                                                                                                                                                                                                                         | Helsinki                                                                                                                                                                             |
| Asuntojen määrä         | 186                                                                                                                                          | 28                                                                                                                                                                                                                                               | 58 (puu) + 60 (betoni)                                                                                                                                                               |
| Kerroksia               | 6–7 kerrosta                                                                                                                                 | 7 kerrosta                                                                                                                                                                                                                                       | 4+1 kerrosta                                                                                                                                                                         |
| Bruttoala <sup>1)</sup> | 17 730 m <sup>2</sup>                                                                                                                        | 2 780 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                             | 3738 br-m <sup>2</sup> (puukerrostalo)<br>3737 br-m <sup>2</sup> (betonikerrostalo)                                                                                                  |
| Tilavuus                | 59 986 m <sup>3</sup>                                                                                                                        | 8 340 m <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                             | 11 960 m <sup>3</sup> (puukerrostalo)<br>11181 m <sup>3</sup> (betonikerrostalo)                                                                                                     |
| Pinta-ala               | Huoneisto-ala <sup>2)</sup><br>10 124 m <sup>2</sup>                                                                                         | Asuinkerrosala <sup>3)</sup><br>2135 m <sup>2</sup><br>Kerrosalaa <sup>4)</sup> 2771 m <sup>2</sup>                                                                                                                                              | Asuinpinta-ala 3115 m <sup>2</sup> (puukerrostaloissa) ja 3133 m <sup>2</sup> (betonikerrostaloissa)                                                                                 |
| Muut tilat              | Ensimmäinen kerros betoninen, siinä varastotilat ja autohalli, joka ulottuu myös pihakannen alle. Ullakolla (7. krs) talosauna sekä parveke. | Ensimmäinen kerros betoninen, siinä talosauna, kuivaushuone, varasto- ja siivoustilat (yht. 81 m <sup>2</sup> ), tekninen tila (28 m <sup>2</sup> ) ja liiketila (107 m <sup>2</sup> ). Lisäksi erillinen parkkipaikka (ei huomioitu arvioissa). | Kellarikerros, talosauna, harrastetila, tekninen tila. Lisäksi pihakannen alla maanalainen betonirakenteinen autohalli (autohallia ei kuitenkaan huomioitu hiilijalanjälkiarviossa). |
| Rakennustapa            | Rakentaminen esivalmistetuista suurelementeistä (puu)                                                                                        | Rakentaminen esivalmistetuista tilaelementeistä (CLT)                                                                                                                                                                                            | Rakentaminen suurelementeistä (2 puutaloa) ja betonielementeistä (2 betonitaloa)                                                                                                     |

<sup>1)</sup> Bruttoala – kuvaa rakennuksen laajuutta. Bruttoalaan lasketaan kaikki kerrostasosalat riippumatta siitä, ovatko huoneet kylmiä vai lämpimiä.

<sup>2)</sup> Huoneistoala – seinien sisäpintojen mukaan laskettu pinta-ala, portaikon portaan vaakasuora ala, mutta ei porrasaukon alaa, kaikki aputilat. Ei lasketa mukaan kellarissa sijaitsevaa varastotilaa, autohallia, teknistä tilaa, parvekkeen ja irtaimistovaraston tilaa.

<sup>3)</sup> Asuinpinta-ala – kaikki rakennuksen jatkuvaan asumiskäyttöön tarkoitettujen tilojen ala. Asuinhuoneita eivät ole käytävä, pesuhuone, sauna, eteinen tai muut vastaavat tilat.

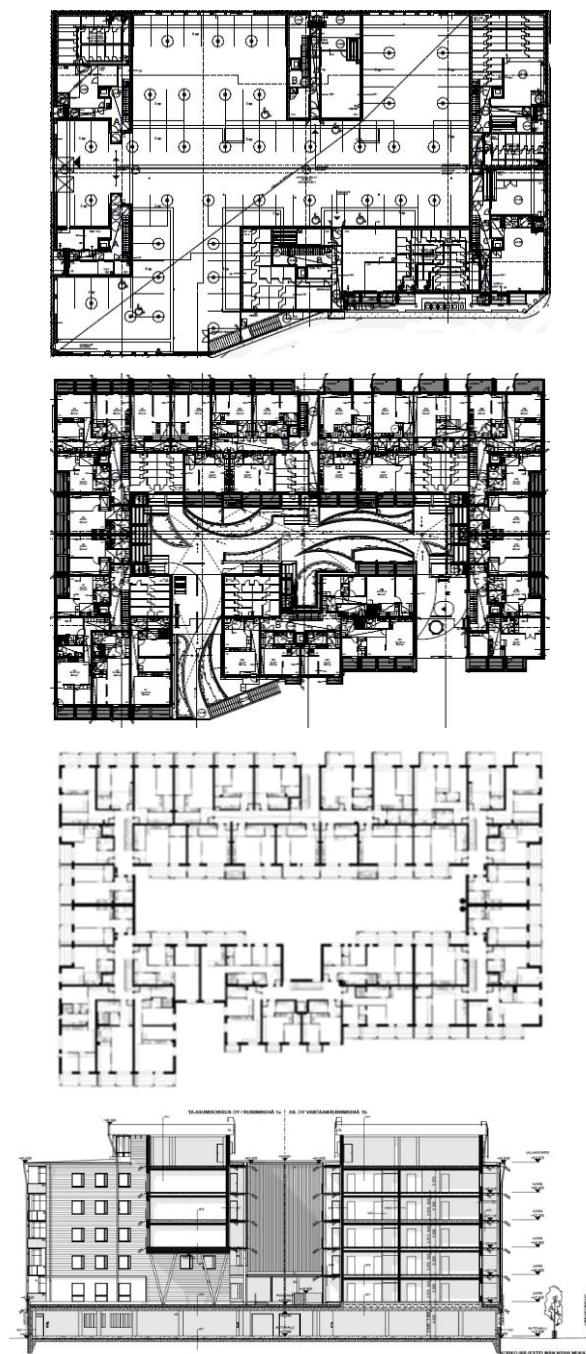
<sup>4)</sup> Kerrosala – rakennuksen kerrosalaan lasketaan kerrosten alat ulkoseinien ulkopinnan mukaan ja se kellarikerroksen tai ullakon ala, johon sijoitetaan rakennuksen pääasiallisen käyttötarkoituksen mukaisia tiloja.

### 6.1.1 Kivistö

Rakennusliike Reponen Oy:n, Suomen Vuokrakodit Oy:n, TA-Asumisoikeus Oy:n ja Vantaan kaupungin yhteistyön tuloksena valmistui vuonna 2015 Suomen suurin asuinkäyttöön tarkoitettu 7-kerroksinen puukerrostalo Kivistöön, osoite Rubiinikellä 1. Se rakennettiin ARA-kohteeksi, jossa on yhteensä 186 asuntoa (<http://www.puumera.fi/#sthash.14gJCBvv.dpuf>).

**Taulukko 31.** Kivistön puukerrostalon rakenteet, laajuus ja U-arvot.

| Rakennusosa           | Rakenneratkaisut                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | Pinta-ala, m <sup>2</sup> | U-arvo, W/m <sup>2</sup> K |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Ulkoseinä             | Liimapuupalkkirakenteinen ulkoseinä                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 6 885                     | 0,12                       |
| Yläpohja              | Naulalevyristikkorakenteinen yläpohja, ristikon alapaarre kertopuuta, kivivillaeristys                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 3 206                     | 0,08                       |
| Alapohja              | Paalutettu kantava teräsbetonialapohja                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 3 537                     | 0,09                       |
| Väliseinät            | Puurunkoinen kantava väliseinä, kaksoisrunko                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 16 790                    | Ei merkitystä              |
| Välipohja             | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Asunkerroksien välipohja: liittorakenteinen puu-betoni</li> <li>- Pysäköintitilan ja asuinhuoneistojen välinen välipohja: 400 mm betonilaatta, NR-pukit, puhallusvillaeriste</li> <li>- Pysäköintitilan ja sisäpihan välinen välipohja: 400 mm teräsbetonilaatta, kallistusbetoni, vedeneristys, solupolystyreenieristys, sora, suodatinkangas</li> </ul> | 15 418                    | Ei merkitystä              |
| Ikkunat ja ikkunaovet | 4 lasia                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 1515                      | 0,59                       |
| Ovet                  | Metalliovet<br>Puuovet                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 199 kpl<br>1035 kpl       |                            |



**Kuva 26.** Kivistön puukerrostalon 1. krs, 2. krs, 3. krs ja näkymä monimuotoiseen julkisivuun.

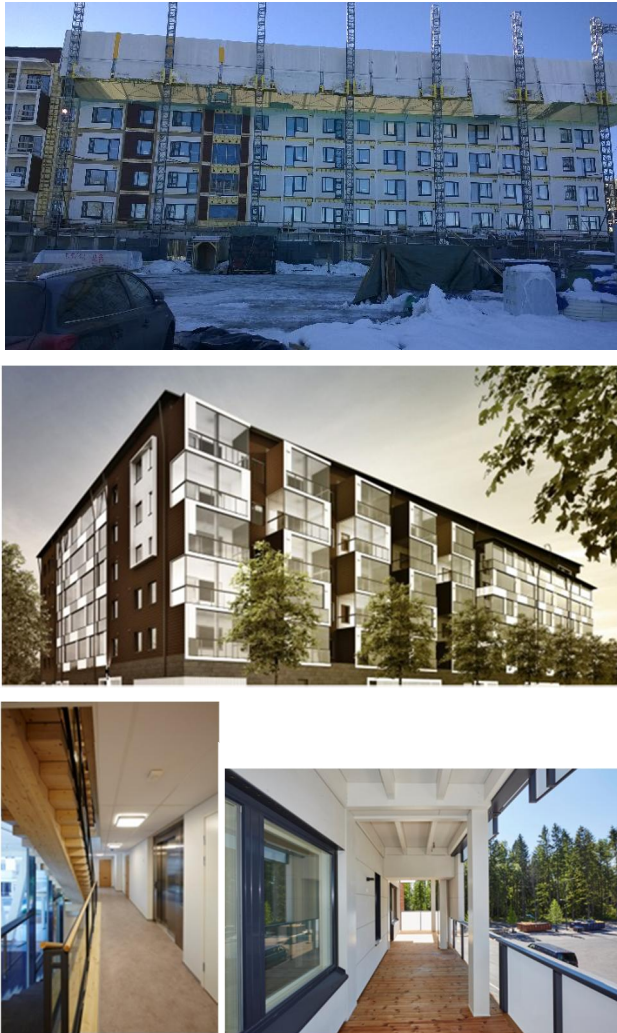
Puurakenteiden osalta Kivistössä käytettiin esivalmistettuja suurelementtejä (Kuva 27).



**Kuva 27.** Suurelementtien valmistus tehtaalla ja elementti pakattuna lähetettäväksi työmaalle.



**Kuva 28.** Kivistön kohteen rakennusdetaljeja (autohallin betonipilari, välipohjan lattia ennen betonivalua, puinen porras ja asunnon kattoeristys ja koolaus).



**Kuva 29.** Kivistön kohde rakennusvaiheessa sekä valmiina rakennuksena.

### 6.1.2 Eskolantie

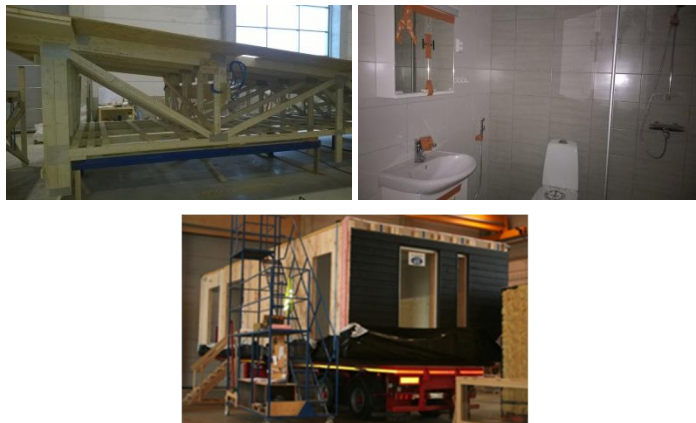
SRV rakensi Eskolantien puukerrostalokohteen Helsingin Pukinmäkeen, ja siihen tuli yhteensä 93 vuokra- ja asumisoikeusasuntoa. Kohteen neljä kerrostaloa ovat 5–7-kerroksiset. Resurssitehokkuustarkastelussa on niistä arvioitu yksi, Helsingin kaupungin asunnot Oy:n (Heka) 7-kerroksinen puukerrostalo. Siinä rakennuksen kantavana ja jäykistävänä runkona käytettiin CLT-massiivipuulementtiä ja näin ollen asunnot ja parvekkeet toteutettiin tilaelementeistä.

**Taulukko 32.** Eskolantien puukerrostalon rakenteet, laajuus ja U-arvot.

| Rakennusosa          | Rakenneratkaisu (perus)                                                                                                                                                                                                 | Pinta-ala, m <sup>2</sup> | U-arvo, W/m <sup>2</sup> K |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Ulkoseinä            | Ensimmäisen kerroksen ulkoseinä: lämpörapattu betonielementti<br>Tilaelementin ulkoseinä: CLT-rakenteinen seinä, kertopuu, puurimat, mineraalivilla ja kipsilevyt                                                       | 1442                      | 0,15                       |
| Yläpohja             | Rakennuksen yläpohja: NR-kattoristikot, OSB-lastulevy, puurimat, villa ja CLT-levy<br>Tilaelementin yläpohja: CLT-rakenteinen katto, lastulevy, puurimat ja kipsilevyt                                                  | 417                       | 0,08                       |
| Alapohja             | Teräsbetonilaatta-alapohja, EPS-eriste, pintavalu                                                                                                                                                                       | 435                       | 0,13                       |
| Väliseinät           | Betonirakenteinen väliseiniä ensimmäisessä kerroksessa<br>Tilaelementin CLT-rakenteinen väliseinä, kertopuu, puurimat, mineraalivilla ja kipsilevyt                                                                     |                           | Ei merkitystä              |
| Välipohja            | Ontelolaattavälipohja ensimmäisen ja toisen kerroksen välissä<br>CLT-rakenteinen tilaelementin välipohja, kertopuu, puurimat, mineraalivilla, eristelevy, lasikuituverkko ja betonilaastikerros lattialämmitystä varten |                           | Ei merkitystä              |
| Ulko-ovet ja ikkunat | Ikkunat 4 lasia                                                                                                                                                                                                         | 82 + 370                  | 0,80                       |



**Kuva 30.** Eskolantien puukerrostalon julkisivu, leikkaus ja pohjaratkaisu.



**Kuva 31.** Tilaelementin valmistus tehtaalla.

### 6.1.3 Kuninkaantammi

Rakennusliike Reponen Oy rakentaa kaksi neljäkerroksista puutaloa ja kaksi neljäkerroksista betonitaloa Helsinkiin, Kuninkaantammeen (työ nro 321). Rakennukset tulevat A-Kruunu Oy:lle (puukerrostalot, ositteena Taidemaalarinkatu 6) ja Asoasunnot Uusimaa Oy:lle (betoniset kerrostalot, "Helene", osoite Taidemaalarikatu 4, Helsinki).

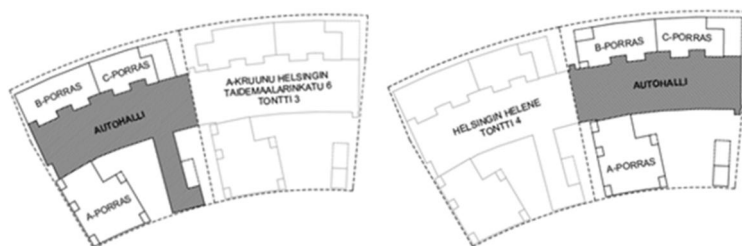
A-Kruunu Oy:lle rakennettavan Taidemaalarinkatu 6:n asuinpinta-ala on 3114,5 m<sup>2</sup> käsittäen 58 asuntoa ja Asoasunnot Uusimaa Oy:lle rakennettavan Helene-kohteen, Taidemaalarinkatu 4:n, asuinpinta-ala on 3132,5 m<sup>2</sup>, käsittäen 60 asuntoa.



**Kuva 32.** Kuninkaantammen puukerrostalojen, A-kruunu, eteläisivut.



**Kuva 33.** Kuninkaantammen betonikerrostalojen, Helene, eteläsivut.



**Kuva 34.** Kuninkaantammen betonikerrostalojen, Helene (tontti 4), ja puukerrostalo-kohteen, A-Kruunu (tontti 3), rakennuksien sijainnit sekä autohalli (massiivinen maanalainen autohalli ei kuitenkaan sisällynyt resurssitehokkuuslaskentaan).

**Taulukko 33. Kuninkaantammen rakenteet.**

|                             | <b>Puukerrostalot</b>                                                                                                                                                  | <b>Betonikerrostalot</b>                                                                                                                                                                                               |
|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Perustukset                 | Rakennukset perustetaan maanvaraisesti                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                        |
| Alapohja                    | Alapohja on maanvastainen paikalla valettu betonilaatta                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                        |
| Välipohjat                  | Pääosin puupalkeista ja kipsilevyistä muodostuva laatasto.                                                                                                             | Pääosin ontelolaatoista. Porrashuoneissa on massiivibetonilaatat.                                                                                                                                                      |
| Yläpohja                    | Yläpohja on puurakenteinen. Lämmöneristeenä on mineraalivilla.                                                                                                         | Yläpohja on ontelolaatta, päällä puurakenteinen. Lämmöneristeenä on mineraalivilla.                                                                                                                                    |
| Katto                       | Vesikatto on pääosin harjakatto. Vesikatteena on bitumikermi.                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                        |
| Ulkoseinät                  | Ulkoseinät ovat puurakenteiset ja sisäpuolelta verhoiltu kipsilevyllä, julkisivut ovat pääosin puupaneelilla verhoiltuja, osittain julkisivut ovat sementtikuitulevyä. | Ulkoseinät ovat sisäkuorielementtejä ja parvekkeiden kohdalla sw-elementtejä, julkisivut ovat pääosin ohutrappauksella verhoiltuja. A-talon Taidemaalarinkatua vasten oleva julkisivu on paikalla muurattu ja rapattu. |
| Huoneistojen väliset seinät | Huoneistojen väliset seinät ovat kaksoispuurunkoisia kipsilevyseinä.                                                                                                   | Huoneistojen väliset seinät ovat betonielementtejä.                                                                                                                                                                    |
| Kevyet väliseinät           | Asuinhuoneiden kevyet väliseinät ovat kipsilevy pintaisia rankaseiniä. Pesuhuoneiden puoleinen seinä verhoillaan tarkoitukseen soveltuvalla märkätilalevyllä.          | Asuinhuoneiden kevyet väliseinät ovat kipsilevy pintaisia rankaseiniä. Pesuhuoneiden seinät tehdään kivirakenteisina.                                                                                                  |
| Parveke                     | Parvekkeiden kantavat rakenteet ja tasot ovat puurakenteisia. Parvekekaiteet ovat puurakenteisia paneeli/levykaiteita.                                                 | Parvekkeiden kantavat rakenteet ja tasot ovat betonirakenteisia. Parvekekaiteet ovat betonielementtejä, jotka pinnoitetaan julkisivun puolelta.                                                                        |
| Portaat ja porrashuoneet    | Porrassyöksyt ovat puuelementtiportaita. Porrashuoneissa on automaattioivilla varustetut asuintalohissit.                                                              | Porrassyöksyt ovat elementtiportaita. Porrashuoneissa on automaattioivilla varustetut asuintalohissit.                                                                                                                 |

**Taulukko 34.** Kuninkaantammen puukerrostalojen ja betonikerrostalojen laajuus ja U-arvot.

|                | Puukerrostalot,<br>Cpuu                    | Betonikerrostalot,<br>Cbetoni |
|----------------|--------------------------------------------|-------------------------------|
| Rakennusosa    | Pinta-ala,<br>m <sup>2</sup>               | Pinta-ala,<br>m <sup>2</sup>  |
| Sokkelit       | 321                                        | 321                           |
| Ulkoseinä      | 3273                                       | 3141                          |
| Yläpohja       | 1378                                       | 1383                          |
| Alapohja       | 903                                        | 903                           |
| Väliseinät     | 2841(puurunkoiset kantavat)<br>2813 (muut) | 4411                          |
| Välipohja      | 3593                                       | 3778                          |
| Ikkunat & ovet | 700 + 779                                  | 700 + 779                     |
| Portaat        | Puuportaat                                 | Betoniportaat                 |
| Parvekkeet     | CLT-parvekkeet                             | Betoniparvekkeet              |

# Lähdeluettelo

- Aapaoja, A. & Haapasalo, H. 2014. The Challenges of Standardization of Products and Processes in Construction. In 22nd Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Understanding and Improving project based production Kalsaas B T, Koskela L and Saurin T A, pp. 938–993.
- Albatici, R. & Passerini, F. 2011. Bioclimatic design of buildings considering heating requirements in Italian climatic conditions. A simplified approach. Building and Environment, No. 46, 1624–1631.
- ATT. 2012a. Eskolantie. Puukerrostalojen kilpailullisen neuvottelumenettelyn ohjelma 4.7.2012. Helsinki: Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimisto (ATT). 14 s.
- ATT. 2012b. Hankintailmoitus: Eskolantien energiatehokkaiden puurakenteisten asuinkerrostalojen kilpailullinen neuvottelumenettely. Helsinki: Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimisto (ATT).
- ATT. 2013a. Eskolantien puukerrostalot. SR-laaturkilpailu, arviointipöytäkirja. Helsinki: Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimisto (ATT). 19 s.
- ATT. 2013b. Eskolantien puukerrostalot. SR-laaturkilpailu, kilpailuohjelma. Helsinki: Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimisto (ATT). 15 s.
- ATT. 2013a. Eskolantien puukerrostalot. KVR-urakkaohjelma. Helsinki: Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimisto (ATT). 31 s.
- ATT. 2016. Eskolantielle valmistui puukerrostaloja. Teoksessa: Toimintakertomus 2015. Helsinki: Helsingin kaupungin asuntotuotantotoimisto (ATT). S. 32–35.
- Aziz, R. & Hafez, S. 2013. Applying lean thinking in construction and performance improvement. Alexandria Engineering Journal 52, 679–695.
- BEC. 2012. Elementtisuunnittelun mallinnusohje versio 1.04. Betoniteollisuus ry. ([http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23982/BEC2012%20Elementtisuunnittelun%20mallinnusohje\\_v104.pdf](http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23982/BEC2012%20Elementtisuunnittelun%20mallinnusohje_v104.pdf), viitattu 14.3.2017).
- Benros, D. & Duarte, J.P. 2009. An integrated system for providing mass-customized housing. Automation in Construction (18), 310–320.
- Bildsten, L. 2011. Exploring the Opportunities and Barriers of Using Prefabricated House Components. In 19th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Rooke J., Dave B.

- Dave, B., Hämäläinen, J.-P., Kemmer, S., Koskela, L. & Koskenvesa, A. 2015. ko. Proceedings of the 23rd Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Perth, Australia, 29–31 July 2015. Pp. 193–202.
- DIT. 2015a. National Alliance Contracting Guidelines. Guidance note 6: Early contractor involvement and other collaborative procurement methods. Canberra: Australian Government, Department of Infrastructure and Transport.
- DIT. 2015b. National Alliance Contracting Guidelines. Guide to Alliance Contracting. Canberra: Australian Government, Department of Infrastructure and Transport.
- DTF. 2006. Project Alliancing. Practitioners' Guide. Melbourne: The Department of Treasury and Finance, State of Victoria.
- EN 15804:2012+A1:2013 Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.
- EN 15978. 2011. Sustainability of construction works – Assessment of environmental performance of buildings – Calculation method.
- EN 16449:2014. Wood and wood-based products – Calculation of sequestration of atmospheric carbon dioxide.
- FCBA Institut Technologique. 2013. Catalogue Construction Bois. Available at: [catalogue-construction-bois.fr/](http://catalogue-construction-bois.fr/) [Accessed 3 August 2015]. FCBA
- Finnish Wood Research. 2013. RunkoPES 2.0 Osa 11 Rakennetyyppikirjasto. Available through: [www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/runkopes-20](http://www.puuinfo.fi/suunnitteluohjeet/runkopes-20) [Accessed 3 August 2015].
- Gräfe, M., Merk, M., Werther, N., Fülle, C., Leopold, N., Sprinz, D., Busch, M. & Brunn, M. 2014. Erarbeitung weiterführender Konstruktionsregelndetails für mehrgeschossige Gebäude in Holzbauweise der Gebäudeklasse 4, Forschungsinitiative ZukunftBAU F2923 (Fraunhofer: Fraunhofer IRB Verlag).
- Hale, D.R., Shrestha, P.P., Gibson Jr., G.E. & Migliaccio, G.C. 2009. Empirical comparison of design/build and design/bid/build project delivery methods. *Journal of Construction Engineering and Management* (135), 579–587.
- Herczeg, M., McKinnon, D. Milios, L. Bakas, I., Klaassens, E., Svatikova, K. & Widerberg, O. 2014. Resource efficiency in the building sector. Final report. Client: DG Environment. Rotterdam, 23 May 2014. 124 p.

- Holzforschung Austria, 2003. Catalogue of reviewed timber building components for thermal, acoustic, fire performance requirements and ecological drivers. Available at: [www.dataholz.com/](http://www.dataholz.com/) [Accessed 3 August 2015].
- Howell, G. 1999. What is Lean Construction – 1999. In Seventh Conference of the International Group of Lean Construction Ed. Tommelein I.
- IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie (Verein) und IBO GmbH. 2009. IBO Passivhaus Bauteilkatalog. Available at: [www.baubook.at/phbt/index.php?SW=19](http://www.baubook.at/phbt/index.php?SW=19) [Accessed 3 August 2015].
- ISO 14040:2006 Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines.
- ISO 14044:2006 Environmental management. Life cycle assessment. Requirements and guidelines.
- Jensen, P., Olofsson, T. & Johnsson, H. 2012. Configuration through the parameterization of building components. *Automation in Construction* (23), 1–8.
- Kananen, J. & Lahdenperä, P. 2013. Erillisvalinta allianssitiimin muodostamistapa. Vaihtoehtojen määrittelyä ja arviointia. Espoo: VTT. VTT Technology 131. 37 s. + liitt. 5 s.
- Kantola M. 2015. Managing the delivery and commissioning of nearly zero-energy building projects. Aalto University Doctoral Dissertations 117/2015.
- Koski, H. & Lahdenperä, P. 2015. Allianssiurakan taloudellisuus. Infrahankkeen toteutusmuotojen innovaatiokyvykkyyksien vertailua. Espoo: VTT. VTT Technology 229. 39 s. + liitt. 10 s.
- Lahdenperä, P. 2001. Design-Build Procedures. Introduction, illustration and comparison of U.S. modes. VTT Publications 452. Espoo: VTT. 175 s.
- Lahdenperä, P. 2009. Allianssiurakka. Kilpailullinen yhden tavoitekustannuksen menettely. VTT Tiedotteita 2471. Espoo: VTT. 74 s.
- Lahdenperä, P. 2012. Allianssitiimin valinta. Ensimmäisen hankkeen menettelyt ja niitä koskevan palautekyselyn tulokset. VTT Technology 34. Espoo: VTT. 44 s. + liitt. 4 s.
- Lahdenperä, P. 2013. Kulusta keskittämällä etsimässä: hintakomponentit osana allianssitiimin valintamenettelyä. VTT Technology 124. Espoo: VTT. 67 s.
- Lahdenperä, P. 2015a. Allianssiurakan arvontuoton mekanismit. Johdon sosiaalinen kognitiivinen kartta. VTT Technology 243. Espoo: VTT. 66 s. + liitt. 10 s.

- Lahdenperä, P. 2015b. Project delivery systems in Finnish new building construction – A review of the last quarter century. *Procedia Economics and Finance* (21), 162–169.
- Lahdenperä, P. 2015c. The beauty of incentivised capability-and-fee competition based target-cost contracting. *Procedia Economics and Finance* (21), 609–616.
- Lahdenperä, P. 2016. Miksi allianssi tuottaa arvoa rahalle? Teoksessa: Väylät & liikenne 2016, 7.–8.9. 2016, Tampere. Helsinki: Suomen Tieyhdistys. S. 258–265.
- Lahdenperä, P. & Koppinen, T. 2003. Kannustavat maksuperusteet rakennushankkeessa. Osa 1: Kansainvälinen kartoitus. VTT Tiedotteita 2191. Espoo: VTT. 140 s.
- Lahdenperä, P. & Koppinen, T. 2004. Kannustavat maksuperusteet rakennushankkeessa. Osa 2: Laadittu kehysjärjestelmä. VTT Tiedotteita 2244. Espoo: VTT. 100 s.
- Lessing, J., Stehn, L. & Ekholm, A. 2005. Industrialised Housing: Definition and Categorization of the Concept. In 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, pp. 471–480.
- Lignum Holzwirtschaft Schweiz. 2014. Lignum Bauteilkatalog Schallschutz. Available at: [bauteilkatalog.lignum.ch/?lang=de&page=home](http://bauteilkatalog.lignum.ch/?lang=de&page=home) [Accessed 3 August 2015].
- Mohamad, A., Hicketier, G., Hovestadt, V. & Gehbauer, F. 2013. Use of Modularization in Design as a Strategy to Reduce Component Variety One-Off Projects. In 21th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Formoso, C.T. & Tzortzopoulos, P. Pp. 289–298.
- Pasquire, C.L. & Connolly, G.E. 2003. Design for Manufacture and Assembly. In 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, pp. 184–194.
- Passivhaus-Bauteilkatalog – Ökologisch bewertete Konstruktionen. 2009. Springer Vienna Architecture (Springer-Verlag).
- Pernu, P. 1995. Puukerrostaloprojektin design and construct -kilpailun tarjouspyyntö. Raportti no 130. Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos, Rakentamistalous. 25 s. + liitt. 100 s.
- Pernu, P. 1996. Viikin puukerrostaloprojektin suunnittelu-, tuotekehitys- ja toteutuskilpailusta saadut kokemukset. Rakentamistalouden selvityksiä 6.

- Teknillinen korkeakoulu, Rakennetekniikan laitos, Rakentamistalous. 11 s. + liitt. 34 s.
- Pernu, P. 1998. Teknisten ratkaisujen urakkakilpailu. Pilot-projekti: Kiinteistö Oy Helsingin Rastikulma. Kehitys & Tuottavuus 54. Rakennusteollisuuden Keskusliitto (RTK). 17 s. + liitt. 38 s.
- Pernu, P. et al. 1998. Suunnittelu- ja toteutusmenetelmien pelisääntöjä. SR-menetelmien säännöt ja malliasiakirjat. Kehitys & Tuottavuus 52. Rakennusteollisuuden Keskusliitto (RTK). 87 s. + liitt. 1 s.
- Powell, D., Strandhagen, J.O., Tommelein, I., Ballard, G. & Rossi, M. 2014. A New Set of Principles for Pursuing the Lean Ideal in Engineer-to-Order Manufacturers. *Procedia CIRP* (17), 571–576.
- Rich, J. 2012. Öppen – Lean Thinking, Prefabrication, Assembly and Open Building Thinking – All Applied to Commercial Buildings. In 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Tommelein, I.D. & Pasquire, C.L.
- RT 16-10740. 2001. KVR-urakkasopimuksen laatiminen. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 16-10758. 2001. KVR-esisopimuksen laatiminen. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 10-11223. 2016. Talonrakennushankkeen kulku. Toteutusmuodot. Helsinki: Rakennustieto.
- RT 10-112XX. 2017. Rakennushankkeen allianssisopimuksen laatiminen. Helsinki: Rakennustieto. (Luonnos)
- Ruuska, A. & Häkkinen, T. 2014. Material Efficiency of Building Construction. In: *Buildings 2014*, 4, pp. 266–294.
- Ruuska, A. & Häkkinen, T. 2016. Efficiency in the delivery of multi-story timber buildings. SBE16 Tallinn and Helsinki Conference, Build Green and Renovate Deep 2016, 5–7 October 2016, Tallinn, Estonia. *Energy Procedia*. Elsevier Ltd. Vol. 96 (2016), 190–201. *Energia* doi: [10.1016/j.egypro.2016.09.120](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.120) SBE 16 LeanWood -haastattelututkimus.
- Ruuska, A., Häkkinen, T. & Vares, S. 2012. Puurakenteiden ympäristövaikutukset – laskentatuloksia valittujen rakenteiden osalta. Espoo: VTT. 32 s. <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/rakennetyypikirjastot/puurakenteiden-ymparistovaikutukset.pdf>
- Seppänen, M. 1997. Suunnittelu- ja toteutuskilpailu asuinkerrostalohankkeessa. Esimerkkinä Takomotien kilpailu Helsingin Pitäjänmäkeen. Kehitys & Tuottavuus 39. Rakennusteollisuuden Keskusliitto (RTK). 8 s. + 41 s.

- SFS-EN 16485:2014. Round and sawn timber. Environmental Product Declarations. Product category rules for wood and wood-based products for use in construction.
- Sorsa, T. 2015. Puukerrostalon tuotanto. Metropolia Ammattikorkeakoulu. 44 s. + liitt. 1 s.
- Trauner Consulting Services. 2007. Construction project delivery systems and procurement practices: considerations, alternative, advantages, disadvantages. <http://www.fefpa.org/pdf/summer2007/Pros-Cons-handout.pdf>
- Vares, S. 2013. Wood in carbon efficient construction. Tools\_methods and applications. €CO2. Section 5.3. © 2013 CEI-Bois and the authors. All rights reserved.
- Womack, J.P., Jones, D.T. & Roos, D. 1990. The Machine That Changed the World. Free Press.
- VTT. 1999. Suomalaisten ST-hankkeiden toimintaprosessit. Hankekohtaiset kuvaukset. VTT Rakennustekniikka, Rakentaminen ja kiinteistönhallinta. Debus-projekti, julkaisematon työraportti. 28 s.
- VTT. 2016. BIM & Puukerrostalorakentaminen. LeanWOOD-työpaja, 8.6.2016, Otaniemi. Julkaisematon työpajamuistio.
- YTV. 2012. Yleiset tietomallivaatimukset (YTV) (Osat 1–14.) Helsinki: BuildingSMART Finland.

# Liite A: leanWOOD T4.1 Learning from Practice



Aalto University

Survey

1 (1)

15.05.2015

## leanWOOD T4.1 Learning from Practice

Dear colleagues in project leanWOOD,

We are slowly going towards 1 year in the project and a lot of work has been done. We have all various "learnings from practice" - some by discussions with architects and other practitioners, some through case studies or e.g. visits to factories and some by realizing building projects. As to get an overview of issues identified, we would kindly ask you to shortly comment on findings in your work (even long responses are welcome if you feel like it!).

The aim is for an overview of issues in furthering *European timber building, and especially the design process* which has been defined as the focal point of project leanWOOD.

Please shortly reply the following questions, based on your own viewpoint and personal findings in your work. We are hoping for *5 comments on each question / respondent*.

*Responses received by Friday 29.5* are gathered into an overview as part of the presentation for WP4 at our workshop. If you are short of time – don't worry! Work continues also after the workshop with the objective of formatting the outcome into a common overview of initial findings.

The survey can also be responded to on-line:

<https://www.webropol-surveys.com/S/7E822AC6289F3D1A.par>

**1** WHAT HAVE YOU LEARNED ABOUT / WHAT ARE THE **STRENGTHS** OF EUROPEAN TIMBER BUILDING / IN YOUR COUNTRY (PLEASE SPECIFY WHICH)?

**2** WHAT HAVE YOU IDENTIFIED AS THE **WEAKNESSES** OF EUROPEAN TIMBER BUILDING/IN YOUR COUNTRY (PLEASE SPECIFY WHICH)?

**3** WHAT HAVE YOU RECOGNIZED AS **OPPORTUNITIES** FOR EUROPEAN TIMBER BUILDING/IN YOUR COUNTRY (PLEASE SPECIFY WHICH)?

**4** WHAT DO YOU SEE AS **THREATS** FOR EUROPEAN TIMBER BUILDING/IN YOUR COUNTRY (PLEASE SPECIFY WHICH)?

Aalto University  
Yrjö J. Cronhjort

Postal address  
P.O. Box 16500  
FI-00076 AALTO

Visiting address  
Miestentie 3  
Espoo, Finland

Tel. +358 9 47001  
Business ID 2228357-4

[aalto.fi/en](mailto:aalto.fi/en)  
firstname.lastname@aalto.fi  
VAT FI22283574 Domicile Helsinki

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nimeke          | <b>Puurakentaminen Euroopassa</b><br>LeanWOOD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Tekijä(t)       | Esa Nykänen, Tarja Häkkinen, Markku Kiviniemi, Pertti Lahdenperä, Sakari Pulakka, Antti Ruuska, Mikko Saari, Sirje Vares, Yrsa Cronhjort, Pekka Heikkinen, Tomi Tulamo & Philip Tidwell                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Tiivistelmä     | <p>LeanWOOD tutkii puurakentamisen prosesseja. Eurooppalainen projekti "Innovative lean processes and cooperation models for planning, production and maintenance of urban timber buildings (leanWOOD)" on osa WoodWisdom-ERA-NET-ohjelmaa. Suomen projekti toteutui Tekes-hankkeena siten, että projektilla on kansallinen johtoryhmä ja suomalaiset tutkimusosapuolet (VTT ja Aalto), jotka ovat osa eurooppalaista projektikonsortiota.</p> <p>Tämä julkaisu kuvaa projektin tuloksia Suomen toimijoiden näkökulmasta kuitenkin siten, että nykytilanne (SWOT) ja arkkitehtisuunnittelu on kuvattu Euroopan tasoisesti. Julkaisussa esitellään sekä haastattelututkimusten että koekohteiden tuloksia jaettuna omiin lukuihinsa. Julkaisu koostuu seuraavista luvuista: Yleistä ja puurakentamisen kehittämiskohteet, Standardoitujen puurakenteiden käyttö rakennussuunnittelussa, Puukerrostalon resurssitehokkuus ja hiilijalanjälki, Hankeprosessit ja tietomallintaminen, Energiatlehokkaan Lean-puukerrostalorakentamisen tuottavuus- ja talousvaikutukset ja Esimerkkikohteet.</p> |
| ISBN, ISSN, URN | ISBN 978-951-38-8535-9 (nid.)<br>ISBN 978-951-38-8534-2 (URL: <a href="http://www.vtt.fi/julkaisut">http://www.vtt.fi/julkaisut</a> )<br>ISSN-L 2242-1211<br>ISSN 2242-1211 (Painettu)<br>ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)<br><a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8534-2">http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8534-2</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Julkaisu aika   | Huhtikuu 2017                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Kieli           | Suomi, englanninkielinen tiivistelmä                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Sivumäärä       | 127 s. + liitt. 1 s.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Projektin nimi  | LeanWOOD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Rahoittajat     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Avainsanat      | rakentaminen, puurakentaminen, Lean, rakennusprosessi, resurssitehokkuus, LCC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| Julkaisija      | Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy<br>PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title               | <b>Building with timber in Europe</b><br>LeanWOOD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Author(s)           | Esa Nykänen, Tarja Häkkinen, Markku Kiviniemi, Pertti Lahdenperä, Sakari Pulakka, Antti Ruuska, Mikko Saari, Sirje Vares, Yrsa Cronhjort, Pekka Heikkinen, Tomi Tulamo & Philip Tidwell                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Abstract            | <p>LeanWood studies processes in wood construction. European project "Innovative lean processes and cooperation models for planning, production and maintenance of urban timber buildings" (leanWOOD) is realized under the WoodWisdom ERA-NET funding scheme. Finnish part of project was realized as Tekes funded project with national steering group and national research partners (VTT and Aalto) which are also part of european project consortia.</p> <p>This report describes results from Finnish point of view mainly. However, the State-of-the-art (SWOT) and architectural detailing is presented european level. Report is based both on interview and and pilot case data. Report chapters are: General and wood construction development needs, Standard timber structures for Lean architectural design, Resource efficiency in multi-storey wooden buildings, project processes, Effect of Lean on energy-efficient multi-storey building construction productivity and cost and Pilot cases.</p> |
| ISBN, ISSN, URN     | ISBN 978-951-38-8535-9 (Soft back ed.)<br>ISBN 978-951-38-8534-2 (URL: <a href="http://www.vttresearch.com/impact/publications">http://www.vttresearch.com/impact/publications</a> )<br>ISSN-L 2242-1211<br>ISSN 2242-1211 (Print)<br>ISSN 2242-122X (Online)<br><a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8534-2">http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8534-2</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Date                | April 2017                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| Language            | Finnish, English abstract                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Pages               | 127 p. + app. 1 p.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Name of the project | LeanWOOD                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| Commissioned by     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| Keywords            | building, timber, Lean, wood construction, building process, resource efficiency, LCC                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Publisher           | VTT Technical Research Centre of Finland Ltd<br>P.O. Box 1000, FI-02044 VTT, Finland, Tel. 020 722 111                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

## Puurakentaminen Euroopassa

### LeanWOOD

LeanWOOD tutkii puurakentamisen prosesseja. Eurooppalainen projekti "Innovative lean processes and cooperation models for planning, production and maintenance of urban timber buildings (leanWOOD)" on osa WoodWisdom-ERA-NET-ohjelmaa. Suomen projekti toteutui Tekes-hankkeena siten, että projektilla on kansallinen johtoryhmä ja suomalaiset tutkimusosapuolet (VTT ja Aalto), jotka ovat osa eurooppalaista projektikonsortiota.

Tämä julkaisu kuvaa projektin tuloksia Suomen toimijoiden näkökulmasta kuitenkin siten, että nykytilanne (SWOT) ja arkkitehtisuunnittelu on kuvattu Euroopan tasoisesti. Julkaisussa esitellään sekä haastattelututkimusten että koekohteiden tuloksia jaettuna omiin lukuihinsa. Julkaisu koostuu seuraavista luvuista: Yleistä ja puurakentamisen kehittämiskohteet, Standardoitujen puurakenteiden käyttö rakennussuunnittelussa, Puukerrostalon resurssitehokkuus ja hiilijalanjälki, Hankeprosessit ja tietomallintaminen, Energiatehokkaan Lean-puukerrostalorakentamisen tuottavuus- ja talousvaikutukset ja Esimerkkikohteet.

ISBN 978-951-38-8535-9 (nid.)  
ISBN 978-951-38-8534-2 (URL: <http://www.vtt.fi/julkaisut>)  
ISSN-L 2242-1211  
ISSN 2242-1211 (Painettu)  
ISSN 2242-122X (Verkkojulkaisu)  
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-951-38-8534-2>