



**SAVONIA**

OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# PUUKERROSTALO ASUNTO- TUOTANNOSSA

Selvitys taloudellisesta kannattavuudesta

TEKIJÄ: Hannu Haaranen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Hannu Haaranen	
Työn nimi Puukerrostalo asuntotuotannossa, selvitys taloudellisesta kannattavuudesta	
Päiväys	22.5.2017
Sivumäärä/Liitteet	90/0
Ohjaaja(t) Janne Repo yliopettaja Savonia-AMK, Pasi Haataja lehtori Savonia-AMK	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Mikko Vatanen projektipäällikkö Lapin-AMK	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää puurakenteisen kerrostalon rakennuttamisen ja rakentamisen haasteita asuntotuotannossa, sekä tuottaa riittävän kattava tietopaketti puukerrostalon rakentamisen prosessista, joka palvelisi rakennushankkeeseen ryhtyvää. Opinnäytetyössä keskityttiin tarkastelemaan puurakentamista pienkerrostalojen osalta. Pienkerrostaloina käsitellään 3 - 6 kerroksisia asuin kerrostaloja jotka kuuluvat paloluokkaan P2.</p> <p>Työssä tarkasteltiin riskejä ja olettamuksia, joita rakennushankkeeseen ryhtyvät, sekä urakoitsijat kokevat esteeksi puunkäytölle asuin kerrostaloissa. Rakentamisen prosessia seurattiin myös työmaatutustumisilla Joensuun Pihapetäjän työmaalla, jossa haastateltavana oli hankkeen projektipäällikkö. Työmaakäynneillä oli tarkoitus perehtyä mahdollisiin tuotannollisiin ongelmiin vapaamuotoisena keskusteluna sekä katselmuksina, jolloin mahdollisten ongelmien juurisyyt tulisivat paremmin esille.</p> <p>Työssä verrattiin puurakenteisen asuinkerrostalon taloudellisuutta, suhteessa betonirakenteisen asuinkerrostalon taloudellisuuteen. Tarkastelu tehtiin teoreettisena kustannusvertailuna, jossa merkittävimmän näkökulman sai työmaan lyhentyneen ajan avulla parantunut taloudellinen kannattavuus. Tutkituista tiedoista pyrittiin analysoimaan syy-yhteyksiä, jotka tiedostamalla ja esiintyvät ongelmat välttämällä voidaan puurakentamista lisätä Suomessa.</p> <p>Opinnäytetyö käsittelee hankkeen erityispiirteitä rakenteiden, taloudellisuuden, tuotantotekniikan ja sopimustekniikan kannalta. Työn tuloksena saatiin hyvä kokonaiskatsaus rakentamisen prosessin muutoksesta, mikäli kerrostalorakentaminen toteutetaan puurakenteisena.</p>	
Avainsanat puurakentaminen, taloudellisuus, tietomalli, tuotanto, olosuhdehallinta, betonirakentaminen, rakennusprosessi	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Building and Structural Engineering			
Author(s) Hannu Haaranen			
Title of Thesis Wooden Apartment Houses in Residential Construction			
Date	22 May 2017	Pages/Appendices	90/0
Supervisor(s) Mr. Janne Repo, Principal Lecturer, Savonia UAS, Mr. Pasi Haataja, Lecturer, Savonia UAS			
Client Organisation /Partners Mr. Mikko Vatanen, Project manager, Lapland UAS			
<p>Abstract</p> <p>The aim of the thesis was to find out the challenges of wooden apartment houses in housing construction. The aim was to produce a sufficiently comprehensive information package about the process of building wooden apartment houses that would serve the project planning and project design phase. The thesis focused on examining timber construction in the case of small apartment houses. Small apartment houses in this thesis means 3 to 6 storey residential blocks of flats.</p> <p>The thesis examined the risks and assumptions which are felt important by people starting a construction project of wooden apartment houses. Based on the previous studies and interviews the problems faced by constructors and contractors with wooden houses were investigated. The construction process was also monitored by visits to the site, Joensuu's Pihapetäjä, where the project manager was interviewed on site. The purpose of site visits was to get acquainted with possible production problems with a free-form discussion as well as a visual observation, in which case the main causes of potential problems would be better highlighted. In the thesis, the economy of a timber framed and concrete framed residential building were compared. The review was done as a theoretical cost comparison.</p> <p>The thesis resulted in a good overall overview of the changes in the construction process if the building is a wooden house. The thesis dealt with the special features of the project in terms of structures, economics, production technology and contract technology. As a whole, this thesis gives a good perspective, especially for anyone starting a construction project.</p>			
<p>Keywords</p> <p>Wooden Apartment Houses, construction process, structures, economics, production technology, residential construction</p>			

## ESIPUHE

Puurakentaminen on ollut mielenkiinnon kohteeni jo kahdenkymmenvuoden ajan. Alalle tullessani vuonna 1997 tunsin erityistä mielenkiintoa puurakentamista kohtaan. Olen aina pitänyt puun visuaalisesta ja psykologisesta vaikutuksesta, jota voi kokea hyvin toteutetuissa puurakennuksissa.

Tämä opinnäytetyö aihe oli minulle erittäin mieluisa, josta negatiivisena puolena voi todeta sen että tätä selvitystä ei olisi malttanut lopettaa. Oppiminen on kuitenkin jatkuvaa, niin kauan kuin on elämää. Luin tämän opinnäytetyön aikana lukuisia artikkeleita, tutkimuksia, väitöksiä ja opinnäytetöitä puurakentamiseen liittyen. Tein opinnäytetyön aikana myös lukuisia tapaamisia eri rakennusalan ammattilaisten kanssa. Tapaamisilla tein vapaamuotoisia haastatteluita koskien puurakentamista. Luetun tiedon ja käytännön näkemysten soveltaminen, sekä yhdistäminen yksiin kansiin oli merkittävä osa työtäni. Opinnäytetyön aikana sain mahdollisuuden tutustua useisiin seminaareihin ja työmaihin Suomessa, sekä puuinfon järjestämälle opintomatalle Saksaan.

Suuri kiitos Karjalan kulttuurin edistäminen ry:n projektipäällikölle Petteri Eloselle työmaavierailuista ja avoimista keskusteluista Joensuun pihapetäjässä, jossa sain vieraila kaksi kertaa. Iso kiitos kuuluu myös Lapin-AMK:n Future possibilities for CLT -organisaatiolle, jonka aineistoa ja tietoja eri julkaisuista voin hyödyntää työssäni. Kiitoksen haluan esittää myös puurakenteiden suunnittelun erikoisjakson opettajalleni TKT Arto Puurulalle mielenkiintoisesta ja käytännönläheisestä kurssista. Kiitos opinnäytetyön ohjaajille yliopettaja Janne Repo, lehtori Pasi Haataja, viestinnän opettaja Jarna Aromaa-Laamanen, englannin opettaja Ulla Finta-Huttunen, sekä työn tilaaja projektipäällikkö Mikko Vatanen Lapin-AMK.

Opinnäytetyö prosessi kesti kokonaisuudessaan vuoden. Kiitos ajankäytön ymmärtämisestä perheeleni, sekä työnantajalleni Savonia-AMK Oy:lle.

Kuopiossa 22.5.2017

Hannu Haaranen

## VIERAILUKOhteet ja opinnot

9-12/2016 PUURAKENTEIDEN SUUNNITTELUN ERIKOISJAKSO, 5 OP. SAVONIA-AMK / TKT ARTO PUURULA

24.11/2016 TUTUSTUMINEN JOENSUUN PUUKERROSTALOTYÖMAALLE / PROJEKTIPÄÄLLIKKÖ PETTERI ELONEN

24.11/2016 SEMINAARI, PUUNKÄYTTÖ KOULU JA PÄIVÄKOTIRAKENTAMISESSA JOENSUU/ KARELIA-AMK

29.3/2017 PUUINFO, SEMINAARI PUURAKENTAMISEN TYÖMAATEKNIikka KUOPIO /PUUINFO, TERO LAHTELA

6.4/2017 TYÖMAAVIERAILU JOENSUUN PIHAPETÄJÄ/ PROJEKTIPÄÄLLIKKÖ. PETTERI ELONEN

4-7.5.2017 PUUINFON OPINTOMATKA SAKSAAN, SUURET PUURAKENTEET, PUUELEMENTTIVALMISTUS, ASUNTORAKENTAMINEN/ PUUINFO, MIKKO VILJAKAINEN, YMM PETRI HEINO

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	7
1.1	Future possibilities for CLT .....	7
1.2	Lyhenteet ja määritelmät .....	8
2	PUUKERROSTALO .....	9
2.1	Puukerrostalorakentamisen historiaa .....	10
2.2	Puukerrostalon tulevaisuuden näkymät Suomessa .....	11
2.3	Puukerrostalon rakenne .....	11
2.4	Puukerrostalon palosuojaus .....	16
2.5	Rakennusaikainen kosteudenhallinta .....	17
2.6	Kosteudenhallintasuunnitelma .....	19
2.7	Kosteudenhallinnan toteutus .....	19
3	PUUKERROSTALOJEN ELEMENTTIJÄRJESTELMÄT .....	23
3.1	Tilaelementtijärjestelmä .....	23
3.2	Pilari-, palkki- ja laattajärjestelmä .....	26
3.3	Suurelementtijärjestelmä .....	28
4	PUUKERROSTALOKONSEPTIT SUOMESSA 2017 .....	31
4.1	Stora-Enso kerrostalojärjestelmä .....	31
4.2	Metsä-Wood kerrostalojärjestelmä .....	33
4.3	PuuMera kerrostalojärjestelmä .....	36
4.4	Elementti Sampo kerrostalojärjestelmä .....	39
5	PUUKERROSTALON KUSTANNUKSET .....	40
5.1	Kustannusten herkkyystarkastelu .....	40
5.1.1	Kustannusvertailu .....	41
5.1.2	Tilaelementtien teoreettinen kustannus .....	42
5.1.3	Kerrostalon muut rakennustekniset työt .....	43
5.1.4	Työmaan taloteknisetkytkennät ja runkolinjat .....	43
5.1.5	Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset .....	43
5.1.6	Rakennuttajakustannukset .....	44
5.2	Rakennushankkeen kustannusten jakautuminen kerrostalorakentamisessa .....	45
5.3	Puukerrostalon kannattavuus perustajaurakoitsijan näkökulmasta .....	46
5.4	Puukerrostalon kannattavuus vuokratuottojen näkökulmasta .....	48

5.5	Puurakentamisen kannattavuus pääurakoitsijan näkökulmasta .....	50
5.6	Katteen muodostuminen .....	51
5.7	Investoinnin kannattavuus .....	53
5.8	Ajan vaikutus rakennusurakan kannattavuuteen .....	53
5.9	Ajan vaikutus perustajaurakan kannattavuuteen .....	58
5.10	Yhteenvedo kannattavuudesta .....	61
6	PUUKERROSTALON RAKENNUUTTAMINEN .....	62
6.1	Hankkeen valmistelu .....	62
6.2	Urakkamuodot .....	63
6.2.1	Jaettu-urakka .....	64
6.2.2	Kokonaisvastuurakentaminen .....	66
6.2.3	Projektinjohtourakointi .....	67
6.2.4	Yhteenvedo urakkamuotojen soveltuvuudesta .....	69
6.3	Pääsuunnittelijan rooli .....	70
6.4	Rakennussuunnittelijan rooli .....	70
6.5	Rakennesuunnittelijan rooli .....	71
6.6	Suunnitteluvalmius .....	72
6.7	Tietomallinnuksen hyödyntäminen puurakentamisessa .....	72
6.8	Rakennuttamisen aikataulu .....	74
6.9	Työmaan rakennusvaiheet .....	75
6.10	Työmaan asennusaika .....	77
6.11	Laadunhallinta .....	79
7	YHTEENVETO .....	83
7.1	Prosessin muutos .....	83
7.2	Hankkeen osapuolten vaikutus prosessin kehitykseen .....	84
7.3	Puurakentamisen top- 10 .....	86
8	POHDINTA .....	87
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT .....	88

## 1 JOHDANTO

Puurakentaminen ei ole vielä pystynyt haastamaan isossa mittakaavassa vakiintunutta betonirakentamista asuin kerrostalon rakentamisessa. Syitä puurakentamisen vähäiselle käytölle asuin kerrostaloissa on useita. Usein puurakentaminen mielletään kalliiksi, vaikeaksi ja riskialttiiksi toteuttaa ja myydä. Totuttu betonirakentaminen näyttää täyttävän tämän hetkisen tarpeen, joten erityistä merkitystä puurakentamiselle ei ole vielä syntynyt.

Tämä opinnäytetyön tavoitteena on käsitellä puurakentamisen prosessia kokonaistaloudellisuuden kannalta, sekä selvittää niitä asioita joita rakentamisen hankkeen aikana tulee huomioida. Asiaa tarkastellaan rakennuttajan, perustajaurakoitsijan ja rakennusurakoitsijan näkökulmasta.

Työssä selvitetään teoriatiedon, sekä aiempien tutkimusten ja selvitysten perusteella niitä kipukohtia, jotka koetaan esteiksi puurakentamisessa. Työn aikana tutustutaan eri puurakentamisen kohteisiin, sekä haastatellaan vapaamuotoisesti projektiin osallistuvia henkilöitä. Työn lopputulos syntyy konstruimalla uutta opittua ja aiemmin opittua rakennusliikekokemusta hyödyntäen.

Työn tutkimuksellisenä osana tutkitaan puurakentamisen kannattavuutta kvantitatiivisella menetelmällä. Kvantitatiivisen tutkimusaineiston pieni määrä tulee huomioida tuloksia tulkittaessa. Teoreettinen osuus työssä koostuu kvalitatiivisesta tutkimuksesta, jonka tuloksia on reflektoitu opinnäytetyöhön. Tämän työ antaa hyvän ja perusteellisen kokonaiskuvan puurakentamisen mahdollisuuksista, vaatimuksista, haasteista, sekä kehitystarpeista. Tietoja voidaan hyödyntää tarveselvitysvaiheessa, kun hankkeen toteutusmuotoa ollaan miettimässä.

### 1.1 Future possibilities for CLT

Opinnäytetyön tilaajana toimii Lapin ammattikorkeakoulu. Tilaajan yhteyshenkilönä on projektipäällikkö Mikko Vatanen. Opinnäytetyö liittyy Interreg Nord -hankkeeseen, jossa partnereina ovat Lapin AMK, Digipolis Oy, Luleån yliopisto, Science partner, Centria, Skellefteå -municipality ja Lapinliitto. Hanke on osittain EU rahoitteinen CLT -rakentamista edistävä hanke, joka on alkanut syksyllä 2015 ja päättyy keväällä 2018. Hankkeen tavoitteena on tuoda esille CLT -rakentamisen monimuotoiset mahdollisuudet, joita ei vielä välttämättä ole tunnistettu.

Hankkeeseen on muodostettu työryhmiä Suomesta, Ruotsista ja Norjasta. Työryhmät kokoontuvat 1 - 2 kertaa vuodessa. Kokonaisbudjetiltaan hankkeen koko on 1,3 M€, josta interreg Nord rahoittaa 66 %, Lapin Liitto 11 %, Skellefteå kommun 10 % ja muut kumppanit 13 %.

## 1.2 Lyhenteet ja määritelmät

CLT= cross laminated timber

KSE= konsulttisopimusehto

KVR= kokonaisvastuurakentaminen

KVV= kiinteistön vesi ja viemäri

LEED= Leadership in Energy and Environmental Design

LVL= liimapuurakenne

LVIA= lämpö-, vesi-, ilmastointi-, automaatiourakka

RAK= rakennesuunnittelija

Rakennuttaja= rakennushankkeeseen ryhtyvä

RH= suhteellinen kosteus %

RunkoPES= puuelementti systeemi

RYHT= rakennustuotteiden yleiset hankintaehdot

RYL= rakennustöiden yleiset laatuvaatimukset

SÄ= sähköurakka

TaTe= talotekniset järjestelmät

Tilaaaja= kokonaisuuden tai osasuoritteen tilaaja

VSS= väestönsuoja

YSE= yleiset sopimusehdot

hum2= huoneistoneliömetri.



## 2 PUUKERROSTALO

Tällä hetkellä suomessa on saatavilla useita eri kerrostalorakentamiseen soveltuvia konsepteja. Tässä työssä selvitän neljän eri toimittajan puukerrostalokonseptia. Konseptit poikkeavat toisistaan merkittävästi niiden rakennusosien perusteella. Tämä mahdollistaa puurakentamisen hyödynnettävyyden tapauskohtaisesti hankkeen erityispiirteet huomioiden. Osittain kaavamääräykset tai tilaajan tarpeet, sekä tilaajan resurssit voivat asettaa puukerrostalolle erityisvaateita, jolloin sopivaa kerrostalokonseptia käyttämällä voidaan vastata tapauskohtaisiin tarpeisiin.

Asuinkerrostalon rakentaminen teknisesti toimivaksi ei ole enää este puurakentamisen käytölle. Kaikki rakenteelliset haasteet voidaan hallita hyvällä arkkitehtuuri- ja rakennesuunnittelulla. Hyvien suunnittelu- ja toteutuskäytäntöjen yhteensovittaminen onkin avainasemassa aina, kun uutta toteutusmuotoa lähdetään kehittämään.

Voidaan myös todeta että puukerrostalon rakentamiskustannukset on laskettu ja vertailtu useissa eri selvityksissä. Tämän hetken tietämyksen mukaan puukerrostalon kustannus Suomessa on noin 100-300 €/ham2 kalliimpaa, kuin betonirakenteinen kerrostalo. Merkittävä osa kustannuksen ylityksestä verrattuna betonirakentamiseen muodostuu automaattisesta sammutusjärjestelmästä, sääsuojauksesta sekä suunnittelukustannusten lisääntymisestä, joista kukin voi nostaa hintaa noin sadalla eurolla huoneistoneliometriä kohden. (Tompuri, Korhonen, Mölsä 2016-11-18.)

Ruotsissa puukerrostalojen markkinaosuus 20 % markkinasta. 70 - 80 % taloista toteutetaan tilaelementtimoduuleilla ja puoleen urakoista on keskittynyt yksi yritys. Kustannustaso Ruotsissa on saatu jopa alle betonielementtirakentamisen kustannuksen. (Haapio 2013, 16.) Joten voidaan olettaa että Suomessakin on puurakentamisella mahdollisuutta haastaa vakiintunut betonirakentaminen.

Luotettavien rakennuskustannusten saamiseksi tulee ajankulua ja hankkeita toteuttaa, joiden perusteella voidaan saada luotettavaa jälkilaskentatietoa. Yksittäisten hankkeiden aiheuttamat kustannusten nousut vääristävät vielä vertailuhintoja, sekä ovat usein harjaantumattoman prosessin aikaansaannoksia. Betonirakentamiseen on saatu kohtuullisen luotettavaa yleistä kustannustietoa mm. Klaranet ja Haahtela, joita alalla yleisesti sovelletaan. Myös rakennusliikkeiden jälkilaskentatiedot ovat ajan saatossa kehittyneet erittäin tarkoiksi juuri betonisten asuin kerrostalojen osalta. Vastaavanlainen pitkän ajanjakson jälkilaskentatieto puuttuu luonnollisesti puurakentamiselta, koska toteutukset ovat olleet yksittäisiä kerrostaloja, usein koeluontoisia hankkeita. Hankkeiden taloudellisesta kannattavuudesta ei projektin ulkopuolella juurikaan tiedetä.

## 2.1 Puukerrostalorakentamisen historiaa

Puukerrostaloja on rakennettu Suomessa jo 1800-luvun lopulla. Pääosin kolmikerroksisina, pohjakerros kivistä ja kaksi ylintä kerrosta puusta. Esikuvat oli saatu ulkomailta ja osasyynä oli rakennuskustannusten pienentäminen. (Ijäs 2013, 56.) Oletettavasti puumateriaalien helppo ja runsas saatavuus sekä puurakentamisen osaaminen paikallisesti mahdollisti puun käytön edullisena rakennusmateriaalina.

1900-luvun alussa oli tyypillistä sekarakenteiset kerrostalot, joissa välipohjat ja vesikattorakenteet olivat pääosin puurakenteisia, muutoin runko-osat kivirakenteisia. Teollisen asuinrakentamisen ensimmäinen murros tapahtui 1950-luvun aikoina, jolloin Helsingin Tapiolan rakentamisessa pyrittiin suosimaan sarja- ja elementtituotannon tuomia etuja. Elementtirakentaminen koki kuitenkin kolauksen tuolloin, ollen kalliimpaa kuin perinteinen rakentaminen. Teollinen rakentaminen ottikin tuolloin muutamaa vuotta viiveen ennen seuraavan aallon tuleamista. (Ijäs 2013, 56 – 57.)

Teollinen rakentaminen alkoi kehittymään merkittävästi 1960-luvulla, voimakkaan maalta kaupunkiin muuton seurauksena ja kaupunkiasuntojen kysynnän lisääntymisen johdosta (Betoniteollisuus Ry). Tämän jälkeen puurakentamisen osuus kerrostalorakentamisessa on vähentynyt tasaisesti (Ijäs 2013, 57). Puukerrostalojen rakentaminen jäi siis betoniteollisuuden elementtitekniikan kehittymisen jalkoihin, rakennusmääräykset eivät sallineet yli kaksikerroksisen puukerrostalon rakentamista ilman poikkeuslupaa ennen 1.9.1997 voimaan tulleita palomääräyksiä. Tämän jälkeen voitiin rakentaa 3 - 4 kerroksisia puurakenteisia kerrostaloja. (Tikkanen 2010, 11.)

Puukerrostaloja ohjaavat palomääräykset uudistuivat rakennusmääräyskokoelma E1 uudistuksessa 15.4.2011, jolloin määräykset mahdollistavat puurakenteisten kerrostalojen rakentamisen 8 -kerroksisena P2 luokassa taulukkomitoitusmenetelmällä. Vuoden 2018 aikana on lupailtu rakennusmääräysten edelleen parantavan puurakentamisen kannattavuutta. Kun puurakentamisen ilmastopoliittinen puoli tiedostetaan paremmin, sekä puurakentamisen rakentamisen paloturvallisuus määräyksiä järkeistetään mahdollistavat ne osaltaan puurakentamisen läpimurtoa lähivuosina (Koivula 2017-01-17).

## 2.2 Puukerrostalon tulevaisuuden näkymät Suomessa

Puukerrostalojen julkisuus on noussut 2010-luvun lopulla merkittävästi esille. Työ ja elinkeinoministeriön alainen Metsäalan strateginen ohjelma (MSO) on asettanut tavoitteen puurakentamisen merkittävälle lisäämiselle vuoteen 2015 mennessä, jolloin puukerrostalojen tavoitellaan olevan 10 % markkinaosuudesta (Heikkilä 2012 – 08 - 20). Vuonna 2015 on Suomessa valmistunut yhteensä 17 101 kerrostaloasuntoa (Suomen virallinen tilasto 2017a). Jotta Metsäalan strategisen ohjelman (MSO) mukainen tavoite olisi saavutettu vuonna 2015, olisi tuolloin tullut rakentaa noin 1710 puurakenteista kerrostaloasuntoa.

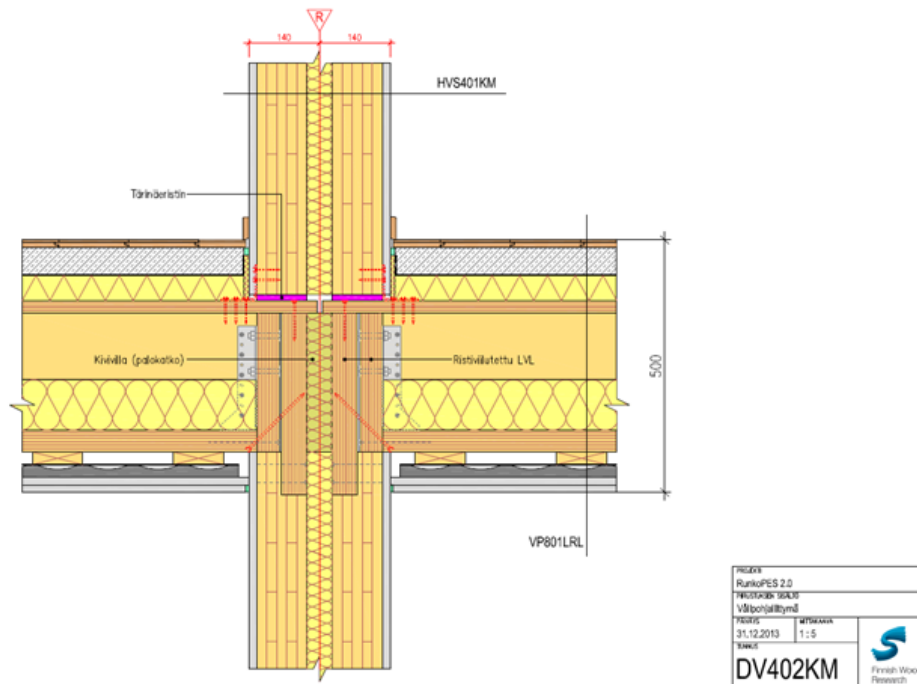
Ympäristöministeriössä puurakentamisen edistämisestä vastaava ohjelmapäällikkö Petri Heinon mukaan vuonna 2015 puukerrostalojen markkinaosuus oli 3,9 prosenttia. Vuonna 2016 tilanne on edelleen parantunut, sillä tammi-elokuussa vuonna 2016 aloitetuista kerrostalotyömaista puurakennusten osuus on ollut lähellä kuutta prosenttia ja suunnittelupöydillä on noin 6 000 puukerrostaloasuntoa. (Järvinen 2016 - 06.)

Vuoden 2017 aikana suomeen on noussut noin 570 puurakenteista kerrostaloasuntoa (Holopainen 2017 - 02, 25). Tämän lisäksi Joensuussa on suunnitteilla yhteensä 117 asuntoa (Elonen 2017-04-06). Rovaniemellä on suunnitteilla 106 asuntoa (Passoja 2016-11-09). Talojen rakentaminen todennäköisesti alkaa vuoden 2017 aikana. Kun verrataan vuoden 2017 aikana rakennettuja ja rakenteilla olevia puukerrostaloasuntoja ja vuosien 1996 - 2012 aikana rakennettuja puukerrostalojen määrää keskenään, voidaan hyvin todeta että puukerrostalorakentamisessa on tällä hetkellä menossa jonkinmoinen buumi. Vuosien 1996 – 2012 aikana rakennettiin 649 puurunkoista kerrostaloasuntoa yhteensä 37 rakennukseen (Ijäs 2013, 58.) Lähes sama määrä puurakenteisia kerrostaloasuntoja on rakenteilla yhden vuoden aikana vuonna 2017.

Voidaankin olettaa että puurakentaminen tulee kasvamaan merkittävästi lähivuosina. Kun otetaan huomioon vuonna 2016 suunniteltujen 6000 asunnon markkinoille tulo, lisännee tämä merkittävästi puurakenteisten kerrostalojen rakentamista lähivuosina.

## 2.3 Puukerrostalon rakenne

Rakennejärjestelmissä esitellään kolme tyypillistä puukerrostalon rakennejärjestelmää, joille Suomesta löytyy toteutuskonsepti. Rakennejärjestelmät tukeutuvat pääsääntöisesti RunkoPES järjestelmään. RunkoPES järjestelmän tarkoituksena on vakioida puuelementtirakentamista yhden suuntaiseksi (Haapio 2013, 27). Tällöin rakennuttajalla on suunnitelmaratkaisuista riippumatta mahdollisuus laajempaan runkotoimittajan kilpailuttamiseen. Kuvassa 1 on esimerkkinä RunkoPES 2.0 välipohjan liittyminen, jota voidaan soveltaa useiden eri toimittajien valmistusmenetelmiin.



KUVA 1. RunkoPES välipohjaliittymä DV402KM (Puuinfo 2013, 36.)

Lähtökohtaisesti puurunkoinen kerrostalo vaatii huoneistojen väliseiniin, laattoihin sekä kannatuspalkkeihin kaksinkertaisia rakenteita, kuten kuvasta 1 nähdään. Tällä menetelmällä saavutetaan riittävä ääneneristävyys ja palonkesto aika asuinhuoneiden ja kerrostasojen välille. Tällainen kaksikerroksinen rakenne on puurakentamisessa tyypillinen rakenneratkaisu. Tästä johtuen käytetyn runkomateriaalin tilavuus suhteessa betonirunkoiseen kerrostaloon on merkittävästi suurempi, joka vaikuttaa käytettävän rakennusoikeuden hukkaamiseen rakenteisiin. Tämä "hukkaus" tulisi kompensoida muulla hyödyllä, siten että puurakenteisesta kerrostalosta saadaan rakennuttajan kannalta kannattavaa liiketoimintaa. Kokonaisuuden kannalta merkittävää on rakennuttajan investointistrategia kohteelle.

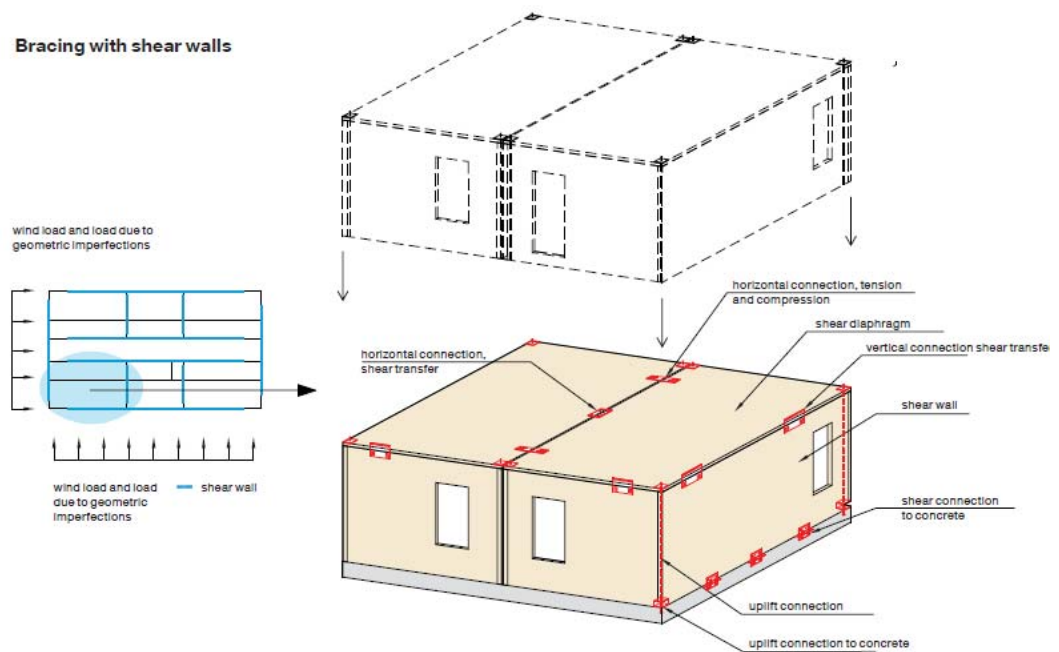
Puurakennuksen rakenteellinen jäykkyys varmistetaan joko mastopilareilla ja välipohja, sekä yläpohja laattalla, jäykistävillä väliseinillä ja välipohjalla, sekä yläpohja laattalla. Rakennuksesta voidaan muodostaa erillisistä tilaelementeistä yhdistämällä useita torneja, jotka ankkuroidaan vetotangoilla, tai kiinnityslevyillä perustuksiin. Rakennukseen voidaan tehdä myös jäykistävä "torni" teräsbetonirakenteisena, johon välipohja laatta siirtää rakennukselle muodostuneet vaakavoimat. Rakennuksen jäykistäminen riippuu täysin siitä millainen rakennejärjestelmä rakennukselle valitaan.

Elementtien muodostama jäykkä torni muodostuu pääsääntöisesti huoneiston pohjanalan mukaan. Elementit kasataan työmaalla päällekkäin ja tasot liitetään toisiinsa kuvan 2 mukaisilla teräslevyillä joissa on värähtelyä vaimentavaa kumia. Näin tasoista saadaan liitettyä yhtenäinen tasolaatta, joka siirtää vaakavoimia jäykistävälle rakennusosalle. Jäykistävänä rakennusosana voivat olla mastopilarit, väli ja ulkoseinät tai erillinen jäykistävä betonirakenne.



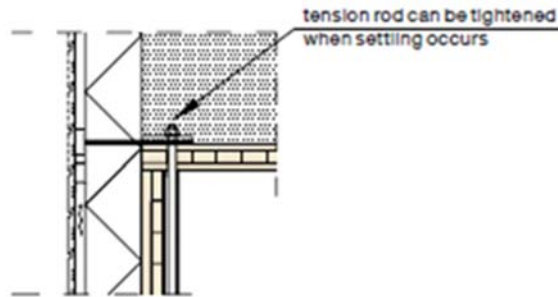
KUVA 2. Tilaelementtien liitoslevyt (Haaranen 2016.)

Kuvassa 3 esitetään tilaelementtien muodostama jäykkä yksikkö joka ottaa vastaan rakennukselle muodostuvat vaaka ja pystykuormat. Yhdistetyn laatan siirtämät vaakavoimat siirretään jäykistävien seinien kautta perustuksille veto ja puristusankurein, vajierein tai teräslevyjen avulla.

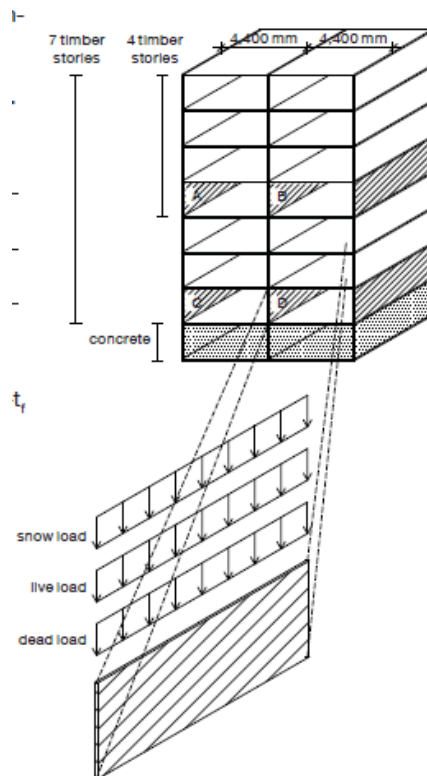


KUVA 3. Tilaelementtien liitokset (Stora Enso 2016a, 26.)

Kuvassa 4 on esitetty elementin ankkurointi joka siirtää elementille aiheutuneen vedon perustuksille ja kuvassa 5 on esitetty jäykistävien elementtien muodostama torni, sekä kuormitusvoimien siirtymien kellarin rakenteiden kautta perustuksille.

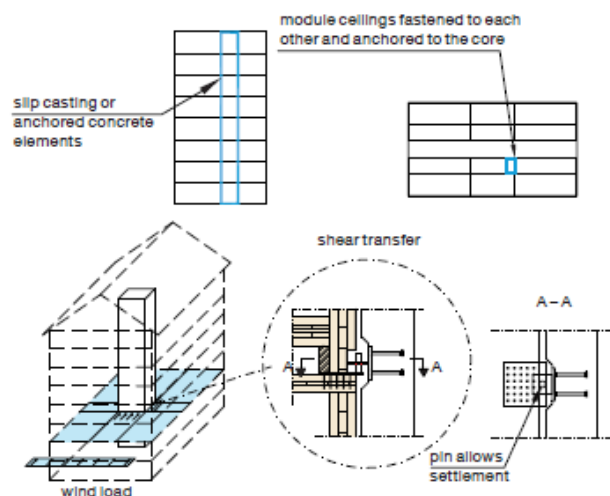


KUVA 4. Vetoankkurin sijainti elementissä (Stora Enso 2016a, 24.)



KUVA 5. Kuormitusten siirtyminen perustuksille (Stora Enso 2016a, 22.)

Rakennus voidaan jäykistää myös teräsbetonisella porrashuoneelle tai hissikuilulla, kuten kuvassa 6 on tehty. Tällöin yhdistetty välipohjalaatta siirtää vaakavoimat jäykistävälle rakenteelle, joka siirtää kuormat perustuksille. Tällaisissa yhdistelmä rakenteissa tulee erityistä huomiota kiinnittää eri rakennusaineilla toteutettujen rakennusosien painumaeroihin.



KUVA 6. Rakennuksen jäykistäminen betonirakenteiseen torniin (Sora Enso 2016a, 26.)

Toteutustavan mukaan painumat ovat puurakenteille vähimmillään 1 mm/ kerrostaso kun toteutetaan kertopuisena kokorakennuksen korkeudella olevien mastopilarien varaan, jossa kuormitus tulee syynsuuntaisena. Painumat ovat 3 mm/ kerrostaso, kun rakennus koostuu useista puun eri syynsuuntaan olevista kerroksista ja liitoksista (Sora Enso 2016b, 23). Painumat tulee tapauskohtaisesti suunnitella materiaalitoimittajan ohjeita soveltaen. Erityistä huomiota on kiinnitettävä painumattomien ja painuvien rakenteiden väliseen suunniteluun, kuten teräsbetonisen rakenteen ja puurakenteen liitoksiin.

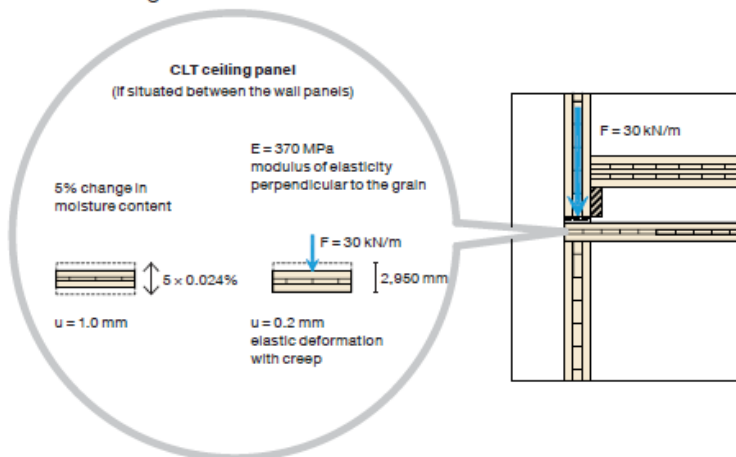
Kuvassa 7 on esitetty rakenteiden painuminen, kun puun syyn poikkisuuntaan kohdistuu kuormituksia. Puun painumiseen vaikuttaa rakennusaikainen kosteus, puunlopullinen kuivuminen, puunsyiden suunta kuormitukseen nähden, sekä kuormituksen määrä.

### Modulus of elasticity

CLT

Parallel to the grain: 12,500 MPa

- perpendicular to the grain: 370 MPa



KUVA 7. Rakenteen painuman muodostuminen (Sora Enso 2016b, 23.)

## 2.4 Puukerrostalon palosuojaus

Kolmesta kahdeksaan kerroksiset puukerrostalot kuuluvat paloluokkaan P2. P2 luokkaisen puurunkoisen kerrostalon palomääräykset on esitetty tiivistetysti ja selkeästi Lapin-amk:n julkaisussa CLT – monipuolinen, nopea ja ekologinen rakennusmateriaali 2017 (Sirkka ja Pirinen 2017, 24 - 25).

- *Yli 2 kerroksiset puukerrostalot tulee varustaa automaattisella vesisammutusjärjestelmällä.*
- *3-4 kerroksiset asuinrakennukset varustettava vähintään SFS-5980-standardin 2-luokan mukaisella automaattisella sammutusjärjestelmällä.*
- *5-8 kerroksiset asuinrakennukset varustettava vähintään SFS-EN 12845-standardin OH-luokan vaatimustason mukaan. Asuinrakennusten sammutuslaitteisto tulee myös varustaa varmennetulla vesilähteellä.*
- *3-4 kerroksiset asuinrakennuksen tulee varustaa myös OH-luokan automaattisella sammutusjärjestelmällä, mikäli puurunkoisen kerrostalon sisäpinnat halutaan verhoilla puulla.*
- *P2-luokkaisen 3-8 kerroksisen työpaikkarakennuksen automaattisen sammutusjärjestelmän tulee myös olla OH-luokkaa.*
- *3-4 kerroksiset rakennukset eivät saa ylittää 14 metrin räystäskorkeutta, eivätkä 5-8 kerroksiset 26 metrin.*
- *Kantavien rakenteiden luokkavaatimus on 60 minuuttia (R 60).*
- *Osastoivien rakenteiden tiiviys ja eristävyys luokkavaatimus on 60 minuuttia (EI 60).*
- *Parvekkeiden kantavien rakenteiden luokkavaatimus on 30 minuuttia (R 30) ja parvekelaatan osastoivisuusvaatimus 30 minuuttia (EI 30).*
- *Kellarikerroksen kantavat rakenteet on tehtävä vähintään A2-s1, d0-luokan tarvikkeista.*
- *Rakennuksen eristeiden ja muiden täytteiden tulee olla vähintään luokkaa A2-s1, d0.*

Puurakenne on palavaa materiaalia, mutta toisaalta puulla voidaan saavuttaa kohtuullisesti 30 - 120 minuutin palonkesto aika. Puukerrostaloille tulee tapauskohtaisesti tehdä palomitoitus ja tarvittaessa suojata palavat puurakenteet suojaverhouksella, esimerkiksi kipsikartonkilevyillä. (Puuinfo 2017a.)

Puukerrostalojen palosuojauksia voidaan parantaa ja usein joudutaan parantamaan asuin tiloissa automaattisella sammutusjärjestelmällä. Sammutusjärjestelmäksi suositellaan korkeapaine vesisumu sprinkleriä, joka lauetessaan sumuttaa vesisumua joka tukahduttaa palamisen. Järjestelmä ei aiheuta rakenteiden voimakasta kastumista vaan sammuttamien perustuu hapen syrjäyttämiseen. (Puuinfo 2017a.)

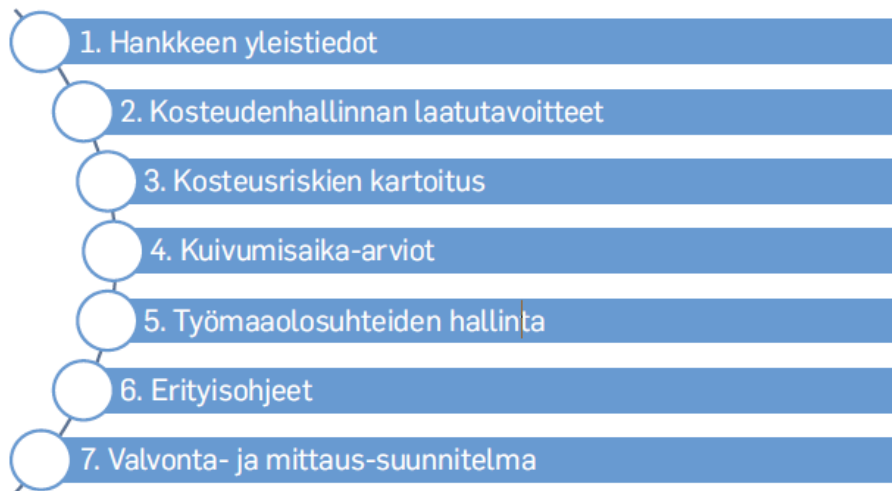
Rakennuksille on mahdollista tehdä toiminnallinen rakenteiden palomitoitus. Oikein tehdyllä toiminnallisella rakenteiden palomitoituksella parannetaan rakennuksen paloturvallisuutta merkittävästi, samalla parannetaan rakennuksen käytettävyyttä sekä mahdollistetaan näkyviä puupintoja enemmän kuin rakennukselle jolle ei ole tehty toiminnallista rakenteiden palomitoitusta. (Hietaniemi 2014.)



## 2.5 Rakennusaikainen kosteudenhallinta

Rakennusaikainen kosteudenhallinta on tunnistettu merkittäväksi tehtäväksi puurakentamisen osalta. Mitä korkeampi valmiusaste puuelementeillä on sitä merkittävämpää on oikeanlaisen rakennusaikaisen sääsuojauksen tekeminen. Oikeanlaisella kosteudenhallinnalla tulee varmistaa rakennuksen käytönai- kainen turvallisuus ja terveellisyys.

RIL mukaista rakennushankkeen kosteudenhallinnan prosessia on kuvattu kuviossa 1. Samalla pro- sessilla voidaan hallita puurakentamiseen ja betonirakentamiseen liittyvää kosteudenhallintaa.



KUVIO 1. Kosteudenhallinnan prosessikaavio (Sirkka ja Pirinen 2017, 40) (RIL 250 - 2011, 95 – 97.)

Puurakentamisen suunnittelustandardi SFS 5978 toimii suunnittelun ja toteutuksen välisenä ohjaavana työkaluna, jolla ohjataan puurakentamisen laatua. Standardin avulla voidaan siirtää suunnittelussa esitetyt vaatimukset toteuttajille. Suunnittelija voi käyttää standardia myös tarkistusluettelona, jonka avulla hän varmistaa antavansa toteuttajalle kaikki olennaiset rakenteen toteutuksessa tarvittavat tek- niset tiedot. Standardin avulla voidaan myös ohjata työmaan olosudehyhallintaa. Olosudehyhallinnan menettelyt olisi hyvä käsitellä hankkeen urakkaohjelmassa, jossa vastuut ja velvoitteet rakennushank- keen osalta määritetään. Standardi SFS 5978 määrittää kosteuden hallinnan neljään eri suojausta- soon. Suojaustasot on nimetty seuraavasti. Suojaustaso 0 ST0, suojaustaso 1 ST1, suojaustaso 2 ST2, suojaustaso 3 ST3.

ST0 suojaustaso ei vaadi erityistä suojausta. Kosteus on tällöin riippuvainen ilmastosta ja rakenteen kosteuspitoisuutta ei voida määrittää. ST0 suojaustasolla toteutettavat kohteet suositellaan tehtäväksi vain talvikausina ja lyhytkestoisissa töissä. Materiaalin varastoinnissa ei kuitenkaan sallita maako- ske- tusta (Puuinfo 2017b, 18). ST1 suojaustasossa rakenne suojataan muoveilla tai pressuilla, kuten ku- vassa 8. Rakenteiden kosteuspitoisuus tulisi pysyä alle 20 %:ssa. Varastoinnissa on huomioitava riit- tävä tuuletus (Puuinfo 2017b, 18).



KUVA 8. Suojaustaso 1 mukainen sääsuojaus (Haaranen 2016.)

Kuvassa 9 on esitetty ST2 suojaustaso, jossa rakennuksessa on nouseva sääsuojaus. Rakenteen kosteuspitoisuuden tulee pysyä alle 20 %:ssa. Rakenteella tulee olla tällöin kiinteä katesuojaus (Puuinfo 2017b, 18).



KUVA 9. Suojaustaso 2 mukainen nouseva sääsuoja (PuuMera 2016a.)

Suojaustasossa ST 3, suojauksen sisälle on järjestettävä sisäolosuhteita vastaava lämpötila jossa rakenteen kosteuspitoisuus pidetään alle 15 %:ssa (Puuinfo 2017b, 18).

## 2.6 Kosteudenhallintasuunnitelma

Kosteudenhallintasuunnitelma sisältää koko prosessin aikaisen kosteuden hallinnan menettelyt. Kosteudenhallintasuunnitelmassa tulee käsitellä rakenteen kuivaketju teollisuudesta työmaa-aikaiseen asennukseen (Toratti, 12). Tämän vuoksi kosteudenhallintasuunnitelma tulee tehdä yhteistyössä rakennuttajan, elementtien toimittajan, päätoteuttajan, sekä suunnittelijoiden kesken. Kosteudenhallinnan vastuu on tavanomaisesti hankkeen päätoteuttajalla. Sopimusmenettelyissä tulee täsmentää kenen johdolla työmaan kosteudenhallinta suunnitelma ja toteutus ovat.

Kohteen kosteudenhallinnantason määrittämisessä tulee selkeästi osoittaa vaadittu suojaustaso, jonka mukaisesti toteuttaja laatii kosteudenhallinta suunnitelman (Toratti, 8). Suojaustason määrittää hankkeen rakennuttaja yhdessä rakennesuunnittelijan ja pääsuunnittelijan kanssa. Kosteudenhallintasuunnitelman laatii usein päätoteuttaja, jonka tulee rakennesuunnittelijan kanssa tehdä tiivistä yhteistyötä. Kosteudenhallinta suunnitelman tulee olla tehtynä hankkeelle jo varhaisessa vaiheessa ennen rakennusosien valmistusta ja asennusta. (Puuinfo 2017b, 16.) Kosteuden hallintasuunnitelmassa tulee käsitellä hankkeen kosteuslähteet, suojaustaso ja suojaustasonmukaisten olosuhteiden hallinnan menettelyt ja mittaukset toteutuksessa (RIL 250 - 2011, 95 - 97).

## 2.7 Kosteudenhallinnan toteutus

Kosteudenhallinnan toteutuksessa tulee huomioida kosteudenhallintasuunnitelmassa määritetyt tavoitteet ja menetelmät (Puuinfo 2017b, 16). Sääsuojaus itsessään lisää rakentamisen kustannuksia ja kustannukset riippuvat täysin suojaustasosta ja käytetyistä kosteuden hallinnan muista menetelmistä. Suojaus voi toisaalta alentaa kustannuksia vähentämällä työmaahäiriöitä, rakenteen kuivatustarvetta, sekä parantamalla lopputuotteen laatua. Mikäli rakentamisessa yleisesti tilaajat ja viranomaiset alkavat vaatimaan selkeästi sääsuojausjärjestelmiä esimerkiksi kuivaketju- 10 ohjelman mukaisesti, tällöin tämä kustannusvaikutus ei kosketa pelkästään puurakentamista. Näin ollen kustannuksellista etumatkaa ei tule betonirakentamisen hyväksi, vaan puurakentamisen hyväksi. Hyöty puurakentamisen eduksi muodostuu betonirakennusta nopeammasta työmaavaiheesta, sekä betonirakenteen kuivattamisesta johtuvista kustannuksista joita puurakenteisessa kerrostalossa ei ole siinä määrin kuin betonirakenteisessa.

Runkoelementtien valmiusasteen ollessa matala ja elementtien ollessa pelkkiä runkoelementtejä, tällöin rakennusaikaisen kosteuden riski rakenteen laadulle voidaan kuvitella olevan vähäisempää kuin pitkälle valmistetuissa elementeissä joista kosteus ei pääse poistumaan haihtumalla yhtä helposti kuin avoimista rakenteista.



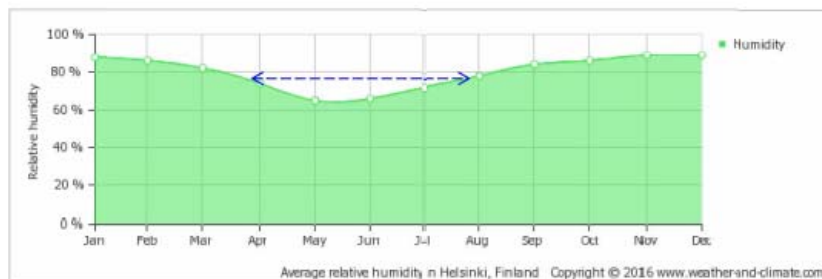
KUVA 10. CLT -runkoinen koulurakennus Keski-Euroopassa (Kuusela 2014, 14.)

Kuvan 10 kaltainen avoin rakentamistapa on hyvin tyypillistä Keski-Euroopassa, jossa puurakentamisella on pidemmät perinteet kuin Suomessa. Rakennuksia ei suojata sääsuojauksella ennen kuin rakennusten runko on valmis ja lopullinen vesikatto muodostaa sääsuojan. Tähän menettelyyn lienee syynä ilmaston eroavaisuudet, rakentamismääräykset ja harjaantuneempi, sekä nopeampi rakennuksen pystytysvaihe.

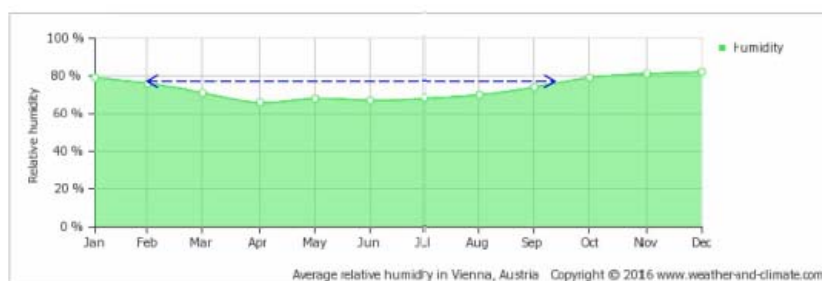
Tällaisen toimintatavan hyväksyminen Suomessa voisi olla haasteellista. Useinhan puurakenne käsitetään homehtuvaksi ja lahoavaksi materiaaliksi ja betonirakenne käsitetään kosteutta sietäväksi. Suomessa betonisia kerrostaloja toteutetaan tyypillisesti juuri tällä suojaamattomalla menetelmällä, ainakin toistaiseksi. Mielenkiintoista olisi vertailla rakenteiden kuivumisaikoja ilman sääsuojasta tehdyissä rakennuksissa, joista toinen olisi betonirunkoinen ja toinen CLT runkoinen kerrostalo.

Esimerkkinä ilmasto-olosuhteiden eroavaisuudelle voidaan ottaa vertailuna kuvion 2 taulukko, jossa Itävallan ja Suomen kosteusolosuhteiden eroavaisuutta toisiinsa nähden on havainnollistettu. Itävallassa ilmaston suhteellinen kosteus on alle 80 %, 7 kuukaudenajan vuodessa, kun vastaavasti Suomessa ilmaston suhteellinen kosteus on alle 80 %, vain 4 kuukaudenajan vuodessa. Tällöin rakenteen kuivumisaika on lähes puolet lyhempi Suomessa kun verrataan kuivumisaikaa Itävaltaan.

Suomi



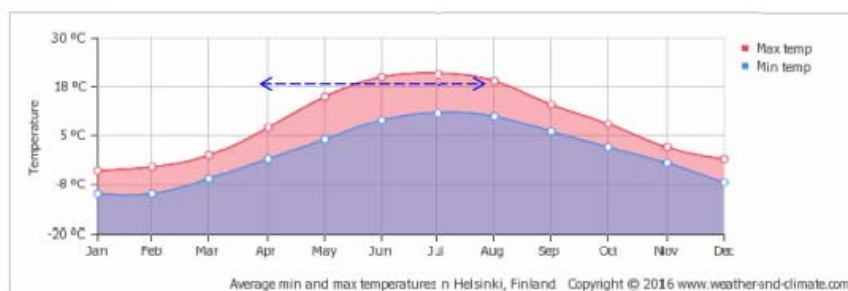
Itävalta



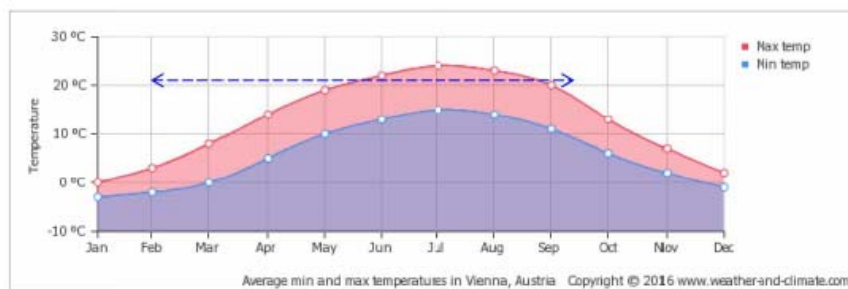
KUVIO 2. Ilmankosteus kuvaajana Suomessa ja Itävallassa (Puuinfo 2017b, 12.)

Myös maiden ilmaston eroavaisuus lämpötilan osalta on Itävallan eduksi. Kuviosta 3 voidaan tulkita että Itävallan lämpötilaolosuhteet mahdollistavat pidemmän ja voimakkaamman kuivumisjakson kuin Suomen olosuhteet. Kuviosta 3 nähdään että Itävallan kuivumisolosuhteet ovat noin 7,5 kuukautta, kun Suomessa kuivumisolosuhteet ovat suotuisat 4 kuukauden aikana. Kuivumisolosuhteen rajaksi tulkitaan lämpötilajakso, joka on keskimäärin yli  $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Suomi



Itävalta



KUVIO 3. Ilman lämpötilojen kuvaajana Suomessa ja Itävallassa (Puuinfo 2017b, 12.)

Rakennusteknisesti kosteuden hallinta on myös merkittävässä osassa. Esimerkkinä voidaan ottaa tehtaalta kuivana toimitetun elementin muodonmuutos kun rakenne kastellaan työmaalla. Rakenteen kosteus on toimituksen yhteydessä 12 %. Rakenne on työmaaloissa kastunut 24 %:n kosteuteen. 200 mm:n paksuisessa CLT -rakenteessa muodonmuutos on noin 6 mm, rakenteen turpoaminen häviää lämmityskaudella, jolloin rakenteiden väliin muodostuu kuivumisen yhteydessä useiden millimetrin raot. (Puuinfo 2017b, 18). Tämä aiheuttaa rakenteelle rakenteen laadun heikkenemistä, joka voi kertautua etenkin korkeissa rakennuksissa

Rakennusterveydellisesti on myös merkittävää että rakennushankkeet toteutetaan mahdollisimman hyvin säältä suojattuna. Hanna-Noora Juntila on tarkastellut Tampereen teknilliseen yliopistoon tekemässään diplomi-työssä pientalojen yläpohjien lämpö- ja kosteusteknistä toimintaa. Työssä hän on selvittänyt suhteellisen kosteuden ja lämmön vaikutusta homeen kasvamiseen.

Kosteuspitoisuuden RH: n ollessa yli 80 % ja lämmön ollessa yli + 0 °C, tällöin hapen ja ravinnon vaikutuksesta mikrobit alkavat kasvamaan lähes kaikilla pinnoilla joissa nämä suotuisat olosuhteet ovat. Näin ollen homeiden kasvua rakennuksissa voidaan rajoittaa ainoastaan pitämällä rakenteet kuivina. Mikäli RH on pitkään yli 90 % ja lämpötila on tällöin +10...+50 °C, tällöin homeen kasvamisen nopeutuu ja homeet alkavat muodostaa haittaa rakenteille. Lämpötilan laskiessa alle + 0 °C:een homeen kasvamisen pysähtyy väliaikaisesti, jatkuen taas kun suotuista olosuhteiden palaavat. (Junttila 2015, 40). Rakenteen kuivattaminen takaisin puurakenteelle vaadittavaan 12 %:iin on haasteellista saavuttaa tavanomaisissa työmaolosuhteissa ilman erityistoimenpiteitä.

### 3 PUUKERROSTALOJEN ELEMENTTIJÄRJESTELMÄT

Puukerrostalot toteutetaan pääsääntöisesti erilaisilla elementtitekniikoilla. Erilaisten elementtitekniikoiden valinnat vaikuttavat hankkeen toteutusmuotoon ja hankkeen aikatauluun. Elementtitekniikan valinnassa on huomioitava tapauskohtaisesti rakennuttajan ammattitaito ja resurssit, saatavilla olevat elementtitekniikat, rakennuksen muoto ja toteutusajankohta. Yksiselitteisesti ei voida sanoa millainen elementtitekniikka soveltuu kyseiseen hankkeeseen, vaan hankkeen muuttujien summa ohjaa tekemään hankkeeseen ja rakennuttajalle sopivimman elementtimenetelmän valinnan.

#### 3.1 Tilaelementtijärjestelmä

Tilaelementit koostuvat erillisistä huoneistoista tai huoneista, joiden valmiusaste on suurempi kuin suurelementeistä valmistetussa rakennuksessa. Tilaelementtien valmiusaste voi olla jopa lähelle muutovalmiutta. Tilaelementti ratkaisussa hyödynnetään usein mahdollisimman pitkälle vietyä valmiusastetta, jolloin tilaelementeistä rakentamisen työmaavaihe on lyhyt.



KUVA 11. Tehtaalla valmistettu tilaelementti (Elementti Sampo 2016.)

Tilaelementit nostetaan ja kytketään toisiinsa rakennesuunnittelijan määrittämällä tavalla. Tilaelementit yksin, tai yhdessä muodostavat huoneiston. Huoneistot ovat toisistaan irrallaan olevia yksiköitä, joista yhdistämällä tehdään yhtenäisiä "torni" rakenteita.



KUVA 12. As Oy Joensuun pihapetäjän tilaelementtejä välivarastoinnissa (Haaranen 2016.)

Haasteina tilaelementtirakentamisessa voidaan pitää tilaelementtien asennusajankohdan sääherkkyyttä, sekä tilaelementtitoimittajan toimituskapasiteettia. Asennuksia ei voi suorittaa sateella tai kovalla tuulella, asennusaikana kastuneet tilaelementit ja tilaelementtien väliin tulevien eristeiden kuivuminen on vaikea varmistaa, kova tuuli estää myös tilaelementtien asennuksen. Tilaelementtiä nostettaessa elementin pinta-ala muodostaa suuren tuulivastuksen ja elementin kohtuullisen pieni paino suhteessa tilavuuteen aiheuttaa tuuliherkkyyttä asennukseen. Tällöin aikataulun ennustettavuus on vaikeaa ja hyvin riippuvainen sääoloista. Ajankohtana parhaimmat asennus ajankohdat lienee tammikuun maaliskuussa kun sateet tulevat pääosin lumena ja sademäärät ovat vähäisiä. Tilaelementtien toimituskapasiteetti on avainasemassa onnistuneessa rakennushankkeessa. Tilaelementti toimituksessa toimitetaan lähes puolet tavanomaisen rakennustyömaan työsuoritteista kerralla, joten tilaelementti toimitus on kokohankkeen onnistumisen kannalta avainasemassa.

Asennuspäivän jälkeen työaikainen sääsuojaus tulee hallita erillisellä sääsuojakatolla. Kuvassa 13 on esitetty Joensuun pihapetäjän työmaan väliaikainen sääsuojakatto, joka on suunniteltu rakennuksen osalohkojen edistymisen mukaan. Lohkojako olisi hyvä noudatella asuntojen mukaan, jolloin säähäiriöherkkyyttä minimoidaan lyhytkestoisilla lohkoilla. (Elonen 2017-04-06.) Sääsuojakatto nousee rakennuksen kerroksien mukana. Sääsuojana ei suositella hyödyntämään kuvan 14 mukaista lopullista vesikatton rakennetta, koska vesikattorakenne voi menettää lujuutta ja muoto ominaisuuksia useiden siirtojen vuoksi.





KUVA 13. Väliaikainen sääsuojaus kattoelementti Joensuun pihapetäjän työmaalla (Haaranen 2016.)



KUVA 14. Lopullinen vesikattoelementti (Puuinfo 2017b, 20.)

Lopputuloksena tilaelementti ratkaisulla saavutetaan korkeanvalmiusasteen omaavia huoneistoja, joiden sisätyövaiheen kesto on merkittävästi lyhempi kuin paikalla rakentaen. Kuvassa 15 on esitetty tilaelementin sisustusvalmius ja pohjapiirros. Sisustuksen valmiusaste voidaan sopia hankinta-asia- kirjoilla tapauskohtaisesti.



KUVA 15. Tilaelementtien pohjapiirustus ja tilaelementtien sisutus (Elementti Sampo 2016.)

### 3.2 Pilari-, palkki- ja laattajärjestelmä

Pilari-palkki ja laattajärjestelmä koostuu pystypilareista, palkeista ja laatoista. Runkorakenteet ovat joko liimapuuta tai kertopuuta. Tasojen väliin asennetaan välipohjalaatta, sekä yläpohjalaatta. Rakenne jäykistetään joko mastopilareilla tai vinositein, sekä välipohjalaattojen avulla. Kuvassa 16 on esitetty tyypillinen pilari-, palkki- ja laattarakenteinen kerrostalon runko, jossa rakennus on saavuttanut vesikattovalmiuden ja seinien suojaustenjälkeen rakennus on sääsuojassa.



KUVA 16. Pilaripalkki rakenteinen kerrostalon runko (Metsä Wood 2013, 9.)

Pilaripalkki järjestelmän etuina voidaan pitää vähäisiä painumia, johtuen vähäisistä puunsiyyn suuntaan kohtisuorista liitoksista. Vapaa tilajärjestely mahdollistaa rakennuksen elinkaarenaikaisen tilojen käyttötarkoituksen muutokset, joka antaa rakennukselle pidemmän elinkaaren. Vapaa ulkoseinien aukotus, sekä tuotannon näkökulmasta rakennus saavuttaa vesikattovalmiuden nopeasti. (Puuinfo

2017d.) Haasteina voidaan olettaa olevan rakenteiden äänitekniikan suunnittelua, sekä välipohjien vaakanoistoin tapahtuvaa asennusta.

Pilari-, palkki-, laattajärjestelmä rakennetaan betonisten perustusten päälle. Kantava pystyrunko muodostuu rakennetta jäykistävistä mastopilareista, pystykuormia vastaanottavista pilareista, sekä välipohjaa kannattelevista palkeista. Rakennuksen välipohja siirtää vaakavoimia mastopilareille. Välipohjat tulee jakaa huoneistoittain erillisiksi jäykistäviksi laatoiksi. Vaipparakenteet, sekä välipohjat asennetaan rungon sisään vaaka-asennuksina. Kuvan 17 kerrostalossa asennetaan välipohjajaelementtiä rakennuksen vesikaton alla, sääsuojaassa ja kuvassa 18 nähdään valmiiksi asennettu välipohjalaatta ja rakennuksen ulkovaippa on suojattu muoveilla.



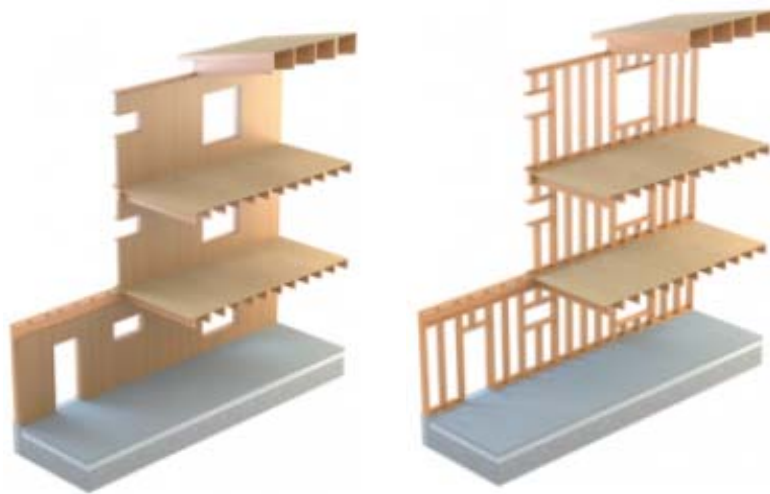
KUVA 17. Välipohjajaelementin asennustyö (Metsä Wood 2013, 10.)



KUVA 18. Runkotöiltä valmis kerrostaso pilari-palkkirunkoisessa kerrostalossa (Puuinfo 2017b, 22.)

### 3.3 Suurelementtijärjestelmä

Suurelementtijärjestelmänä toteutettu kerrostalo voidaan toteuttaa joko kuvan 19 mukaisilla CLT runkoisilla massiivipuu suurelementeillä, LVL runkoisilla massiivipuulementeillä tai rankarunkoisilla suurelementeillä. Elementtien valmiusasteen voi määrittää tapauskohtaisesti, mutta usein suositaan elementtien korkeaa valmiusastetta jossa elementtien ulkopuoliset pintarakenteet ja täydentävät rakennusosat, kuten ikkunat ja ovet on asennettu paikoilleen elementteihin. Erityistä huomiota tulee kiinnittää sisäpuolisen höyrynsulkurakenteen jatkuvuuteen ja tiiveyteen. Sääsuojausten toteutus on myös oleellinen osa suurelementtirakentamista. Sääsuojausten ja elementtien asennuksen toteuttaminen tulee suunnitella tapauskohtaisesti. Sääsuojausten tulee mahdollistaa pystysuuntaiset elementtien asennukset.



KUVA 19. CLT -runkoinen ja rankarunkoinen rakennus (Puuinfo 2017d.)

Massiivipuinen CLT -levy (cross laminated timber) LVL -levy (viilupuu) runkoinen kerrostalo toteutetaan käyttämällä kantavia ja jäykistäviä seiniä, sekä tasolementtejä jotka ovat valmistettu CLT -levyistä, LVL -levyistä tai niiden eri yhdistelmistä. Vastaavasti suurelementtijärjestelmää voidaan toteuttaa rankarunkoisia seinä elementtejä käyttämällä, kuten kuvassa 20. Tällöin välipohja ratkaisut voidaan toteuttaa erilaisina liimapuu ja levy -yhdistelminä kuvan 21 mukaisesti.

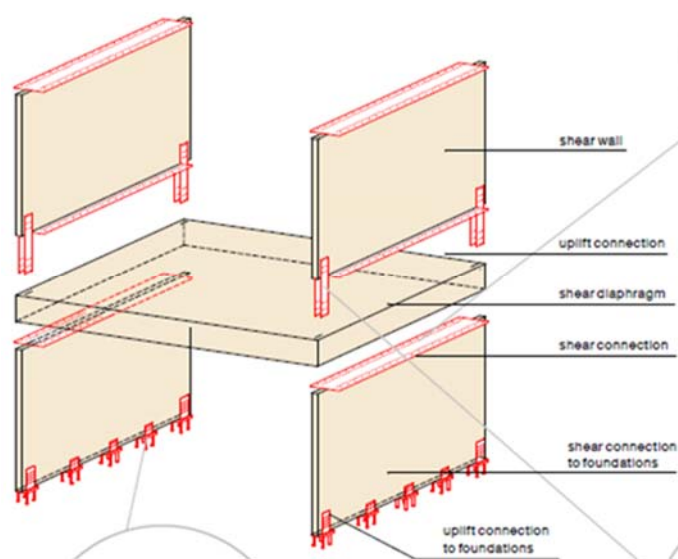


KUVA 20. CLT rakenteisen suurelementin asennus (Elementti Sampo 2016.)



KUVA 21. Liimapuu ja levyrakenteinen välipohjaelementti (Sorsa 2015, 18.)

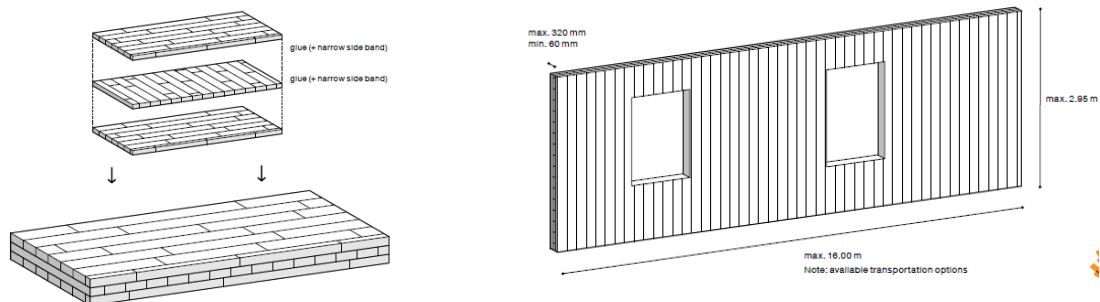
Suurelementeissä seinäelementit on valmiiksi aukotettu tehtaalla ja mahdollisesti ikkunat ja ovet asennettu. Työmaalla elementit kootaan kerroksittain tavanomaisen betonielementtirakennukset tapaisesti. Liitokset tehdään kuvan 22 mukaisesti mekaanisilla ruuvi- ja levyliitoksilla. Liitosten mitoituksissa tulee huomioida liitosten välittävät vaakavoimat ja pystykuormien aiheuttamat vaakavoimat, ankkurointi tarve, ääniteknikka ja palosuojaus. Liitokset tulee tehdä huolellisesti elementtien asennustyön aikana, jotta työmaa-aikainen rakennuksen vakavuus saavutetaan.



KUVA 22. Tasojen ja seinien liittyminen toisiinsa (Stora Enso 2016b, 17.)

Haasteina suurelementtien käytölle voidaan pitää pystysuorien asennusten takia vaikeasti tehtävää sääsuojausta, sekä runkovaiheen aikaa sääälle alttiina, verrattuna tilaelementti menetelmällä toteutettuun kerrostaloon.

Kuvan 23 mukaisen CLT -runkoisen rakennuksen etuina voidaan pitää tavanomaista elementtien asennustekniikkaa valmiin tason päältä, sekä rakennuksen työnaikaisen vakavuuden saavuttamista vähäisillä lisätuennoilla. Elementtien nosto ei vaadi nostimelta suurta nostokapasiteettia elementtien vähäisestä painosta johtuen.



KUVA 23. CLT -elementin valmistusvaiheet (Stora Enso 2016b, 25.)

## 4 PUUKERROSTALOKONSEPTIT SUOMESSA 2017

Puukerrostaloille on kehittynyt useita konsepteja Suomessa. Tilaaja voi valita kohteelle soveltuvimman kokonaisuuden eri toimittajien konsepteista. Kaikki konseptit pohjautuvat RunkoPES järjestelmän mukaisiin komponenttien liitoksiin. RunkoPES soveltaminen suunnittelussa mahdollistaa tilaajan vertailemaan eri tuotetoimittajien tuotteita hankesuunnitteluvaiheessa, jolloin voidaan valita tilaajaan tarpeisiin parhaiten soveltuva tuoteosatoimittaja. Seuraavassa kappaleessa käsitellään neljää eri konseptia, joiden menetelmillä on Suomessa toteutettu puukerrostaloja. Valitut toimittajat eivät ole ainoita toimittajia Suomessa.

### 4.1 Stora-Enso kerrostalojärjestelmä

Stora-Enson kerrostalojärjestelmä perustuu tilaelementtijärjestelmään, jossa huoneistot koostuvat kuvan 24 mukaisesti tekniikkaelementeistä sekä huone-elementeistä. Elementtien runkorakenne on CLT-levyrakenteisia ja sisäverhous palonsuojavaatimusten mukaisesti usein kipsikartonkilevyverhoiluja. Rakenteellisella palomitoituksella voidaan jättää osittain näkyviksi pinnoiksi puuta.



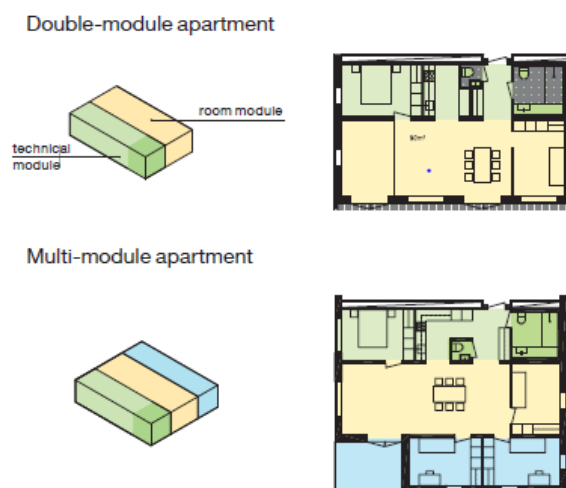
KUVA 24. Stora-Enson tilaelementtijärjestelmä (Stora-Enso 2016a, 15.)

Pienemmät asunnot voivat koostua kuvan 25 mukaisesti tilaelementin sisään integroidulla teknisen elementin ja huone-elementin yhdistelmällä.



KUVA 25. Pienimpien asuntojen tilaelementti (Stora-Enso 2016a, 14.)

Suuremmat asunnot voidaan toteuttaa kuvan 26 mukaisesti yhdistämällä teknisiä elementtejä, sekä huone-elementtejä toisiinsa jolloin saadaan haluttu tilaratkaisu aikaiseksi.



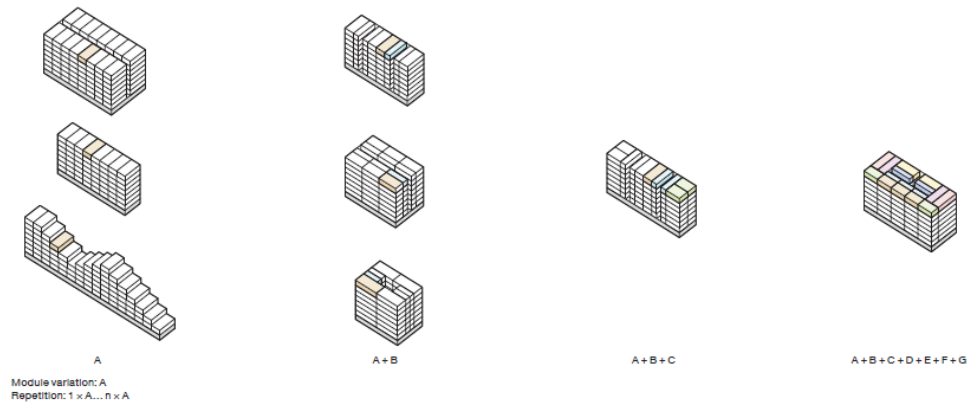
KUVA 26. Suurempien asuntojen tilaelementti yhdistelmä (Stora-Enso 2016a, 14.)

Stora-Enson tilaelementti rakentaminen mahdollistaa rakennuksen monimuotoisen ulkomuodon. Monimuotoisuus muodostuu kuvan 27 osoittamalla tavalla, yhdistelemällä tilaelementtejä peräkkäin joihin tai päällekkäin. Rakennuksen ääriimitat sanelee tilojen tarve ja tilojen sijoittelu.



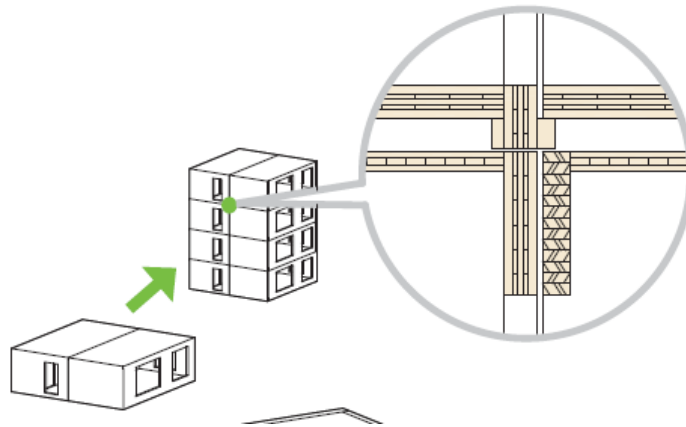
## Modular system

Possibilities and benefits of the system related to repetition and variation



KUVA 27. Tilaelementti moduulien yhdistelmiä (Stora-Enso 2016b, 11.)

Tilaelementtien liitokset noudattelevat RunkoPES 2.0 mukaisia liitosratkaisuja. Kuvasta 28 nähdään että rakennukseen muodostuu puukerrostalolle tyypillinen kaksinkertainen runkorakenne.



KUVA 28. Tyypillinen kaksoisrunkorakenne tilaelementtirakenteisessa puukerrostalossa (Stora-Enso 2016b, 18.)

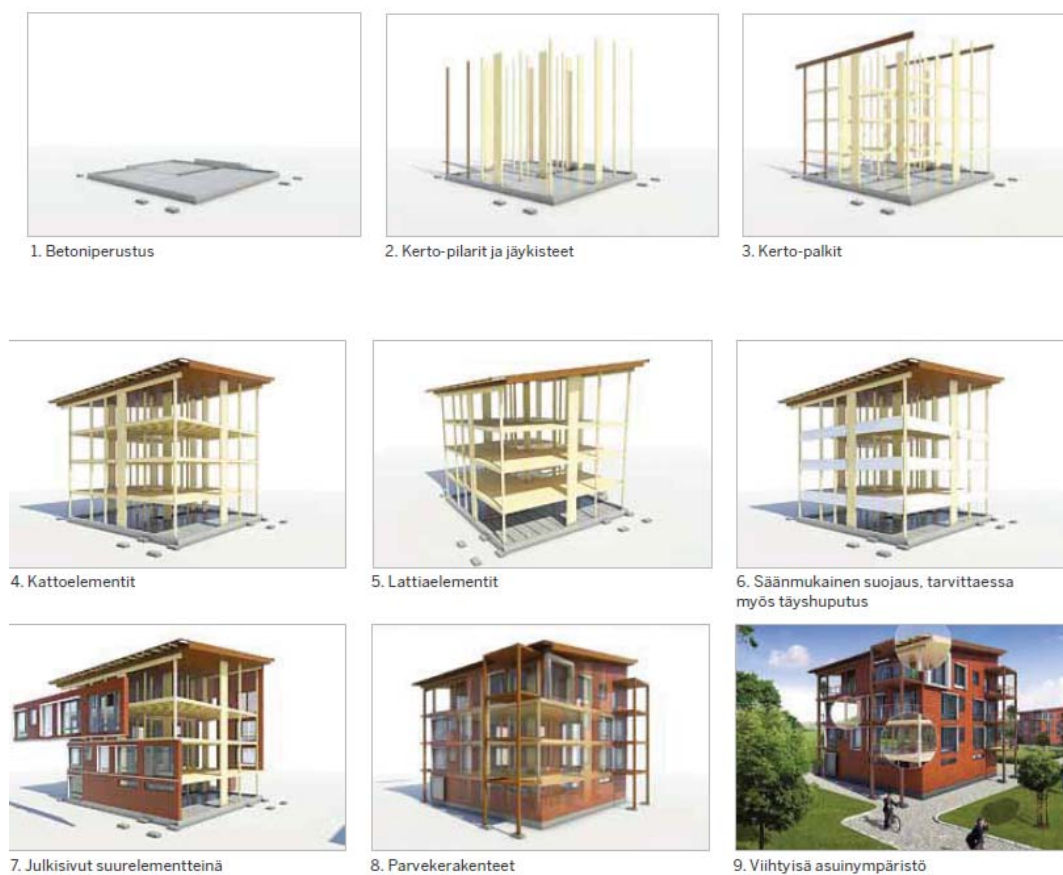
### 4.2 Metsä-Wood kerrostalojärjestelmä

Metsä-Wood kerrostalokonsepti soveltuu parhaiten 3 - 4 kerroksisten asuin tai toimistotalojen rakentamiseen. Konsepti mahdollistaa joustavan tilan käytön ja tilojen muutettavuuden vähäisten kantavien väliseinien vuoksi. Tätä ominaisuutta voidaan hyödyntää rakennuksen pitkässä elinkaessa, mikäli tilojen käyttötärpeelle tulee muutoksia. Kerrostalojärjestelmää toimitetaan tilaajalle tuoteosakauppana, jolloin rakennuksen tuotesuunnittelu ja rakennesuunnittelu sisältyy kauppaan. (Metsä Wood 2013, 1-4.)

Tilajaan tulee huolehtia hankkeelle viranomaisluvut ja huolehtia päätoteuttajan nimeämisestä. Tuote toimitetaan tilaajalle asennettuna. Asennuksen laajuus on runko ja vaipparakenteet valmiiksi asennettuna. Sisustustyöt ja talotekniset työt jäävät tilaajan hoidettaviksi.

Tuotekaupan suunnitteluun ja hankintaprosessiin tulee varata 3,5 kuukautta. Sopimuksen syntymisen jälkeen tuotesuunnitteluun tulee varata 2,5 kuukautta. Tämän jälkeen Metsä Woodin toimitus on valmis asennettavaksi kohteeseen. (Metsä-Wood 2013, 9.)

Kuvasta 29 nähdään konseptin tarjoama nopea runkovaihe, jolloin rakennus saadaan sääsuojaan nopeasti. Tällöin ei tarvita erikseen työmaalle sääsuojasta, vaan rakennustyöt vaiheistetaan siten että sääsuojaus muodostuu rakennuksesta itsestään. Metsä-Wood esittää neljäkerroksisen kerrostalon tuoteosan asentamisen aikataulun arvioksi 6 viikkoa. Aikataulu jakautuu seuraavasti. Runko ja kattoelementtien asennus kaksiviikkoa, välipohjien asennus kolme viikkoa, Ulkoseinien asennus neljäviikkoa, kaikki runkoasennukset valmiina yhteensä kuusi viikkoa. (Metsä-Wood 2013, 9.)



KUVA 29. Metsä Woodin pilaripalkki kerrostalokonseptin rakennusvaiheet (Metsä Wood 2013, 9.)

Metsä-Wood esittää että rakennushankkeen kokonaisaika olisi noin 6 kk. Hankkeen kokonaisajaksi muodostuu 8,5 kk. Tässä hankkeen kokonaisajassa on huomioitu tuoteosakaupan suunnittelu ja han-

kintaprosessi 3,5 kk, tuoteosasuunnittelu 2,5 kk, rakennuksen tuoteosatoimitus 1,5 kk, sekä rakennuksen sisävaiheen työt. (Metsä-Wood 2013, 9.) Tuoteosatoimituksen jälkeen tilaajalle jää toteutettavaksi sisäpuolen täydentävät rakenteet, pintarakenteet, kalusteet ja varusteet. Märkätilat voidaan toteuttaa joko paikalla rakentaen, tai valmiina märkätila elementteinä.

Kuvassa 30 esitetään talotekniset kytkennät, sekä talon lämmitys, sähköistys ja automatiikan integroituminen rakenteisiin. Talotekniikka sijoitetaan pääosin pystykuiluihin sekä alakattojen yläpuolelle. Mikäli tekniikka-asennukset ovat vaipan tai rungon sisällä, tällöin ne tulee huolehtia elementtitoimituksen yhteydessä toimitettaviksi.



KUVA 30. Talotekniset asennukset runkovaiheessa (Metsä-Wood 2013, 4.)

Sisävalmistusvaiheen kesto riippuu työmaan kokonaisuudesta ja käytetyistä ratkaisuista. Merkittävä vaikutus kokonaiskesto on tule märkätilaratkaisuista ja välipohjarakenteesta. Mikäli välipohjarakenteessa käytetään pintabetonia, tällöin pintabetonin kuivumisaika on merkittävässä roolissa hankkeen kokonaisaikataulua tarkasteltaessa. Lopullinen aikataulu varmistuu, kun edellä mainitut rakennus ja talotekniikan työt on sovitettu tapauskohtaisesti.

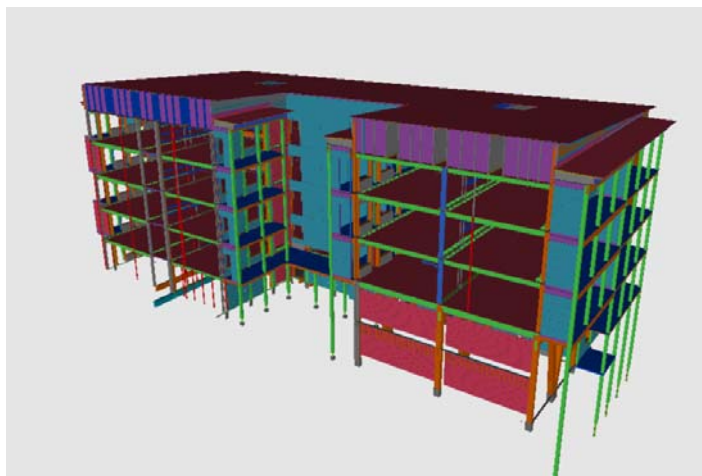
### 4.3 PuuMera kerrostalojärjestelmä

PuuMeran kerrostalojärjestelmä pohjautuu suurelementtijärjestelmään, joka on Rakennusliike Reposen Oy:n tuotekehityksen tulos. PuuMera-konseptilla on rakennettu vuonna 2014 kuvan 31 mukainen sen hetkisen tiedon mukaan Euroopan suurin puukerrostalo Vantaan Kivistöön. Kokonaispinta-ala rakennuksessa on 10 120 m<sup>2</sup>. Rakennuksessa on 6 - 7 asuin kerrosta ja yhteensä 186 asuntoa. Hanke on toteutettu KVR -urakkamuodolla. (PuuMera 2016b).



KUVA 31. PuuMera kerrostalokohde (PuuMera 2016a.)

Tietomallinnusta oli hyödynnetty kohteen rakennesuunnittelussa. Kohteesta on laadittu kuvan 32 mukaisesti 3 D -rakennemalli. Rakennemallissa näkyy yksi osa kolmen kerrostalon kokonaisuudesta.



KUVA 32. Rakennusliike Reposen PuuMera kerrostalokohteen rakennemalli (PuuMera 2016c.)

Kerrostalon seinät on toteutettu rankarunkoisina suurelementteinä kuvan 35 mukaisesti. Suurelementtien asennus on tehty nousevan sääsuojan alla. Sääsuojatelineeseen on asennettu elementtien nostoa varten siltanostin kuvan 34 mukaisesti, joka mahdollistaa pystynostot ja samanaikaisen sääsuojausten. Sääsuojateline on ulotettu rakennuksen runkoa pidemmäksi, kuten kuvassa 35 nähdään. Tämä mahdollistaa elementtien vaakasiirrot nostoalueelle.



KUVA 33. PuuMera suurelementin valmistus (PuuMera 2016a.)



KUVA 34. PuuMeran seinäelementtien asennus työmaalla (PuuMera 2016a.)



KUVA 35. PuuMera kohteen sääsuojaus (PuuMera 2016a.)

Kohteen välipohjat on toteutettu kertopuupalkki ja levyrakenteisilla välipohja elementeillä kuvan 36 mukaisesti. Yläpohjarakenne on kuvan 37 mukainen kertopuu ja ristikkorakenne yhdistelmä.



KUVA 36. Puumeran välipohjalementti elementtitehtaalla (Sorsa, 2015, 18.)



KUVA 37. Puumeran yläpohjaelementti. (PuuMera 2016a.)

Kohteen rakentamisesta on tehty ainakin yksi rakennusmestari- AMK opinnäytetyö, jossa tutkittiin suurelementtien asennuksen työmenekkejä. Tekijänä oli Tiia Sorsa Metropolia ammattikorkeakoulusta (Sorsa 2015). Tässä opinnäytetyössä hyödynnetään Tiia Sorsan opinnäytetyön tuloksia aikataulun vertailuosiossa.

Sääsuojauksen innovatiivinen käyttö kohteessa on mielenkiintoa herättävää. Suurelementtien verrattain pieni paino mahdollistaa kevyempienkin siltanostimien käytön, jolloin pystysuorat asennuksen onnistuvat sääsuojan alla. Konseptille ei löydy julkisena tietona tarkempaa kuvausta rakennetekniikasta ja talotekniikasta, sekä niiden yhteen sovittamisesta.

#### 4.4 Elementti Sampo kerrostalojärjestelmä

Elementti Sampo Oy varustelee CLT -runkoisia tasoelementtejä, sekä valmistaa CLT -runkoisia tilaelementtejä Kuhmossa. Kuvan 38 mukaisesta Elementti Sampon "Suomi kerrostalo" -konseptista löytyy tilaratkaisuja 4 - 6 kerroksiseen puukerrostaloon. Kerrostalon muoto voi olla pistetalo tai lamellitalo. Konseptista löytyy kuusi vakioasuntotyyppiä kumpaankin talomalliin. (Elementti Sampo 2016).



KUVA 38. Elementti Sampo Oy:n Suomi kerrostalojärjestelmä (Elementti Sampo 2016.)

Tapauskohtaisia muutoksia voidaan toteuttaa julkisivujen, käytävien, runkosyvyvyyden sekä sisustusmateriaalien osalta. Muutoin konseptissa on pyritty vakioimaan rakenteet ja mallit. Asunnoissa voidaan hyödyntää osittain näkyviin jääviä puupintoja kuvan 39 mukaisesti. Puupintojen näkyvyyden mahdollistamiseksi rakennukseen tulee tehdä toiminnallinen palomitoitus tarkastelu. Muutoin palavien materiaalien käyttö voi viranomaisten taholta muodostua haasteelliseksi. Elementit toimitetaan työmaalle tilaelementteinä joiden sisustuksen valmius ja laatutaso voidaan tapauskohtaisesta sopia. (Elementti Sampo 2016).



KUVA 39. Tilaelementin sisustus ja pohjapiirustus (Elementti Sampo 2016.)

## 5 PUUKERROSTALON KUSTANNUKSET

Puukerrostaloille löytyy Suomesta jo jonkin verran vakiintuneita toiminta konsepteja, kuten edellisessä kappaleessa on käsitelty. Hankkeita on toteutettu esimerkiksi Vantaalla (Puumera), Jyväskylässä (Stora Enso), Tampereella (Elementti Sampo), Kajaanissa (Elementti Sampo), Joensuussa (Stora Enso/ Pyhännän rakennustuote). Hankkeiden mahdollisia ongelmia rakentamisen ja talouden kannalta ei ole julkisesti käsitelty, joten hankkeissa mahdollisesti esiintyneiden ongelmien juurisyihin ei voida pureutua tässä työssä. Puukerrostalon kustannustiedoilla on alalla merkittävä tarve jota ei ole vielä kyetty täyttämään. Seuraavissa luvuissa tarkastellaan kustannuksia "herkkyystarkastelulla", jolla on pyritty määrittämään tilaelementille hinta siten, että rakennushankkeen kokonaisinvestoinnin kustannus olisi betonirakenteisen kerrostalon hintatasoa.

### 5.1 Kustannusten herkkyystarkastelu

Tarkastelussa selvitetään tavanomaisen betonirakenteisen kerrostalon rakennuskustannukset ja kustannusten jakaantumisen hankkeelle. Laskenta perustuu talo- 80 määrälaskennan mukaisiin määriin jotka on panoshinnoiteltu Klارانet:in materiaalihintoja ja RaTu:n menekit 2014 kirjan mukaisia menekkejä soveltaen. Laskennan tavoitteena oli määrittää tilaelementtiin kuuluvien rakennusosien hinta, jonka perusteella voidaan määrittää tilaelementille tavoitehinta hankinnan lähtökohdaksi.

Kustannustarkastelussa käsitellään tilaelementtimenetelmällä toteutettavaa kerrostaloa. Tilaelementtitoteutustavan valinnan perusteina olivat seuraavat asiat, jotka tulivat esille Appu Haapion kyselytutkimuksen 2013 tulkintana. Mikäli toimivaksi koettua betonirakentamista halutaan haastaa, tulisi haastavan rakennustavan poiketa oleellisesti valmisosien valmiusasteessa ja sen avulla työmaa-aikataulun merkittäväällä lyhenemisellä. Ruotsissa puurakentamisesta 70 - 80 % toteutetaan tilaelementtirakentamisella ja Ruotsin hintataso on saatu puurakentamisessa jopa edullisemmaksi, kuin betonielementtirakentaminen (Haapio, 2013, 16).

Tilaelementtien teollinen valmistusprosessi voisi myös nostaa rakentamisen laatua, sekä menetelmien hioutuessa parantaa myös taloudellista tuottavuutta. Työmaa-aikainen sääsuojauksen käytännöllinen toteutus tukee myös ajatusta tilaelementti rakentamisen kannattavuudesta.

Tilaelementtien valintaa vertailuun vahvistaa myös Lapin-AMK tekemä tutkimus rakennusalan ammattilaisille, jossa tarkoituksena oli selvittää haastattelututkimuksen avulla CLT-rakentamisesta kertyneitä kokemuksia Suomessa. Tutkimuksen perusteella avainsanoiksi eriytyi "nopeus", "esivalmistus", "CLT", "sääsuojaus", "hintaa". (Vatanen, Sirkka, Pirinen, Ahoranta 2017, 32 – 37.) Esivalmistus ja nopeus ovat tilaelementtirakenteisen rakentamisen suurimpia etuja.



### 5.1.1 Kustannusvertailu

Kustannusvertailu pohjautuu kahteen erilliseen kerrostalohankkeeseen, jotka vastaavat tyyppilistä vaapaarahoitteista asuntotuotantoa ja vuokra-asuntotuotantoa 2010 -luvulla. Kohteiden kerrosluku on 4 asuinkerrosta, molemmissa taloissa on omat porrashuoneet ja hissit. Kohteet on suunniteltu siten että ne toteutetaan kahtena erillisenä rakennusmassana, jotka rakennetaan samanaikaisesti lohkojakoa hyödyntäen.

Toisessa kohteessa oli 42 asuntoa, joiden keskimääräinen huoneistoala oli 43 m<sup>2</sup>. Rakenteena kohteessa on käytetty elementtiseiniä, elementtiparvekkeita ja paikallavalulaulattoja. Toisessa vertailukohteessa oli 40 asuntoa, joiden keskimääräinen huoneistoala oli 62 m<sup>2</sup>. Rakenteena ovat teräsbetoniset paikallavaluseinät, kevyet puurunkoiset ulkoseinät, paikallavaluholvit ja elementtiparvekkeet. Molempien kohteiden kattorakenteet ovat ulospäin kaatavia puurunkoisia "pukkikattoja", sekä ulkoseinän pintamateriaalina on käytetty poltettua tiiltä. Asunnot sisälsivät huoneistokohtaiset saunat, sekä huoneistokohtaiset lämmön talteen ottimilla varustetut ilmastointikoneet. Asuntojen laatutaso vastasi tavanomaista asuntojen laatutasoa 2010 -luvulla. Kustannusarviossa käsitellään työmaan kustannuksia arvonlisävero 0 % hinnoilla, kustannukset eivät sisällä yrityksen kiinteitä kustannuksia, työmaakatetta, ulkopuolisia rakennuksia, alueita ja varusteita. Ulkopuolisia varusteita ja rakennuksia ovat esimerkiksi autokatokset, roskakatokset, leikkialueet, autopaidat, ulkovalaistus. Muutoin rakennusten valmiusaste on muuttovalmius.

Kustannusvertailun aloitin tekemällä kohteille kustannusarvion. Kustannusarviot on laskettu toteutettavaksi perustajaurakoitsijan toimintamallilla, jossa rakennuttaja hankkii tontin, suunnitteluttaa hankkeen ja toteuttaa hankkeen rakennus- ja talotekniset työt. Kustannusarvion rakenne noudattelee talo-80 määrälaskenta- ja kustannuslaskentaohjetta ja siinä käsitellään talo-80 mukaisin termein päälitratasaja 0 - 9.

Kustannusten herkkyytarkastelun tein sijoittamalla kustannusarviolaskennan nimikkeitä viiteen pääkategoriaan 1 - 5, samalla menetelmällä kuin kustannusarviosta muodostetaan työmaan tavoitearvio. Kustannusarviosta siirsin osan tehtävistä kuuluvaksi tilaelementinhankinta tehtävälle ja osan tehtävistä kuuluvaksi työmaan tehtäviin. Kuviossa 2 on esitetty päänimikkeet, jotka on nimetty kategorioitain 1 – 5, seuraavilla nimillä:

1. tilaelementtien teoreettinen kustannus
2. kerrostalon muut rakennustekniset työt
3. työmaan talotekniset kytkennät ja runkolinjat
4. työmaan käyttö ja yhteiskustannukset
5. rakennuttajakustannukset.

<b>tilaelementtien teoreettinen suurin kustannus</b>	
Ylas	58493,1
Yhm2	930,3 paras vertailukohta
<b>Perustus,kellari,yss,vesikatko,porrashuoneet</b>	
Ylas	24873,7
Yhm2	395,6
<b>talotekniikka kytkennät ja kiinteät asennukset 50%</b>	
Ylas	9131,27
Yhm2	145,23
<b>työmaan käyttö ja yht.kust.</b>	
Ylas	13825,6
Yhm2	219,9
<b>rakennuttajakustannukset</b>	
Ylas	7681,3 huomiomatta kalliimpi suunnitelukust.
Yhm2	122,2

KUVIO 2. Kustannusjako viiteen eri päänimikkeeseen (Haaranen 2017a.)

Kategoriat 1 - 5 muodostavat selkeän jaon, jonka pystyy erottamaan urakkarajalla: Tilaelementin toimitukseen sisältyvät ja rakennusurakkaan sisältyvät tehtäväkokonaisuudet. Urakkarajat muodostuvat jaottelun perusteella seuraavasti. **Rakennusurakkaan** kuuluvia tehtäviä ovat kategoriat 2, 3, 4, sekä 5, joka voi tapauskohtaisesti kuulua rakennuttajalle tai rakennusurakoitsijalle riippuen hankkeen urakkamuodosta. **Tilaelementtien toimitukseen** sisältyi kategorian 1 tehtävät, joiden oletetaan kuuluvan tilaelementtitoimitukseen.

Tämä laskentatapa on hyvin karkeaa herkkyydestä tarkasteltuna, eikä sitä tule käyttää tarkkana kustannuslaskelmana. Tällä laskennalla saadaan hyvä lähtökohta hankesuunnitteluajankautaiseen kustannusvertailuun. Mikäli haluttaisiin todelliset ja tarkat kustannusarvot, tällöin tulisi hanke suunnitella ja hankkeelle tulisi määrittää urakkamuodot, jonka jälkeen pystyttäisiin tekemään tarkka kustannusarvio.

Mikäli kustannustietoutta puurakentamisesta olisi yleisesti saatavilla, olisi sitä tietoa voinut soveltaa tässä kustannuslaskennassa. Mielestäni tällä kustannuslaskentamenetelmällä saavutetaan tähän selvitystyöhön riittävällä tarkkuudella kustannusrakenne, sekä tämän kustannusvertailun avulla saadaan arvioitua tilaelementteille teoreettinen hankinnan kattohintaa.

### 5.1.2 Tilaelementtien teoreettinen kustannus

Kategoriaan yksi (1) sisältyy tilaelementtitoimitukseen sisältyvät rakennuskustannukset. Tällaisia kustannuksia olivat esimerkiksi huoneistojenväliset seinät, väli- ja yläpohjat, ulkoseinät, parvekkeet, pesuhuoneet pintoineen, väliseinät, seinäpinnat, lattiapinnat, kattopinnat, kalusteet, väliovet, huoneistovet, ikkunat, listoitukset, ulkoseinien pintarakenteet. Lähtökohtaisesti kaikki ne tehtävät jotka tulisivat tilaelementtien toimituksessa valmiina työmaalle. Kustannukseen ei ole jyvitetty suunnittelukustannuksia ollenkaan. Taloteknisistä töistä ja materiaaleista kustannukseen on jyvitetty 50 % talotekniikan kokonaiskustannuksista.

### 5.1.3 Kerrostalon muut rakennustekniset työt

Kategoriaan kaksi (2) sisältyy rakennuksen osat ja kustannukset, jotka kerrostaloon tulisi tehdä toteutustavasta riippumatta. Tähän kategoriaan kuuluu maanrakennustehtävät, perustustyöt, ulkopuoliset talotekniikkatyöt ja materiaalit, kellarin, tai ensimmäisen kerroksen betonirakenteet, väestönsuojarakenteet, vesikattorakenteet ja vesikaton pintarakenteet. Ulkoseinien pintarakenteista huomioidaan tähän saumat ja pellitykset, muut ulkoseinien pintarakenteet sisältyvät kategoriaan 1.

### 5.1.4 Työmaan taloteknisetkytkennät ja runkolinjat

Kategoriaan kolme (3) sisältyy työmaalla tehtävät talotekniset kytkennät, sekä talotekniikan runkolinjat materiaaleineen. Tähän kustannukseen ei ole lisätty automaattisen sammutusjärjestelmän kustannuksia jotka olisivat mediaani hintaa tarkastellen noin 60 €/hum<sup>2</sup> (Lähde 2013, 64). Muutoin taloteknisten kustannusten jaottelu noudattelee 50 %:n jakoa. Ensimmäiset 50 % on sijoitettu kategoriaan yksi, tilaelementtien toimitukseen ja toiset 50 % kategoriaan kolme työmaan toimitukseen.

### 5.1.5 Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset

Kategoriaan neljä (4) sisältyy työmaan käyttö ja yhteiskustannukset. Päälitteratasot 8 ja 9 jotka sisältävät työmaan kaluston ja työmaan ylläpitoon tarvittavat tehtävät. Nämä käyttö- ja yhteiskustannusten hinnat ovat betonirakentamisessa muodostuvia käyttö- ja yhteiskustannuksien hintoja. Työmaankäyttö ja yhteiskustannukset ovat tavanomaisessa betonirakentamisessa suuruusluokaltaan 16 - 22 % työmaan kustannuksista. Työmaankäyttö- ja yhteiskustannuksiin vaikuttaa voimakkaasti työmaalla käytetyt työmenetelmät, työmaan aikataulu, työmaan ajankohta, työmaan toimihenkilöiden määrä ja työmaan alihankinta-aste. Mitä enemmän myydään työtä alihankintakauppana ulos, sitä pienemmäksi työmaankäyttö ja yhteiskustannukset muodostuvat, koska osa työmaan palveluista ostetaan alihankintakaupan yhteydessä.

Työmaankäyttö ja yhteiskustannuksiin lasketaan tavanomaisesti työntekijöiden sosiaalikustannukset, muutoin työn kustannukset ovat työlitteroilla. Tässä kustannusvertailussa työn sosiaalikustannukset on siirretty päälitteroille 1 - 5. Tällä siirrolla on parannettu kustannusrakenteen oikeellisuutta. Puurakentamisessa työmaan käyttö- ja yhteiskustannusten voidaan olettaa olevan jonkin verran betonirakentamista pienemmät. Perusteena arviolle on seuraavat näkökulmat:

1. Puurakenteinen kerrostalo sitoo vähemmän työmaan toimihenkilöitä, koska merkittävä osa työmaan tehtävistä siirtyy teolliseen valmistukseen.
2. Puukerrostalon tilaelementtitoteutuksessa on huomioitava erityisesti sääsuojauksen oikeellisuus. Sääsuojaus nostaa suoralla tarkastelulla kustannuksia, mutta toisaalta sääsuojaus parantaa työtehokkuutta, sekä poistaa betonirakentamiselle tyypillisen kuivatustarpeen ennen pinnoitustöitä. Tästä saataneen merkittävää kustannusetua suoraan työmaa-aikaisilla energialaskelmilla, sekä aikataulullista säästöä.
3. Aikataulun nopeutumisella on merkittävää vaikutusta työmaan käyttö ja yhteiskustannuksiin. Merkittävä osuus aikataulun nopeutumisesta aiheutuvasta säästästä syntyy työmaan toimihenkilöiden

kustannusten vähenemisestä aikataulun ja tilaelementtihankinnan kautta, työmaan kiinteiden rakennusten ja koneasemien käyttöajan lyhenemisestä, pienemmistä nosto- ja siirtolaitteista, lyhentyneestä rakennuksen työmaa-aikaisesta ylläpitojaksosta ja merkittävästä työvoiman tarpeen siirtymisestä pienempi häiriöiseen tehdas olosuhteeseen.

Tarkempaa määrä- ja kustannuslaskentaa työmaan käyttö- ja yhteiskustannusten osalta ei tähän selvitystyöhön ole syytä laatia. Laskelmissa oletetaan työmaan käyttö ja yhteiskustannusten olevan vastaavat, riippumatta hankkeen toteutusmuodosta. Käyttö- ja yhteiskustannukset vastaavat kohteiden betonirakentamisen käyttö- ja yhteiskustannuksia, eikä niissä ole huomioitu edellä mainittuja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä.

#### 5.1.6 Rakennuttajakustannukset

Kategoria viisi (5) sisältää rakennuttajakustannukset. Nämä kustannukset on muokattu vertailulaskelmiin samankaltaisiksi ja tonttien omistusmalli on ajateltu olevan kaupungin vuokratontti. Tonttikustannukset vastaavat suunnittelu ja rakennusajan keskimääräisiä kustannuksia Kuopion alueella. Hankkeen kestoksi on arvioitu 2 vuotta.

Rakennuttajakustannukset sisältävät myös kustannuksia jotka syntyvät hankkeen myynnistä. Kustannusrakenne vertailulaskelmissa noudattelee tyypillisiä perustajaurakoitsijan rakennuttajakustannuksia. Suurin kustannuserä muodostuu hankkeen myyntikustannuksista, rahoituskustannuksista sekä suunnittelukustannuksista.

Suunnittelukustannuksina tässä opinnäytetyön vertailussa on käytetty betonirakenteisen asuin kerrostalon suunnittelukustannuksia. Puurakenteisen kerrostalon suunnittelukustannukset ovat Rakennuslehden artikkelin mukaan noin 100 €/hum<sup>2</sup> kalliimmat, kuin betonirakenteisen kerrostalon suunnittelukustannukset (Tompuri, Korhonen, Mölsä 2016-11-18).

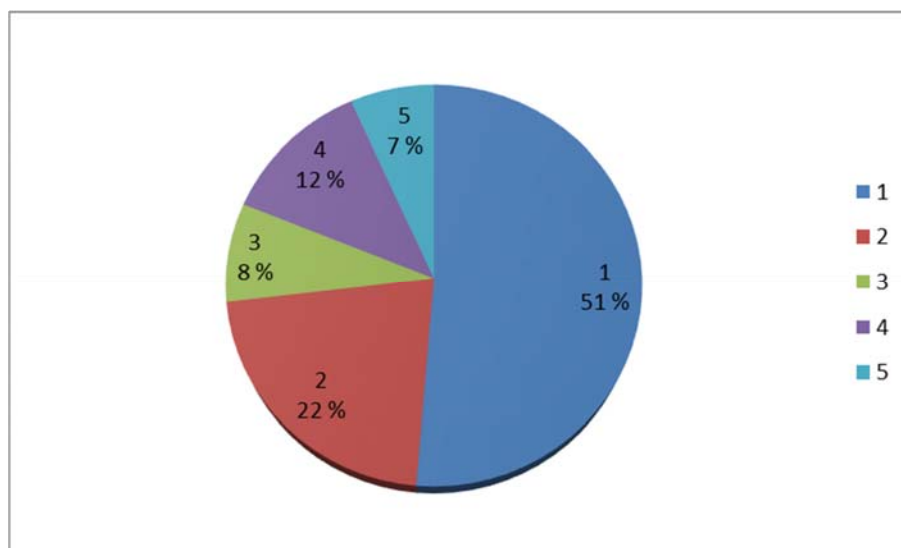
Tämä tieto on pelkkä arvio ja sen oikeellisuutta on vaikea todistaa, muutoin kuin pitkän ajanjakson jälkilaskennalla. Tyypillisesti betonirakenteisen kerrostalon suunnittelukustannukset kokonaisuudessaan ovat arviolta noin 96 - 105 €/hum<sup>2</sup> sisältäen arkkitehti ja pääsuunnittelu, rakennesuunnittelu ja elementti suunnittelu, LVISA ja geoteknisen suunnittelun. Suunnittelukustannukseen vaikuttaa tapauskohtaisesti hankkeen- laajuus, aikataulu, monimuotoisuus, rakenneratkaisut, tietomallinnuksen laajuus. Oletettavasti suurimman lisäyksen puurakenteidensuunnitteluun aiheutuu rakennesuunnittelun lisääntymisestä sekä pääsuunnittelun muutoksesta.

Joensuun Pihapetäjän projektipäällikön Petteri Elosen haastattelun mukaan rakennesuunnittelun arvioitu kustannus on *”yhtä paljon kun muut kustannukset yhteensä”*. Syynä tähän kustannusnousuun on Elosen mukaan puurakenteiden lukuisten mekaanisten liitosten suunnittelu, suunnittelukokemusten puute, sekä puurakenteiden ääniteknisen suunnittelun aiheuttamat suunnittelu tehtävät. (Elonen 2017-04-06.)

Näiden tietojen perusteella on syytä varautua puukerrostalon rakennesuunnittelun työmäärän ja samalla myös suunnittelukustannuksen merkittävään kasvamiseen verrattuna tavanomaiseen betonirakenteiseen kerrostaloon. Työmäärän lisääntyminen on huomioitava myös suunnittelijoiden valinnoissa, sillä lisääntynyt suunnittelun määrä vaatii joko enemmän suunnittelu-aikaa tai suurempia suunnittelu resursseja.

## 5.2 Rakennushankkeen kustannusten jakautuminen kerrostalorakentamisessa

Kuviossa 3 on käsitelty hankekustannusten jakautuminen tyypillisessä kerrostalohankkeessa. Kustannukset on jaettu aiemmin käsiteltyyn viisisiaiseen päänimikkeistöön, kategoriat 1 - 5. Tavoitteena on tarkastella tilaelementin hankintakustannuksen ylärajaa, sillä oletuksella että rakentamisen muut neljä pääryhmää noudattelee betonielementtirakentamisen kustannusjakaumaa.



KUVIO 3. Rakennushankkeen kustannusten jakautuminen viiteen kategoriaan (Haaranen 2017a.)

Kuviosta 3 nähdään että rakennushankkeen merkittävimäksi kustannuseräksi muodostuu tilaelementtiin kuuluvien tehtävien kokonaisuus kategoria 1. Kategorian yksi kustannusten osuus kerrostalohankkeen kokonaiskustannuksista on noin 51 %.

Kategorian kaksi, perustusten ja kellarin rakenteiden osuus on noin 22 % hankkeen kokonaiskustannuksista. Loput kustannukset jakaantuvat työmaalla tehtäviin taloteknisiin asennuksiin, kategoriaan kolme sisältyy 8 %, kategoriaan neljä, työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksiin sisältyy 12 %, sekä kategoriaan viisi, rakennuttajakustannuksiin sisältyy 7 % rakennushankkeen kokonaiskustannuksista.

Talotekniikan kustannukset muodostuvat tilaelementin taloteknisistä töistä ja materiaaleista. Näiden tehtävien kokonaisarvo on arviolta 145 €/hum2. Kuinka paljon kustannuksia voidaan alentaa käyttämällä puurakenteita, tai kuinka paljon kustannukset nousevat käyttämällä puurakenteita? Voidaanko olettaa että talotekniikan osuus pysyy joko samana, tai se hiukan nousee? Nousun syynä voi olla hankkeeseen muodostuvat kaksi eri urakkaa, joissa vastuunjako voi olla haasteellista. Toisaalta talotekniikan asentaminen tehdas oloissa voi olla tehokkaampaa, mutta näkykö se hankintahinnassa?

Tässä on jouduttu tekemään oletuksia ja on päädytty siihen että talotekniikan kustannukset pysyvät samoina, kuin betonirakenteisen talon kustannukset, koska en voi perustella kustannuksen muutosta.

Rakennuttajakustannusten osuus on noin 7 % kokohankkeen kustannuksista. Rakennuttamisen kustannuksia ei oleteta saavan pienennettyä valitsemalla puurakenteinen kerrostalo. Syynä ovat jonkin verran korkeammat suunnittelukustannukset ja lisääntynyt erikoissuunnittelu, kuten automaattinen sammutusjärjestelmä, sekä rakennuksen toiminnallinen rakenteiden palomitoitus. Rakennuttamisen kustannuksia voi myös nostaa rakennuttajaorganisaatiolle siirtyvät hankinta ja suunnittelun ohjaus tehtävät, jotka perinteisessä betonirakentamisessa ovat rakennusurakan tehtävinä. Tässä vertailulaskelmassa suunnittelukustannukset ovat tavanomaisella betonirakentamisen kustannuksilla. Elementtisuunnittelua sisältyy vertailuihin, mutta elementtisuunnittelun kustannus on laskettu betonielementtiteutuksella, jossa suunnittelun ja toteutusorganisaation rutiini näkyy kustannustehokkuutena.

Tämän vertailulaskelman perusteella tilaelementtien hankintakustannus tulisi olla 930 €/hum2 alv 0 %, mikäli tavoitellaan samaa kustannustasoa kuin tavanomaisessa betonirakentamisessa. Näiden laskelmien perusteella saadaan tukea puurakentamisen kustannusten arviointiin ja tarveselvityksen aikaiseen vertailulaskentaan. Aina tulee huomioida hankkeen erityispiirteet, jotka vaikuttavat hankkeen lopulliseen kustannusarvioon. Eritystä huomiota tulee kiinnittää hankkeen suunnittelukustannuksiin, talotekniikkakustannuksiin, sekä työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksiin. Nämä osa-alueet muuttuvat eniten kun toteutusmuotoa muutetaan betonirakentamisesta puurakentamiseen.

### 5.3 Puukerrostalon kannattavuus perustajaurakoitsijan näkökulmasta

Hankkeen kannattavuutta tarkastellaan asunnon myyntihinnan kannalta. Olettamuksena on että hanke toteutetaan Kuopiossa tyypillisellä kaupungin vuokratontilla. Laskelmassa käytetyt kustannukset perustuvat luvussa 5.1.1 esitettyyn kerrostalon kustannusarvioon. Laskelmassa on huomioitu puurakentamisen aiheuttama "hukka", joka muodostuu rakenteiden paksuuksien johdosta. Myös tilat jotka eivät tuota vuokratuottoa on esitetty "hukka-alat" kohdassa. Niihin tiloihin kuuluu porrashuoneet, yhteiset varastot ja talotekniikan vaatimat yhteistilat.

Tilaelementtikustannukselle on arvioitu hankintakustannukseksi 1 500 €/hum2 alv 0 %. Kustannus sisältää tilaelementin hankinnan ja paikalleen asennuksen. Tämä arvio on tarkoituksella otettu suuremmaksi kuin kustannustarkastelussa saatu tilaelementtien maksimikustannus. Tarkastelun mukainen kustannus tilaelementti osa toimitukselle asennustöineen oli 930 €/hum2. Hankintakustannuksen arvio 1 500 €/hum2 muodostuu oletuksesta että tilaelementin jalostusarvo nousee, sekä edellä mainittujen kustannuksia nostavien tekijöiden vaikutuksesta.

Laskelmassa on huomioitu rakennusliikkeen omankäytön arvonlisäveromenettely. Omankäytön arvonlisävero muodostuu kohteen välittömien ja välillisten kustannusten yhteismäärästä, joten mahdollinen myyntivoitto tai -tappio ei vaikuta veron määrään. Asunnon myynti itsessään on arvonlisäverotonta,

joten omankäytön arvonlisävero tulee tilittää verottajalle hankkeen valmistuttua (Rakennusliikkeen arvonlisävero-opas 2010, 15).

Taulukossa 1 on laskettu puukerrostalon myyntihinta, jossa hanke toteutetaan perustajaurakoitsijana. Hankkeelle tavoitellaan 10 %:n liikevaihdon katetta. Valittu kateprosentti ei ole määritetty missään oikeaksi tai vääräksi. Kukin yritys itse määrittää tavoiteltavan katteen projektikohtaisesti, omaan kustannusrakenteeseensa suhteutettuna. Tässä laskennassa projektin katteeksi on valittu 10 %, valinnan perusteena on helposti tarkasteltava kokonaisluku.

TAULUKKO 1. Perustajaurakoitsijan kannattavuuslaskelma (Haaranen 2017a.)

Gryndi kohde				
Keskimääräinen asunto koko.	60	m2		
Asuntojen määrä	40	as		
asunnon hinta	3202	€/ham2		
rakennuksen "hukka-alat" ham2	yht m2	m2	porras h.	
hissi	24	12	2	
porrashuone	60	30	2	
sisäänkäynti	20	10	2	
varastot	120	60	2	
teknikkakuilut	4	2	2	
"tuplarakenne"	20	10	2	
tekniset tilat	40	20	2	
muut yhteistilat	30	15	2	
Rakennuksen huoneistoala	2718	h-am2	€/ham2	
1. Tilaelementtien hankinta kustannus	3600000	€	1500	
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440	€	395,6	
3. Talotekniikka kytkenät ja asennukset	348552	€	145,23	
4. Työmaan käyttö ja yhteiskustannukset	527760	€	219,9	
5. Rakennuttajakustannukset	293280	€	122,2	
<b>1-4 yhteensä</b>	<b>5425752</b>			
<b>5. Rakennuttajakustannukset</b>	<b>293280</b>	€		
<b>Grynderin katetavoite 10%</b>	<b>664206</b>	€		
rakentamisen ALV 24%	1302180	€		
<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>7685418</b>	€		

Kannattavuuslaskennan mukaan tilaelementtien hankintakustannusten ollessa 1 500 €/hum2 alv 0 %, tällöin asuntojen myyntihinnan tulisi olla 3 202 €/hum2. Urakoitsijan katetavoitteena on 10 %:n liikevaihdon kate hankkeen arvonlisäverottomasta hinnasta. Kuopion keskimääräinen uuden kerrostalo-asunnon velaton myyntihinta oli 23.3.2017 tehdyn otannan mukaan 3 220 €/hum2 (Haaranen 2017b). Kun verrataan markkinoilla olevaa myyntihintaa ja teoreettista puurakenteisen kerrostalon myyntihintaa, eroa näiden välille syntyy 18 €/hum2, puurakenteisen kerrostalon ollessa myyntihinnaltaan edullisempi kuin betonirakenteinen kerrostalo.

Luvussa 5.1.1 on kerrottu vertailuhinnan sisällöstä. Vertailuhinta ei sisällä ulkopuolisia varusteita, eikä sprinklerin kustannusvaikutusta. Ulkopuolisten rakenteiden kustannuslisäys nostaisi jonkin verran molempien rakennustapojen myyntihintaa. Kustannusvertailulaskelmissa käytettyjen kohteiden mukaan ulkopuolisten rakenteiden ja varusteiden keskiarvokustannus oli 72 €/hum2. (Haaranen 2017a.)

Automaattinen sammutusjärjestelmä nostaa kustannuksia vain puurakenteisessa kerrostalossa. Kustannusvaikutus on tapauskohtaista, mutta arviona voidaan käyttää 60 €/hum<sup>2</sup> kustannuksen lisäantymiselle (Petri Lähde, 2013, 64). Kun kustannuksista puuttuva sprinklerin kustannus lisätään hankkeen kustannusvertailuun, tällöin verollinen myyntihinta nousee 81 €/hum<sup>2</sup>.

Kun vertaamme tämän hetken markkinoiden keskimääräistä myyntihintaa ja teoreettista puurakennuksen myyntihintaa, voidaan siitä päätellä että puurakenteisen kerrostalon teoreettinen myyntihinta olisi ilman ulkopuolisia varusteita  $3\ 202 + 81 = 3\ 283$  €/hum<sup>2</sup>. Tällä hetkellä myynnissä olevien kerrostalojen myyntihinta otannan mukaan on keskimäärin 3 220 €/hum<sup>2</sup>. Teoreettisesti myyntihinta olisi siis 63 €/hum<sup>2</sup> kalliimpi puurakenteisessa kerrostalossa kuin tavanomaisessa betonirakenteisessa kerrostalossa. Mikäli autopaikat myytäisiin erikseen, tulisi autopaikkojen myyntihinnan tämän vertailun mukaan olla 4 420 €/asunto. Autopaikkojen myyntihintaan ei vaikuta rakennuksen toteutustapa.

Tämän vertailun mukaan puurakentaminen mahdollistaisi asuntojen tuottamisen perustajaurakointina, mikäli tilaelementtien hankintakustannus olisi vertailussa käytetty 1 500 €/hum<sup>2</sup> ja urakoitsija tavoittelisi projektin liikevaihdon katteena 10 %. Asuntojen myyntihinta olisi tällöin teoriassa 63 €/hum<sup>2</sup> kalliimpaa, kuin betonirakenteisen kerrostalon.

Lopullisen kannattavuuden arviointi vaatisi vertailevaa kustannuslaskentaa kahdesta identtisestä kohteesta, jossa toinen olisi puurakenteinen ja toinen betonirakenteinen kerrostalo. Hankkeiden aikana jälkilaskentaa tulisi suorittaa vastaavalla tarkkuudella molemmissa kohteissa. Tällaista todellista kustannusvertailua tekee Rakennusliike Reponen Oy Helsingin Kuninkaantammessa, johon toteutetaan kaksi toisiaan vastaavaa betonirakenteista ja puurakenteista kerrostaloa (Tompuri, Korhonen, Mölsä 2016-11-18). Toivottavasti aikanaan kuulemme hankkeen toteutumisesta avointa tietoa.

#### 5.4 Puukerrostalon kannattavuus vuokratuottojen näkökulmasta

Hankkeen kannattavuutta vuokratuottojen kautta tarkastellaan taulukossa 2. Laskenta perustuu oletukseen että rakennushanke toteutetaan tilaajalle kokonaisvastuurakentamisena. Tilaja toimisi rakennuttajana, sekä kiinteistösjoittajana jonka tavoitteena on saada investoinnille tuottoa.

Kustannukset perustuvat aiemmin esitettyyn herkkyystarkasteluun. Kustannuslaskelmissa en ole ottanut kustannusvertailuun mukaan kohdassa 5.3 käsitellyjä erilliskustannuksia sprinklerijärjestelmästä ja ulkopuolisten rakenteiden kustannusvaikutuksista. Nämä kyseiset kustannukset on jätetty vertailusta pois laskennan selkeyttämiseksi. Niitä voi kuitenkin halutessaan arvioida kappaleessa 5.3 esitetyin tavoin.

Vuokrahinnaksi on arvioitu vapaarahoitteisten kerrostaloasuntojen keskihintaa Kuopion 1. alueella. Vuonna 2016 kaksihuonetta käsittävissä asunnoissa vuokrahinta oli 15,1 €/hum<sup>2</sup>. Vuokrahinnan muutos oli edelliseen vuoteen +1,5 %. (Suomen virallinen tilasto 2017b). Tässä laskelmassa vuokrahintana



on käytetty 15,2 €/hum2. Vuoden 2016 vuokrahintaan on arvioitu + 1 %:n korotus. Rakennus kohteen muoto, tilat ja laatutaso noudattelee herkkyytlaskelmassa olleiden kohteiden keskimääräisiä tiloja ja ratkaisuja.

TAULUKKO 2. Vuokratuoton kannattavuuslaskenta (Haaranen 2017a.)

Vuokrahinta	15,2	€/m2		
Keskimääräinen asunto koko.	60	m2		
Asuntojen määrä	40	as		
Vuokratuotto /vuosi	437760	€/v		
Pääoman tuotto tavoite	5,5	%		
Investoinnin max. Kustannus	7959273	€		
asunnon maximi hinta	3316	€/ham2		
rakennuksen "hukka-alat" ham2	yht m2	m2	porras h.	
hissi	24	12	2	
porrashuone	60	30	2	
sisäänkäynti	20	10	2	
varastot	120	60	2	
teknikkakuilut	4	2	2	
"tuplarakenne"	20	10	2	
tekniset tilat	40	20	2	
muut yhteistilat	30	15	2	
Rakennuksen huoneistoala	2718	h-am2	€/ham2	
1. Tilaelementtien hankinta kustannus	3600000	€	1500	
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440	€	395,6	
3. Talotekniikka kytkennät ja asennukset	348552	€	145,23	
4. Työmaan käyttö ja yhteiskustannukset	527760	€	219,9	
5. Rakennuttajakustannukset	293280	€	122,2	
1-5 yhteensä	5719032			
<b>10% katteellinen tarjoushinta</b>	<b>6354480</b>	€		
<b>urakoitsijan kate</b>	<b>635448</b>	€		
rakentamisen ALV%	1525075	€		
<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>7879555</b>	€	<	<b>7959273</b>

Taulukon 2 laskelman mukaan esimerkin mukainen kerrostalo tuottaa omistajalleen noin 5,5 % pääoman tuoton mikäli asuntojen vuokrausaste on 100 %. Vuokratuottolaskelmissa ei ole huomioitu erilisiä yhtiökuluja, jotka käytännössä tulisi jyvittää vuokrahinnan lisäksi. Rakennuttaja voi parantaa tuottoa ottamalla suuremman roolin rakennuttamisen tehtävistä, jolloin ne eivät sisältyisi laskelman mukaisessa laajuudessa rakennusurakkaan. Rakennuttajan tulisi hallita rakennuttamisen tehtävät omalla organisaatiollaan, jolloin ne myös muodostavat kustannuksia rakennuttajaorganisaatioon. Tämä asia tulee harkita tapauskohtaisesti. Päätökseen rakennuttamisen laajuudesta vaikuttaa merkittävästi rakennuttajaorganisaation resurssit.

Tämä tarkastelu ei ota kantaa investoinnin elinkaarenaikaisiin kustannuksiin. Tarkastelussa tulisi huomioida rakennustapojen aiheuttamat elinkaarenaikaiset huolto ja ylläpitokustannukset. Puukerrostalossa julkisivujen materiaalien mahdollinen huoltomaalaus ja automaattisen sammutusjärjestelmän huollot voivat nostaa huoltokustannuksia suhteessa betoni- ja kivirakenteiseen kerrostaloon. Mikäli tarkempaa tarkastelua haluttaisiin tehdä, tulisi puurakentamisen kannattavuutta parantavana tekijänä huomioida rakennuksen nopeampi valmistuminen ja samalla investoinnin tuoton aikaistuminen.

## 5.5 Puurakentamisen kannattavuus pääurakoitsijan näkökulmasta

Seuraavassa tarkastellaan puurakentamisen kannattavuutta pääurakoitsijan näkökulmasta. Tarkastelussa otetaan huomioon ajan, rahan, sekä sidottujen resurssien vaikutus kannattavuuteen. Erityistä huomiota on kiinnitetty nopeutuneen rahankierron vaikutukseen.

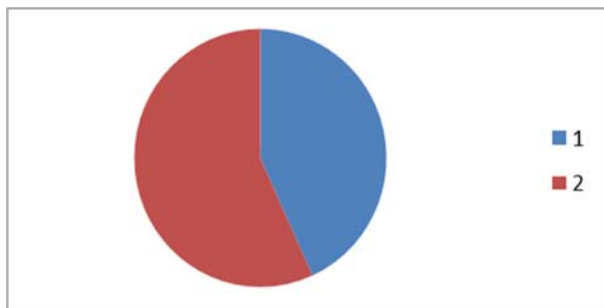
Taulukossa 3 on laskettu tavanomaisen betonirakenteisen kerrostalon, sekä puurakenteisen kerrostalon kannattavuutta. Kustannustietona on käytetty jo aiemmin käsitellyä kustannusrakennetta. Merkittävien muutosten kustannuksissa on kohta 1. tilaelementtien hankintakustannus. Betonirakenteisessa kerrostalossa kohdan 1 kustannus on 930 €/hum2, joka perustuu kustannuslaskelmaan ja puurakenteisessa kustannukseksi on arvioitu 1 500 €/hum2. Molempien sisältö noudattelee kohdassa 5.1.1 esitettyä kustannusjakoa. Urakoitsijan kate muodostuu molemmissa vertailuissa urakan liikevaihdon katteesta joka on tässä vertailussa 10 %. Tällöin kate on suoraan verrannollinen hankkeen kokonaiskustannuksiin. Toisin sanottuna mitä suurempi hankkeenarvo sitä suurempi on euromääräinen kate.

TAULUKKO 3. Betonirakenteisen kerrostalon ja puurakenteisen kerrostalon kannattavuuslaskenta (Haaranen 2017a.)

Vuokrahinta	15,5 €/m2				Vuokrahinta	15,5 €/m2			
Keskimääräinen asunto koko.	60 m2				Keskimääräinen asunto koko.	60 m2			
Asuntojen määrä	40 as				Asuntojen määrä	40 as			
Vuokratuotto /vuosi	446400 €/v			Vertailu	Vuokratuotto /vuosi	446400 €/v			
Pääoman tuotto tavoite	7,4 %			investointistrategiaan.	Pääoman tuotto tavoite	5,6 %			Vertailu investointistrategiaan.
Investoinnin maksimikustannus	6032432 €			Betonirakenteinen talo	Investoinnin maksimikustannus	7971429 €			puurakenteinen talo
asunnon maksimi hinta	2514 €/ham2				asunnon maksimi hinta	3321 €/ham2			
rakennuksen "hukka-alat" ham2	yht m2	m2	porras h.		rakennuksen "hukka-alat" ham2	yht m2	m2	porras h.	
hissi	24	12	2		hissi	24	12	2	
porrashuone	60	30	2		porrashuone	60	30	2	
sisäänkäynti	20	10	2		sisäänkäynti	20	10	2	
varastot	120	60	2		varastot	120	60	2	
teknikkakuilut	4	2	2		teknikkakuilut	4	2	2	
"tuplarakenne"	0	10	0		"tuplarakenne"	20	10	2	
tekniset tilat	40	20	2		tekniset tilat	40	20	2	
muut yhteistilat	30	15	2		muut yhteistilat	30	15	2	
Rakennuksen huoneistoala	2698 h-am2	€/ham2			Rakennuksen huoneistoala	2718 h-am2	€/ham2		
1. Tilaelementtien hankinta kustan	2232720 €	930,3			1. Tilaelementtien hankinta k	3600000 €	1500		
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	395,6			2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	395,6		
3. Talotekniikka kytkenät ja asenr	348552 €	145,23			3. Talotekniikka kytkenät ja	348552 €	145,23		
4. Työmaan käyttö ja yhteiskustani	527760 €	219,9			4. Työmaan käyttö ja yhteisku	527760 €	219,9		
5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122,2			5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122,2		
1-5 yhteensä	4351752				1-5 yhteensä	5719032			
10 % katteellinen tarjoushinta	4835280 €				10 % katteellinen tarjoushint	6354480 €			
urakoitsijan kate	483528 €				urakoitsijan kate	635448 €			
rakentamisen ALV%	1160467 €				rakentamisen ALV%	1525075,2 €			
kustannusarvio sis. ALV 24 %	5995747 €	<	6032432		kustannusarvio sis. ALV 24 %	7879555,2 €	<	7971429	

Kannattavuuslaskennan mukaan betonirakenteisen (1) kerrostalon kate on 483 t € ja puurakenteisen (2) kerrostalon kate on 635 t €. Kuviosta 4 voidaan havaita että puurakentaminen on merkittävästi kannattavampaa urakoitsijalle, kuin betonirakentaminen. Tämä laskentamalli tukee puurakentamisen kannattavuutta, koska puurakentaminen on tämän laskelman perusteella kalliimpaa kuin betonirakentaminen, näin ollen kiinteä kateprosentti tuottaa suuremman rahakatteen.

Menetelmä	kate €
1. rakennus betoni	483528
2. rakennus puu	635448



Kuvio 4. Betonirakenteisen ja puurakenteisen kerrostalon kate rahassa mitattuna (Haaranen 2017a.)

## 5.6 Katteen muodostuminen

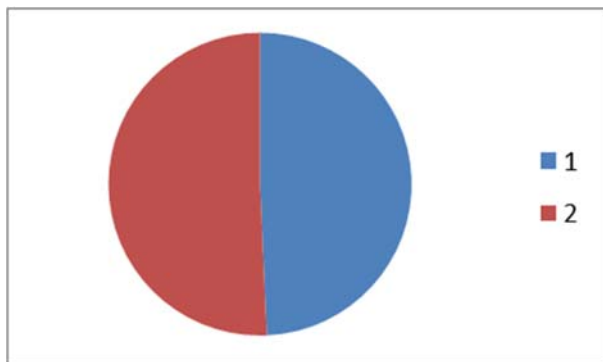
Taulukossa 4 on laskettu puurakentamisen ja betonirakentamisen kannattavuutta, siten että molempien rakennustapojen rahakate on yhtä suuri. Laskelmalla on pyritty selvittämään kuinka paljon liikevaihdon kateprosenttia voidaan vähentää, mutta silti saavutetaan sama rahakate hankkeesta.

TAULUKKO 4. Betonirakenteisen ja puurakenteisen kerrostalon katteen muodostuminen (Haaranen 2017a.)

Betonirakenteinen talo				Puurakenteinen talo			
Vuokrahinta	15,5 €/m2			Vuokrahinta	15,5 €/m2		
Keskimääräinen asunto koko.	60 m2			Keskimääräinen asunto koko.	60 m2		
Asuntojen määrä	40 as			Asuntojen määrä	40 as		
Vuokratuotto /vuosi	446400 €/v		Vertailu	Vuokratuotto /vuosi	446400 €/v		Vertailu investointistrategiaan.
Pääoman tuotto tavoite	7,4 %		investointistrategiaan.	Pääoman tuotto tavoite	5,7 %		puurakenteinen talo
Investoinnin maksimikustannus	6032432 €		Betonirakenteinen talo	Investoinnin maksimikustannus	7831579 €		
asunnon maksimi hinta	2514 €/ham2			asunnon maksimi hinta	3263 €/ham2		
<b>rakennuksen "hukka-alat" ham2</b>	<b>yht m2</b>	<b>m2</b>	<b>porras h.</b>	<b>rakennuksen "hukka-alat" ham2</b>	<b>yht m2</b>	<b>m2</b>	<b>porras h.</b>
hissi	24	12	2	hissi	24	12	2
porrashuone	60	30	2	porrashuone	60	30	2
sisäänkäynti	20	10	2	sisäänkäynti	20	10	2
varastot	120	60	2	varastot	120	60	2
teknikkakuilut	4	2	2	teknikkakuilut	4	2	2
"tuplarakenne"	0	10	0	"tuplarakenne"	20	10	2
tekniset tilat	40	20	2	tekniset tilat	40	20	2
muut yhteistilat	30	15	2	muut yhteistilat	30	15	2
<b>Rakennuksen huoneistoala</b>	<b>2698 h-am2</b>	<b>€/ham2</b>		<b>Rakennuksen huoneistoala</b>	<b>2718 h-am2</b>	<b>€/ham2</b>	
1. Tilaelementtien hankinta kustann	2232720 €	930,3		1. Tilaelementtien hankinta kustann	3600000 €	1500	
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	395,6		2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	395,6	
3. Talotekniikka kytkenät ja asenn	348552 €	145,23		3. Talotekniikka kytkenät ja asenn	348552 €	145,23	
4. Työmaan käyttö ja yhteiskustann	527760 €	219,9		4. Työmaan käyttö ja yhteiskustann	527760 €	219,9	
5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122,2		5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122,2	
1-5 yhteensä	4351752			1-5 yhteensä	5719032		
<b>10% katteellinen tarjoushinta</b>	<b>4835280 €</b>			<b>8% katteellinen tarjoushinta</b>	<b>6216339 €</b>		
urakoitsijan kate	483528 €			urakoitsijan kate	497307 €		
rakentamisen ALV%	1160467 €			rakentamisen ALV%	1491921 €		
<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>5995747 €</b>	<	<b>6032432,43</b>	<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>7708261 €</b>	<	<b>7831579</b>

Tuloksista voidaan todeta että puurakenteista kerrostalourakkaa voidaan tarjota noin 2 % pienemällä liikevaihdonkatteella kuin betonirakenteista kerrostalon urakkaa ja silti saadaan rahassa mitattuna samaa suuruusluokkaa oleva kate hankkeelle. Kuvio 5 voidaan tulkita että puurakentamisen kate on samaa luokkaa, tai hiukan suurempi kuin betonirakentamisen kate. Liikevaihdon kateprosentteina on käytetty betonirakentamisen osalta 10 % ja puurakentamisen osalta 8 %.

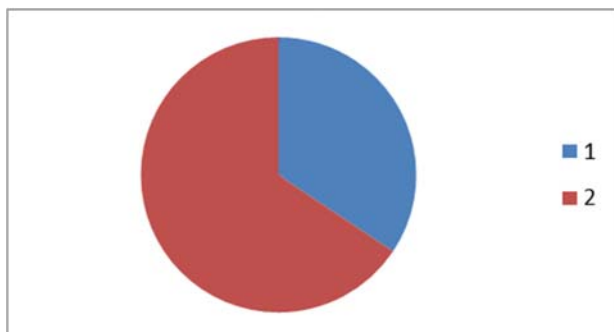
Menetelmä	kate €
1. rakennus betoni	483528
2. rakennus puu	497307



Kuvio 5. Puurakentamisen ja betonirakentamisen rahakate (Haaranen 2017a.)

Kuvion 5 mukaan rahakate on suuruusluokaltaan sama, toteutustavasta riippumatta. Jos katetta tarkastellaan suhteessa rakentamisen aikaan, tällöin puurakentamisen kannattavuus suhteessa betonirakentamiseen parantuu. Kuviossa 6 esitetään rakentamisen rahallista kannattavuutta suhteutettuna rakentamisaikaan. Tarkasteltavassa hankkeessa betonirakentamisella on 10 %:n liikevaihdon kate ja puurakentamisella on 8 %:n liikevaihdon kate. Oletetaan tämän kokoluokan betonirakenteisen rakennuksen työmaan normaalikestoksi 13 kuukautta ja puurakenteiselle 7 kuukautta. Vaikka puurakenteisen kerrostalourakan prosenttikate on pienempi kuin betonirakenteisen kerrostalon, silti puurakenteisestakerrostalosta voidaan saada huomattavasti suurempi rahallinen kate rakentamiskuukautta kohden, kuin betonirakenteisesta kerrostalosta.

Menetelmä	aika, kk	€/kk
1. rakennus betoni	13	37194
2. rakennus puu	7	71044



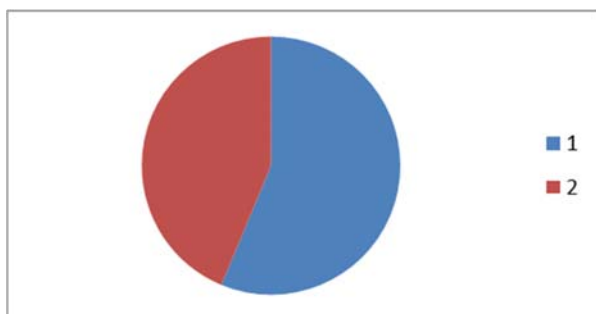
Kuvio 6. Puurakentamisen ja betonirakentamisen kate (Haaranen 2017a.)

Kuviosta 6 havaitaan että betonirakentamisen tuottama rahallinen kate on 37 t €/kk ja puurakentamisen rahallinen kate on 71 t €/kk. Puurakentaminen on tämän laskennan mukaan merkittävästi kannattavampaa liiketoimintaa, kuin betonirakentaminen. Todellisuudessa kate ei muodostu tasaisesti työmaan aikana, vaan siihen vaikuttaa useat hankkeen erityispiirteet. Tarkemman työmaan tulo- ja menoennusteen laatiminen vaatisi tarkat tiedot hankkeen tavoitearviosta, maksuerätaulukosta, hankintasuunnitelmasta ja tuotannon aikataulusta. Tässä vertailussa hankkeelle muodostunut kate jaettiin tasaisesti rakennusajalle.

## 5.7 Investoinnin kannattavuus

Kun tarkastellaan investoinnin kannattavuutta rakennuttajan näkökulmasta, tapauksessa jossa urakoitsija pyrkii rahamääräisesti samaan katesummaan rakentamisen menetelmistä riippumatta. Laskelmissa on huomioitu betonirakentamisessa urakoitsijan liikevaihdon katteena 10 % ja puurakentamisen liikevaihdon katteena 8 %. Kuviossa 7 on kuvattu kannattavuutta tilaajan näkökulmasta.

Menetelmä	Tuotto %
1. rakennus betoni	7,4
2. rakennus puu	5,8



KUVIO 7. Betonirakenteisen ja puurakenteisen rakennuksen investoinnin tuotto (Haaranen 2017a.)

Kuviosta 7 havaitaan että tilaajan sijoitetun pääomantuotto betonirakenteisesta kerrostalosta on 7,4 % ja puurakenteisen kerrostalon tuotto on 5,8 %, joka on noin 1,6 % pienempi kuin betonirakenteisen kerrostalon tuotto. Kuvion 7 vertailun perusteella voidaan todeta että betonirakenteinen kerrostalo on investoijan näkökulmasta tuottavampi vaihtoehto, kuin puurakenteinen kerrostalo.

## 5.8 Ajan vaikutus rakennusurakan kannattavuuteen

Puurakentamisen nopean työmaavaiheen huomioiminen parantaa puurakentamisen kannattavuutta rakennusurakoitsijan näkökannalta. Taulukossa 5 on laskettu puurakentamisen kannattavuutta nopeutunut rakentamisen aika huomioiden. Laskennassa on selvitetty liikevaihdon kateprosentin muutos, kun rakennusurakan kuukausittainen rahakate on yhtä suuri puurakentamisessa ja betonirakentamisessa.

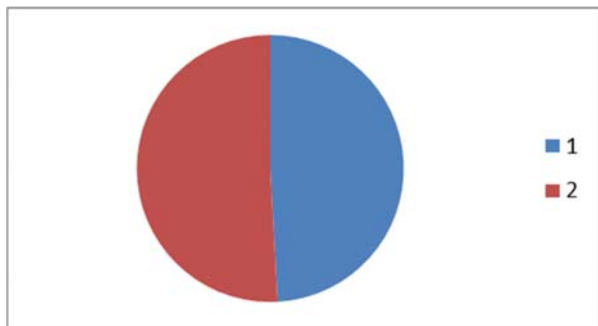
TAULUKKO 5. Kannattavuuslaskelma suhteessa rakentamisen aikaan (Haaranen 2017a.)

Vuokrahinta	15,5 €/m2					Vuokrahinta	15,5 €/m2				
Keskimääräinen asunto koko.	60 m2					Keskimääräinen asunto koko.	60 m2				
Asuntojen määrä	40 as					Asuntojen määrä	40 as				
Vuokratuotto /vuosi	446400 €/v					Vuokratuotto /vuosi	446400 €/v				
Pääoman tuotto tavoite	7,4 %					Pääoman tuotto tavoite	5,7 %				
Investoinnin maksimikustannus	6032432 €					Investoinnin maksimikustannus	7831579 €				
asunnon maksimi hinta	2514 €/ham2					asunnon maksimi hinta	3263 €/ham2				
rakennuksen "hukka-alat" ham2	yht m2	m2	porras h.			rakennuksen "hukka-alat" ham2	yht m2	m2	porras h.		
hissi	24	12	2			hissi	24	12	2		
porrasuone	60	30	2			porrasuone	60	30	2		
sisäänkäynti	20	10	2			sisäänkäynti	20	10	2		
varastot	120	60	2			varastot	120	60	2		
teknikkakuilut	4	2	2			teknikkakuilut	4	2	2		
"tuplarakenne"	0	10	0			"tuplarakenne"	20	10	2		
tekniset tilat	40	20	2			tekniset tilat	40	20	2		
muut yhteistilat	30	15	2			muut yhteistilat	30	15	2		
Rakennuksen huoneistoala	2698 h-am2	€/ham2				Rakennuksen huoneistoala	2718 h-am2	€/ham2			
1. Tilaelementtien hankinta kustan	2232720 €	930,3				1. Tilaelementtien hankinta kustann	3600000 €	1500			
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	395,6				2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	395,6			
3. Talotekniikka kytkennät ja asenn	348552 €	145,23				3. Talotekniikka kytkennät ja asennu	348552 €	145,23			
4. Työmaan käyttö ja yhteiskustansi	527760 €	219,9				4. Työmaan käyttö ja yhteiskustannus	527760 €	219,9			
5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122,2				5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122,2			
1-5 yhteensä	4351752					1-5 yhteensä	5719032				
10% katteellinen tarjoushinta	4835280 €					4,5% katteellinen tarjoushinta	5988515 €				
urakoitsijan kate	483528 €					urakoitsijan kate	269483 €				
rakentamisen ALV%	1160467 €					rakentamisen ALV%	1437244 €				
kustannusarvio sis. ALV 24 %	5995747 €	<	6032432,43			kustannusarvio sis. ALV 24 %	7425759 €	<	7831579		

Taulukon 5 laskelman mukaan puurakenteisen kerrostalourakan voisi tarjota noin 5,5 % pienemmällä katteella kuin betonirakenteisen kerrostalourakana. Puurakentamista voisi tarjota 4,5 %:n liikevaihdon katteella kun betonirakentamisen katteena on 10 %:n liikevaihdon kate.

Kuviossa 8 on esitetty kannattavuus suhteessa rakentamisen aikaan. Jos yrityksen ansaintalogiikka perustuisi kuukausikohtaiseen rahassa mitattuun tuottoon, voisi tällainen yritys erikoistua puurakentamisen urakointiin. Urakointia olisi mahdollista tehdä huomattavasti pienemmällä liikevaihdon kateprosentilla, kuin betonirakenteista kerrostaloa. Tämä tarkastelukulma parantaa myös investoijan kannattavuutta puurakentamisessa.

Menetelmä	aika,kk	€/kk
1. rakennus betoni	13	37194
2. rakennus puu	7	38498

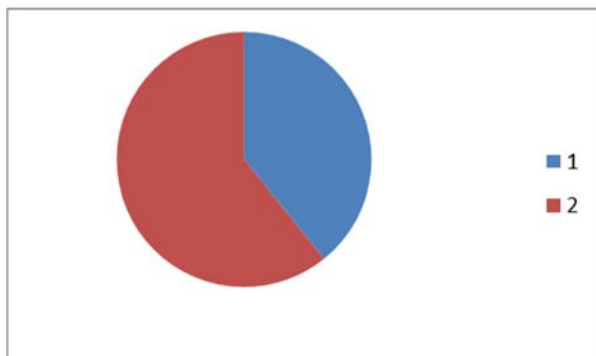


KUVIO 8. Kannattavuus suhteutettuna rakentamisen aikaan (Haaranen 2017a.)

Puurakentamisen teoreettista kannattavuutta voidaan parantaa entisestään huomioimalla rakennusaika ja työmaaorganisaation määrä rakennusaikana. Tämän vertailukohteen kerrostalotyömaa betonirakenteisena sitoo tavanomaisesti yhden vastaavan työnjohtajan sekä kaksi työmaamestaria tai insinööriä. Lisäksi tarvitaan yrityksen kiinteitä resursseja laskenta ja hankintatoimeen. Puurakentamisessa työmaan henkilöstömäärää voitaisiin vähentää noin yhden henkilötyövuoden verran. Perusteena tälle oletukselle voidaan pitää luvussa 5.2 ja kuviossa 3 esitettyä yli 50 %:n tehtävien siirtymistä tilaelementtihankinnassa teolliseen tuotantoon. Tämän henkilön panos käytännössä siirtyy tilaelementti toimittajalle. Tilaelementtihankinnassa merkittävä osa työmaan sisävalmistusvaiheen kriittisistä työvaiheista siirretään tehtaaseen tilaelementtitoimittajan vastuulle.

Kuviossa 9 on tarkasteltu urakoitsijan kannattavuutta, jossa on huomioituna työmaan toimihenkilöresurssit ja rakennusaika. Kuviossa 9 voidaan havaita että puurakentaminen 4,5 %:n liikevaihdon kateella tuottaa yhtä työmaan toimihenkilöä kohden 19 t €/kk, kun betonirakentaminen 10 % liikevaihdon kateella tuottaa 12 t €/kk. Tällä tarkastelulla voidaan vahvasti uskoa pienemmän liikevaihdon kateprosentin olevan kannattavalla tasolla.

Menetelmä	Tuotto /toimihenkilö/KK
1. rakennus betoni	12398
2. rakennus puu	19249



KUVIO 9. Työmaan toimihenkilön tuotto kuukaudessa (Haaranen 2017a.)

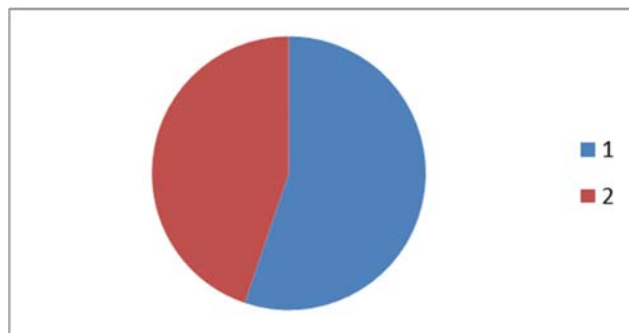
Edellisillä laskelmilla voitiin todeta puurakentamisen kannattavuus urakoitsijan näkökulmasta. Tämän tarkastelun perusteella puukerrostalon urakointi on kannattavampaa kuin betonirakenteisen kerrostalon urakointi, kun tarkastelussa huomioidaan rahakate, rakennusaika ja työmaan resurssit. Tämä toimintamalli alentaisi tilaajan investoinnin kustannuksia rakennushankkeessa, joka taas parantaisi tilaajan investoinnin kannattavuutta. Taulukossa 6. lasketaan kuinka tällaisen hypoteettisen yrityksen toiminta vaikuttaisi tilaajan pääoman tuottoon.

TAULUKKO 6. Investoinnin tuotto puurakentamisen liikevaihtokatteella 4,5 % (Haaranen 2017a.)

Vuokrahinta	15,5 €/m2				Vuokrahinta	15,5 €/m2			
Keskimääräinen asunto koko.	60 m2				Keskimääräinen asunto koko.	60 m2			
Asuntojen määrä	40 as				Asuntojen määrä	40 as			
Vuokratuotto /vuosi	446400 €/v			Vertailu	Vuokratuotto /vuosi	446400 €/v			
Pääoman tuotto tavoite	7,4 %			investointistrategiaan.	Pääoman tuotto tavoite	6 %			Vertailu investointistrategiaan.
Investoinnin maksimikustannus	6032432 €			Betonirakenteinen talo	Investoinnin maksimikustannus	7440000 €			puurakenteinen talo
asunnon maksimi hinta	2514 €/ham2				asunnon maksimi hinta	3100 €/ham2			
rakennuksen "hukka-alat" ham2	yht m2	m2	porras h.		rakennuksen "hukka-alat" ham2	yht m2	m2	porras h.	
hissi	24	12	2		hissi	24	12	2	
porrashuone	60	30	2		porrashuone	60	30	2	
sisäänkäynti	20	10	2		sisäänkäynti	20	10	2	
varastot	120	60	2		varastot	120	60	2	
teknikkakuulut	4	2	2		teknikkakuulut	4	2	2	
"tuplarakenne"	0	10	0		"tuplarakenne"	20	10	2	
tekniset tilat	40	20	2		tekniset tilat	40	20	2	
muut yhteistilat	30	15	2		muut yhteistilat	30	15	2	
Rakennuksen huoneistoala	2698 h-am2	€/ham2			Rakennuksen huoneistoala	2718 h-am2	€/ham2		
1. Tilaelementtien hankinta kustan	2232720 €	930,3			1. Tilaelementtien hankinta kustann	3600000 €	1500		
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	395,6			2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	395,6		
3. Talotekniikka kytkennät ja asenn	348552 €	145,23			3. Talotekniikka kytkennät ja asennu	348552 €	145,23		
4. Työmaan käyttö ja yhteiskustani	527760 €	219,9			4. Työmaan käyttö ja yhteiskustanni	527760 €	219,9		
5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122,2			5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122,2		
1-5 yhteensä	4351752				1-5 yhteensä	5719032			
<b>10% katteellinen tarjoushinta</b>	<b>4835280 €</b>				<b>4,5% katteellinen tarjoushinta</b>	<b>598515 €</b>			
urakoitsijan kate	483528 €				urakoitsijan kate	269483 €			
rakentamisen ALV%	1160467 €				rakentamisen ALV%	1437244 €			
<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>5995747 €</b>	<	<b>6032432,43</b>		<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>7425759 €</b>	<	<b>7440000</b>	

Taulukosta 6 havaitaan että urakointiliikkeen katteen ollessa 4,5 %, johtaa tämä tilaajan pääoman tuotoksi 6 %. Betonirakentaminen 10 %:n liikevaihdon katteella tuottaa 7,4 %. Jos vertaillaan tilannetta luvun 5.2.2 mukaan, jossa puurakentamiselle määritettiin 8 %:n liikevaihdon kate ja betonirakentamiselle määritettiin 10 %:n liikevaihtokate, tällöin tilaajan investoinnin tuotto puurakenteisessa kerrostalossa oli 5,8 % ja betonirakenteisessa kerrostalossa 7,4 %. Kun urakkatarjouksessa huomioidaan työmaa-aika ja sidotut resurssit, sekä tavoitellaan rahallista katetta rakentamiskuukaudelle, voidaan urakkaa teoriassa tarjota 4,5 %:n katteella. Tämä parantaa investoinnin tuottoa 0,2 %, jolloin investoinnin tuotto on kuvion 10 mukaisesti 6,0 %.

Menetelmä	Tuotto %
1. rakennus betoni	7,4
2. rakennus puu	6,0



KUVIO 10. Investoinnin tuotto 4,5 % liikevaihdon katteella (Haaranen 2017a.)

Kuviosta 10 voidaan todeta että betonirakenteisen kerrostalon investoinnin tuotto on 1,4 % suurempi kuin puurakenteisen kerrostalon. Kannattavuutta voisi vertailla paremmin todellisen tilaelementtitarjouksen pohjalta. Tässä vertailussa on käytetty arvioitua tilaelementtien hankintahintaa.



Laskelman perusteella voidaan kuitenkin määrittellä teoreettinen hankintahinnan yläraja tilaelementeille. Taulukossa 7 on laskettu tilaelementin maksimi hankintahinta tilanteessa jossa rakennusurakoitsija tarjoaa urakkaa 4,5 %:n liikevaihdon katteella ja tilaaja vaatii investoinnille 7,4 %:n pääoman tuoton.

TAULUKKO 7. Tilaelementin teoreettinen maksimikustannus (Haaranen 2017a.)

Vuokrahinta	15,2	€/m2			
Keskimääräinen asunto koko.	60	m2			
Asuntojen määrä	40	as			
Vuokratuotto /vuosi	437760	€/v			
Pääoman tuotto tavoite	7,4	%			Vertailu investointistrategiaan.
Investoinnin maksimikustannus	5915676	€			puurakenteinen talo
asunnon maksimi hinta	2465	€/ham2			
rakennuksen "hukka-alat" harjoitus		m2	porras h.		
hissi	24		12	2	
porrasuone	60		30	2	
sisäänkäynti	20		10	2	
varastot	120		60	2	
teknikkakuilut	4		2	2	
"tuplarakenne"	20		10	2	
tekniset tilat	40		20	2	
muut yhteistilat	30		15	2	
Rakennuksen huoneistoala	2718	h-am2	€/ham2		
1. Tilaelementtien hankinta k	2436000	€	1015		
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440	€	396		
3. Talotekniikka kytkennät ja	348552	€	145		
4. Työmaan käyttö ja yhteisku	527760	€	220		
5. Rakennuttajakustannukset	293280	€	122		
1-5 yhteensä	4555032				
<b>4,5 % katteellinen tarjoushin</b>	<b>4769667</b>	€			
<b>urakoitsijan kate</b>	<b>214635</b>	€			
rakentamisen ALV%	1144720,084	€			
<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>5914387</b>	€	<		<b>5915676</b>

Taulukosta 7 voidaan havaita että tilaelementin maksimi hankintahinta on 1 015 €/ham2 ja rakennusurakan katteen tulisi olla 4,5 % liikevaihdon katteesta. Tällöin tilaaja saa yhtä suuren investoinnin tuoton puurakenteisesta kerrostalosta ja betonirakenteisesta kerrostalosta.

## 5.9 Ajan vaikutus perustajaurakan kannattavuuteen

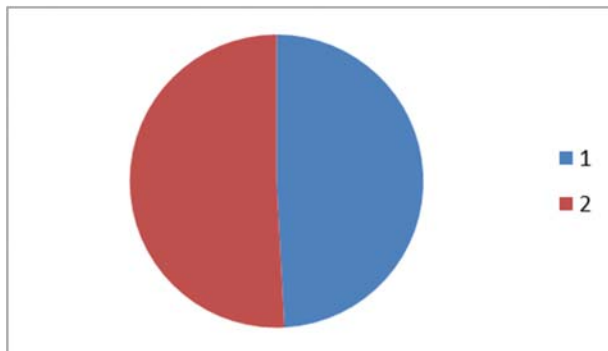
Perustajaurakointia tarkasteltaessa rakentamisen arvonlisäverokäytäntö muuttaa hiukan kustannuksia ja kannattavuutta. Arvonlisäveron käsittelyä on selvennetty luvussa 5.3. Taulukossa 8 on laskettu perustajaurakoinnin kannattavuutta, kun laskennassa huomioidaan työmaan aika.

TAULUKKO 8. Perustajaurakoinnin kannattavuus työmaan aikaan suhteutettuna (Haaranen 2017a.)

Gryndi kohde puu				Gryndi kohde bet.			
Keskimääräinen asunto koko.	60 m2			Keskimääräinen asunto koko.	60 m2		
Asuntojen määrä	40 as			Asuntojen määrä	40 as		
asunnon hinta	3038 €/ham2			asunnon hinta	2421 €/ham2		
rakennuksen "hukka-alat" ham. yht m2		m2	porras h.	rakennuksen "hukka-alat" ham2		yht m2	m2
hissi	24	12	2	hissi	24	12	2
porrashuone	60	30	2	porrashuone	60	30	2
sisäänkäynti	20	10	2	sisäänkäynti	20	10	2
varastot	120	60	2	varastot	120	60	2
teknikkakuilut	4	2	2	teknikkakuilut	4	2	2
"tuplarakenne"	20	10	2	"tuplarakenne"	0	10	0
tekniset tilat	40	20	2	tekniset tilat	40	20	2
muut yhteistilat	30	15	2	muut yhteistilat	30	15	2
Rakennuksen huoneistoala	2718 h-am2	€/ham2		Rakennuksen huoneistoala	2698 h-am2	€/ham2	
1. Tilaelementtien hankinta kus	3600000 €	1500		1. Tilaelementtien hankinta kustannus	2232720 €	930	
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	396		2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	396	
3. Talotekniikka kytkennät ja as	348552 €	145		3. Talotekniikka kytkennät ja asennukset	348552 €	145	
4. Työmaan käyttö ja yhteiskus	527760 €	220		4. Työmaan käyttö ja yhteiskustannukset	527760 €	220	
5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122		5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122	
<b>1-4 yhteensä</b>	<b>5425752</b>			<b>1-4 yhteensä</b>	<b>4058472</b>		
<b>5. Rakennuttajakustannukset</b>	<b>293280 €</b>			<b>5. Rakennuttajakustannukset</b>	<b>293280 €</b>		
<b>Grynderin katetavoite 4,5 %</b>	<b>269483 €</b>			<b>Grynderin katetavoite 10%</b>	<b>483528 €</b>		
rakentamisen ALV 24%	1302180 €			rakentamisen ALV 24%	974033,3 €		
<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>7290696 €</b>			<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>5809313 €</b>		

Taulukosta 8 sekä kuviosta 11 voidaan havaita että perustajaurakoinnissa katetavoitetta voidaan teoriassa pudottaa noin 5,5 %, liikevaihdon katteen jääden 4,5 %:iin. Vaikka liikevaihdon kate on puolitettua, silti rakennushankkeesta voidaan saada suuruusluokaltaan sama rahakate rakennuskuukausille kuin betonirakentamisessa, jossa tavoitellaan 10 % liikevaihtokatetta.

Menetelmä	aika, kk	€/kk
1. rakennus betoni	13	37194
2. rakennus puu	7	38498

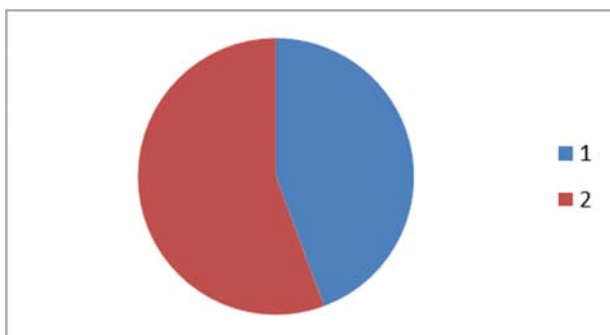


KUVIO 11. Puurakenteisen ja betonirakenteisen kerrostalon kate rakennusajalle jaettuna (Haaranen 2017a.)

Liikevaihdonkateprosentin muutos vaikuttaa asuntojen myyntihintaan. Kuvio 12 kuvaa asuntojen myyntihinnan eroa kohteessa, jossa betonirakenteisen kerrostalon liikevaihdonkate oli 10 % ja puurakenteisen kerrostalon liikevaihdonkate oli 4,5 %. Rakennusten myyntihinnat eivät sisällä täysin valmista kerrostalo kokonaisuutta, vaan ainoastaan talon osuuden. Laskeman mukaisia hintoja ei voida suoraan vertailla markkinoilla myytäviin asuntoihin. Asiaa on käsitelty tarkemmin luvussa 5.3 myyntihinnan tarkastelussa.

Puurakenteisen kerrostalon myyntihinta on tämän laskennan perusteella merkittävästi korkeampi verrattuna betonirakenteiseen kerrostaloon. Myyntihinnan eroksi tulee 617 €/hm<sup>2</sup> puurakennuksen ollessa kalliimpaa. Laskennan perusteena on edelleen tilaelementtien oletettu hankintahinta 1 500 €/hm<sup>2</sup>. Tämän vertailun perusteella kerrostalon rakentaminen on kannattavampaa tehdä betonirakenteisena, kuin puurakenteisena.

Menetelmä	€/hm <sup>2</sup>
1. rakennus betoni	2421
2. rakennus puu	3038



KUVIO 12. Puurakentamisen ja betonirakentamisen myyntihinnan vertailukaavio (Haaranen 2017a.)

Myyntihinnan merkittävä nousu aiheuttaa perustajaurakoitsijalle suuren myyntiriskin, joka voi muodostua niin merkittäväksi, ettei sitä haluta tai voida ottaa. Taloudellista riskiä voi aluksi lisätä myös epävarma kustannusrakenne, tuotantotapojen uutuus, sekä ostajien suhtautuminen uuteen rakennustapaan.

Taulukossa 9 on laskettu tilaelementille teoreettinen hankintahinta perustajaurakoinnissa, jonka perusteella asunnonmyyntihinta voisi olla samalla tasolla kuin betonirakenteisen kerrostaloasunnon myyntihinta.

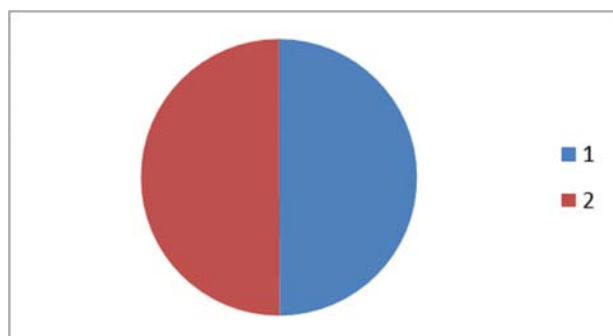
TAULUKKO 9. Tilaelementtien teoreettinen hankinta hinta (Haaranen 2017a.)

Gryndi kohde puu			
Keskimääräinen asunto koko.	60 m <sup>2</sup>		
Asuntojen määrä	40 as		
asunnon hinta	2426 €/ham <sup>2</sup>		
<b>rakennuksen "hukka-alat" ham.yht m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>porras h.</b>	
hissi	24	12	2
porrashuone	60	30	2
sisäänkäynti	20	10	2
varastot	120	60	2
teknikkakuilut	4	2	2
"tuplarakenne"	20	10	2
tekniset tilat	40	20	2
muut yhteistilat	30	15	2
<b>Rakennuksen huoneistoala</b>	<b>2718 h-am<sup>2</sup></b>	<b>€/ham<sup>2</sup></b>	
1. Tilaelementtien hankinta kus	2460000 €	<b>1025</b>	
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	396	
3. Talotekniikka kytkennät ja as	348552 €	145	
4. Työmaan käyttö ja yhteiskus	527760 €	220	
5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122	
<b>1-4 yhteensä</b>	<b>4285752</b>		
<b>5. Rakennuttajakustannukset</b>	<b>293280 €</b>		
Grynderin katetavoite 4,5 %	215766 €		
rakentamisen ALV 24%	1028580 €		
<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>5823378 €</b>		

Gryndi kohde bet.			
Keskimääräinen asunto koko.	60 m <sup>2</sup>		
Asuntojen määrä	40 as		
asunnon hinta	2421 €/ham <sup>2</sup>		
<b>rakennuksen "hukka-alat" ham2</b>	<b>yht m<sup>2</sup></b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>porras h.</b>
hissi	24	12	2
porrashuone	60	30	2
sisäänkäynti	20	10	2
varastot	120	60	2
teknikkakuilut	4	2	2
"tuplarakenne"	0	10	0
tekniset tilat	40	20	2
muut yhteistilat	30	15	2
<b>Rakennuksen huoneistoala</b>	<b>2698 h-am<sup>2</sup></b>	<b>€/ham<sup>2</sup></b>	
1. Tilaelementtien hankinta kustannus	2232720 €	930	
2. Perustus,vk, porh,kellari	949440 €	396	
3. Talotekniikka kytkennät ja asennukset	348552 €	145	
4. Työmaan käyttö ja yhteiskustannukset	527760 €	220	
5. Rakennuttajakustannukset	293280 €	122	
<b>1-4 yhteensä</b>	<b>4058472</b>		
<b>5. Rakennuttajakustannukset</b>	<b>293280 €</b>		
Grynderin katetavoite 10%	483528 €		
rakentamisen ALV 24%	974033,3 €		
<b>kustannusarvio sis. ALV 24 %</b>	<b>5809313 €</b>		

Taulukosta 9 voidaan havaita tilaelementin maksimi hankintahinta 1 025 €/hum<sup>2</sup>. Kuvio 13 havainnollistaa asuntojen myyntihinnat, jotka ovat vastaavan suuruisia puurakenteisessa ja betonirakenteisessä kerrostalossa.

Menetelmä	€/hm <sup>2</sup>
1. rakennus betoni	2421
2. rakennus puu	2426

KUVIO 13. Asuntojen myyntihinnat tilaelementin hankintahinnalla 1 025 €/hum<sup>2</sup> (Haaranen 2017a.)

## 5.10 Yhteenveto kannattavuudesta

Edellisissä laskelmissa esitetyt liikevaihdon katteet eivät ole sellaisenaan soveltuvia yleiseen käyttöön. Kunkin yrityksen tulee tarkastella oman kulurakenteen kautta katteen suuruutta. Laskelmilla on kuitenkin perusteltu se että puurakentamisen aikataulun nopeutuminen ja tuotannon siirtyminen suuresti alihankintaan vähentää työmaan resursseja merkittävästi. Tämä olisi syytä huomioida kokonaistarkastelussa kun vertaillaan puurakentamista ja betonirakentamista urakoinnin kannalta.

Tilaelementtien hankintakustannusten ollessa 1 015 – 1 025 €/hum2 (alv 0 %) ja urakkamuotona kokonaisurakka, jonka liikevaihdon kate olisi 4,5 %, voisi haastaa betonirakentamisen myös kokonaistaloudellisuuden kannalta. Puurakentamisen kannattavuutta tulisikin mitata suhteutettuna aikaan ja rahaan, eikä perinteisellä liikevaihdon katteella. Jos hankkeista tavoiteltaisiin rahamääräistä katetta suhteessa aikaan ja käytettyihin resursseihin voitaisiin puurakentamista pitää kilpailukykyisenä toimintana niin rakennuttajan, urakoitsijan, kuin perustajaurakoitsijan näkökulmasta.

Puukerrostalotuotanto vaatisi pitkäkestoista ja jatkuvaa toimintaa. Työn alle tulisi saada useita kerrostaloja peräkkäin, jolloin resurssien hyödyntäminen pitkäkestoisissa projekteissa olisi taloudellisesti kannattavaa. Rakentamisen prosessin nopeus mahdollistaa suuremman määrän rakentaa asuntoja vuosittain. Tämän nopeuden hyödyntäminen tulisikin olla osapuolten liiketoiminnan strategia. Aluerakentamisen mahdollisuus parantaisi puurakentamisen roolia kerrostalotuotannossa. Kaavoituksen pitäisi mahdollistaa suuremmat rakennettavat alueet, joissa puurakentamisen nopeutta voisi hyödyntää.

Muita keinoja jolla puurakentamista voitaisiin lisätä, voisi olla kaavalla ohjaaminen. Kaavan yksiselitteinen määräys käyttää runkorakenteen puuta voi aiheuttaa kaavasta valittamisia. Erilaiset energiaverot, tilaajan asettamat LEED -vaatimukset tai muut määräykset jotka ohjaavat pienempään hiilijalanjälkeen voisivat edistää puurakentamista. Erilaiset muut tuotantotukimallit voisivat aiheuttaa puurakentamisen kehittämisen vähenemistä ja tukien poistuessa tämä voisi aiheuttaa suuren ongelmat markkinassa pysymiseen. Tärkeintä olisi kehittää puurakentamista rakennushankkeen eri osapuolten kesken.

Olellainen kysymys kuitenkin on siitä millä perusteella tilaaja saadaan valitsemaan puurakennus betonirakennuksen sijaan? Riittääkö tunnetut perusteet nopeutuneesta aikataulusta, ympäristöarvoista ja mahdollisesta laadullisesta edusta kääntämään valinnan puukerrostaloon? Mikäli todella halutaan haasta vakiintunut toimija, tulee haastajan osoittaa aukottomasti myös taloudellinen kannattavuus. Tämän haasteen vastuuta ei voi ottaa pelkästään puuelementtien toimittajat, urakoitsijat, suunnittelijat, rakennuttajat ja kaavoittajat. Tämän haasteen voittamiseksi tulee osapuolten yhdessä pohtia menestyksen avaimia omien vaikutusalueidensa kautta. Kukaan voi tarkastella omassa prosessissaan kannattavuutta ja keinoja kannattavuuden parantamiseksi, kuten urakoinnin osalta edellisissä luvuissa on tehty.

## 6 PUUKERROSTALON RAKENNUUTTAMINEN

Rakentaminen Suomessa on hyvin konservatiivinen ala, jossa halutaan pysytellä vakiintuneissa toimintamalleissa. Kukin tahollaan pyrkii hallitsemaan riskit mahdollisimman hyvin sopimustekniikalla. Joskus tuntuu siltä että rakentamisessa puuttuu kokonaisuuden eteen tähtäävät yhteiset tavoitteet, jotka eivät peity henkilökohtaisten tavoitteiden alle. Tällainen toimintakulttuuri ei edistä alan kehitystä ja laatutason kehitystä. Alalla puhutaan yleisesti allianssimallista, jossa riskejä ja onnistumisia tulisi jakaa hankkeen osapuolten välillä. Harvemmin olen kuitenkin törmännyt tällaiseen henkeen yritysmaailmassa, niin rakennuttaja kuin urakoitsijankaan taholta.

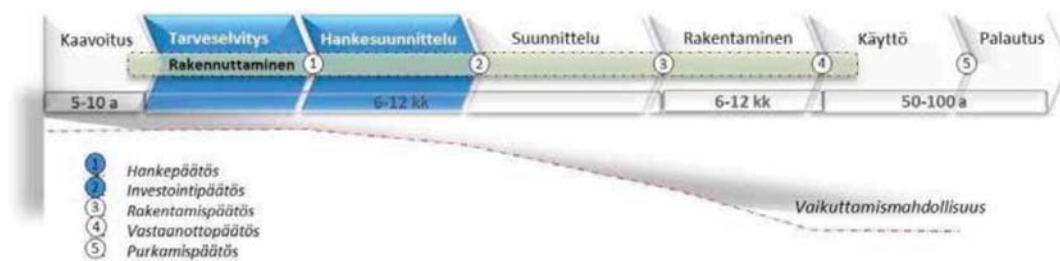
Arkkitehti Vesa Ijäs on perehtynyt puurakentamisen haasteisiin Tampereen teknilliseen yliopistoon (2013) tekemässään väitöskirjassa Puukerrostalojen rakentamisen esteet ja mahdollisuudet. Hän toteaa myös puuinfon haastattelussa että kehittyäkseen suomalainen puukerrostalorakentaminen tarvitsee rakennushankkeen riskejä ja vastuita jakavan urakkamuodon. Lähtökohtana hankkeelle voisi olla taho joka rakentaisi kerrostalon pitkäaikaiseen omistukseen ja huomioisi näin ollen kokonaistaloudellisuutta investoinnissa kuin rakennuksen ylläpidossa. Vesa Ijäs toteaa myös että puukerrostalotuotannossa tulisi ottaa käyttöön hankesuunnittelujärjestelmä, joka ottaisi huomioon hankkeen erityispiirteet, viranomaisvaatimukset, rakentamisen tekniset, taloudelliset ja toiminnalliset tekijät koko hankkeen elinkaarta tarkastellen. Ijäs myös haastaa metsäyhtiöt omalla panoksellaan riskien jakoon hankkeissa. (Laukkanen 2013, 74 - 75.)

Seuraavissa kappaleissa käsitellään erilaisten urakkamuotojen toimivuutta puurakenteisen kerrostalon urakoinnissa. Urakkamuotojen soveltuvuuden pohdinta perustuu paljon omiin kokemuksiin käytännön työelämästä, sekä teoreettiseen pohdintaan jota nykyisessä rakentamisen tuotannon ja talouden opettajatehtävässä olen soveltanut. Lisäarvoa tuottaa myös näkemys joka on syntynyt tämän opinnäytetyön teossa.

### 6.1 Hankkeen valmistelu

Hankesuunnittelu tulisi hallita kaikessa rakentamisessa ennen investointipäätöksen tekoa. Hankesuunnitteluvaiheessa rakennuksen kustannukset tulisi tarkastella sekä investointikustannuksien, että käyttökustannuksien kautta. (Ijäs, Sipilä, Vanhanen 2014, 8.) Investointistrategia on avainasemassa ja ohjaa hankkeen päätöksen teossa.

Hankesuunnittelussa tulisi vertailla tarjolla olevien vaihtoehtojen toteuttamiskelpoisuutta, tässä vaiheessa on mahdollisuus ottaa useita eri rakenneratkaisuja vertailuun ilman merkittäviä kustannusvaihtokuituksia (Ijäs, Sipilä, Vanhanen 2014, 8). Vesa Ijäs mukaan rakennushankkeen kokonaisvaihe koostuu kuvion 14 mukaisesti kaavavaiheesta, tarveselvitys ja hankesuunnitteluvaiheesta, suunnitteluvaiheesta, rakentamisvaiheesta, käytöstä ja palautusvaiheesta (Ijäs 2013, 76).



KUVIO 14. Hanke-suunnittelun prosessimalli vaiheittain (Ijäs 2013, 76.)

Kuviosta 14 voidaan havaita hanke-suunnitteluvaiheessa tehtyjen ratkaisuiden vaikuttavan jopa 50 - 100 vuoden jaksolla, rakennuksen käyttöiästä riippuen. Tämä asia on huomioitava investointistrategiaa valittaessa. Puukerrostalorakentamisessa tulee huomioida se että suunnitteluvaihe ja rakentamisvaihe eivät voi mennä limikkäin toistensa kanssa, kuten tavanomaisessa betonirakentamisessa. Vasta suunnitteluvaiheen päätyttyä voidaan aloittaa rakennusvaihe, joka alkaa teollisella elementtien valmistuksella.

Puurakentamisessa suunnitteluvalmius tulee olla lähes 100 %, ennen rakentamisvaiheen aloitusta. Suunnitteluvaiheen jälkeen voidaan aloittaa teollinen tilaelementtien rakentaminen, jonka toimitus nopeus riippuu elementtitoimitajan kapasiteetista. Tämä suunnittelun ja elementtien toimitusaika on huomioitava varsinaista työmaan rakennusurakkaa hankittaessa. Työmaan toiminnot on mitoitettava tilaelementtien toimituskapasiteettiin sopivaksi. Näin vältetään ylimääräiset ja kalliit tuotannon häiriöt rakennusvaiheessa.

## 6.2 Urakkamuodot

Urakkamuoto vaikuttaa voimakkaasti rakennushankkeen kustannusrakenteeseen. Jokaisen hankkeen urakkamuoto on suunniteltava tapauskohtaisesti. Siihen vaikuttaa merkittävästi rakennuttajan käytössä olevat resurssit sekä rakennuttajan ammattitaito. Yhtä ja oikeaa urakkamuotoa ei ole olemassa, vaan jokaiselle hankkeelle pyritään valitsemaan juuri kyseisen hankkeen kannalta soveltuvin urakkamuoto.

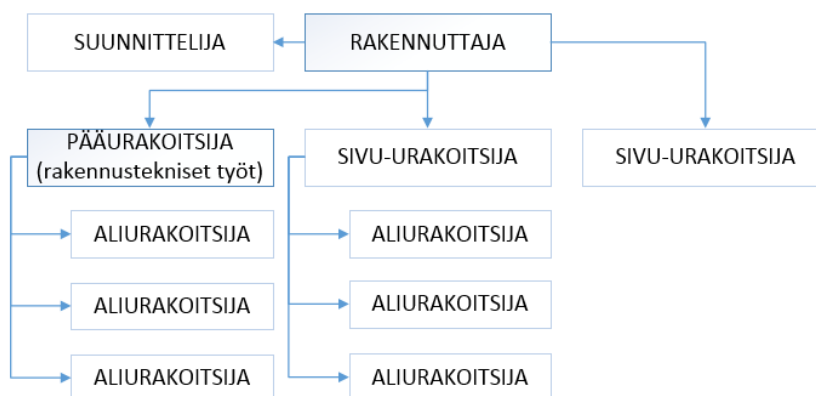
Tässä selvitystyössä kustannusvertailuosiossa on käsitelty perustajaurakkaa sekä kokonaisvastuurakentamisen urakkaa. Mikään ei kuitenkaan estä tilaajaa ottamasta suunnitteluvastuuta itsellensä. Vertailulaskelmissa päädyin tarkastelemaan vain edellä mainittuja kokonaisvastuun urakkamuotoja koska kustannusrakenteen monimuotoisuudesta johtuen olisi ollut vaikeaa tehdä pätevää vertailua eri toteutustapojen välillä. Mikäli tilaaja ottaa suuremman roolin suunnittelussa, tulisi tilaajan olla puurakentamiseen perehtynyt ammattilainen. Tilaja ottaa tällöin vastuun suunnitteluratkaisuiden oikeellisuudesta ja siitä että valittu tuote kestää ja toimii rakenteelle määritetyn käyttöiän.

Urakkarajapintojen ja suunnittelurajapintojen käsittelyssä tulee olla erityisen tarkkana. Sopimusketjuissa tulee tunnistaa erityislainsäädännön vaikutus sopimukseen sekä hankintaan soveltuva sopimusehto. Aina suunnittelua sisältävässä urakassa suunnittelutyön tilaajana toimiva vastaa sopimusosa-

puolelle suunnittelun oikeellisuudesta joko erityislainsäädännön tai käytetyn sopimusehdon virhemäärityksen mukaisesti. Tämä koskee myös valittujen tuotteiden kestävyyttä. Lyhyesti tiivistettynä urakoitsija vastaa suunnittelua sisältävässä urakassa siitä, että urakassa käytetty materiaali kestää materiaalille tai rakenteelle määrätyn käyttöiän toimintakuntoisena.

### 6.2.1 Jaettu-urakka

Jaetussa urakassa rakennusurakka pilkotaan useisiin pienempiin rakennusurakoihin kuvion 15 mukaisesti. Yhdessä eri urakat muodostavat hankkeen kokonaisurakan. Kuviossa 15 sopimussuhteita kuvataan nuolilla.



KUVIO 15. Jaetun urakan organisaatiokaavio (Haaranen 2017d.)

Rakennuttaja valitsee rakennusurakat joko kilpailuttamalla, tai neuvottelumenettelyllä. Rakennusteknisten töiden urakasta käytetään tavallisesti nimitystä ”pääurakka” kun taas rakennuttajan ja erikoistöiden urakoitsijan ja rakennuttajan välisiä sopimuksia kutsutaan ”sivu-urakoiksi”. Pääurakoitsijana poikkeustapauksissa voi olla myös jokin muu urakoitsija kuin kohteen rakennus-urakoitsija. (Liuksiala ja Stoor 2014, 42.)

Toisaalta taas osa rakennusurakoista voi olla myös rakennuttajan sivu-urakoita, tai rakennuttajan erillishankintoja. Tavanomaisesti sivu-urakoina ovat työmaan talotekniset urakat ja muut rakennustyöt ovat rakennus urakassa. Rakennuttaja erillishankintoina voi olla tilaajan erityistarpeista syntyneet hankinnat, kuten esimerkiksi erityiskalusteet. Pääurakka nimike on myös merkittävä maankäyttö ja rakennuslainsäädännön, sekä työturvallisuus lainsäädännön mukaisesti. Tällä nimityksellä usein käsitellään hankkeen päätoteuttajan velvoitteet.

Jatkossa käsitellään hanketta jossa on rakennus- ja pääurakka, sekä työmaan talotekniset työt sivu-urakoina. Sivu-urakat on alistettu alistamissopimuksella pääurakan hallintaan. Tilaelementit ovat tilaajan erillishankintoja, joiden asennus kuuluu rakennus-urakkaan. Urakkarajana on ”tilaelementit toimitettuna työmaalle” ja rakennusurakkaan kuuluu ajoneuvosta purku, sekä mahdolliset väliaikaiset suo-  
jaukset, sekä tilaelementtien asennus.



Tällaisessa urakassa on tärkeää huomata että vaaranvastuu siirtyy rakennusurakkaan heti kun elementit nostetaan kuormasta. Tällöin rakennusurakoitsijan tulisi varmistaa kuljetuksen aikaiset vauriot, sekä kuljetuksen aikainen suojaus. Tämän jälkeen vastuu elementtien kunnosta on rakennusurakassa. Rakennusurakka asentaa ja huolehtii työnaikaisen suojauksen elementeille, sekä tekee muut työmaan rakennustehtävät. Tilaajan sivu-urakoina toimivat työmaan talotekniikka-asennukset tulee yhdistyä tilaelementtien talotekniikkaan. Pääurakoitsijan velvollisuus on yhteen sovittaa talotekniikkatehtävät ajallisesti ja laadullisesti, tämä hallitaan YSE -alistamissopimuksen turvin.

Huomiota on kiinnitettävä talotekniikan suunnittelun yhteensopivuuteen. Tilaelementtien ja työmaan talotekninen suunnittelu on vähintään yhteen sovitettava ennen urakkakilpailua, mikäli suunnittelu ei tule samalta suunnittelijalta tilaelementtiin ja talon muuhun osaan. Tilaelementin kytkennät rakennuksen runkolinjaan tehdään työmaalla. Toteutuksesta vastaa tilaajan sivu-urakoitsijana työmaalla toimiva talotekninen urakoitsija. Kytkennät on myös seikkaperäisesti käsiteltävä urakkarajaliitteessä vaaranvastuun ja takuuajan rajan selventämiseksi.

Tilaelementin sisällön laatu ja varustetaso kuuluu taas tilaajan ja tilaelementtien toimittajan väliseen sopimukseen. Ainoastaan asennustyössä aiheutuneista laaturvirheistä vastaa rakennusurakoitsija. Tyypillisimmiksi asennuksenlaaturvirheiksi voisi arvioida betonielementtirakentamisen mukaisesti asennuksen mittasijaintivirheet, sääsuojauksen puutteellisuus ja muut asennusaikaiset rikot. Asennuksen mitattavirheen mahdollisuutta tulisi arvioida jo tilaelementtien asennussuunnitelmassa. Elementit tulisi olla mitattavissa selkeistä paikoista tilaelementtien ulkoreunoilta ja tilaelementin alapinnan korkoasemasta. Suunnitteluvaiheessa on otettava huomioon myös asennusaikainen työturvallisuus.

Urakoitsijan tulee toteuttaa kohde suunnitelma-asiakirjojen mukaisesti. Laatutaso ja materiaalivalinnat tulee olla urakka-asiakirjoissa yksiselitteisesti määritetty. Mikäli urakassa sovelletaan YSE- 98 ehtoja tilaajan ja urakoitsijan välisessä sopimuksessa, tulee tällöin urakoitsijan ilmoittaa kohtuudella havaittavista suunnitelmatarpeista tai suunnitelmavirheistä tilaajalle mahdollisimman pian havaittuaan puutteen tai virheen. Tilaaja vastaa tässä tapauksessa suunnitelman kelvollisuudesta ja oikeellisuudesta.

Rakennusurakan suoritusvelvollisuus tulee esittää urakkaohjelmassa, sekä täydentää sopimusehdoilla. Urakkarajat tulee käsitellä yksityiskohtaisesti urakkarajaliitteellä. Tällä menettelyllä varmistetaan vastuiden selkeys urakka-aikana, sekä takuuajana.

Kohteen valmistuttua kohteella voidaan aloittaa mittaukset ja tarkastukset. Viranomainen vaatii usein erityismittauksia ja tarkastuksia, jotka esitetään rakennuslupa-asiakirjoissa. Tyypillisesti mittaukset ovat äänimittauksia, painekokeita, savunpoistomekanismien tarkastuksia, automaattisen sammutusjärjestelmän mittauspöytäkirja, väestönsuojatarkastukset, sähkömittauspöytäkirjat, sekä LVIA -töiden tarkastusasiakirjat.

Rakennuskohteella tulee olla viranomaisen määräyksestä vastaavatyönjohtaja, KVV -vastaavatyönjohtaja, IV vastaavatyönjohtaja, SÄ -vastaavatyönjohtaja sekä mahdollisesti sammutusjärjestelmästä vastaava työnjohtaja, ellei sitä ole sopimuksilla siirretty KVV -vastuun alaisuuteen.

Lähtökohtaisesti työmaalle nimetyt työnjohtaja vastaavat siitä että rakennus toimii viranomaisen näkökannalta määräykset täyttävästi. Tässä urakointimallissa työnjohtajat joutuvat ottamaan vastuulleen sellaisia tehtäviä, joihin heillä ei ole ollut mahdollisuutta vaikuttaa. Tehtävät ovat olleet tilaajan erillishankinnassa tilaelementtitoimituksessa ja työmaalle nimetyt urakoitsijat vastaavat myös tällöin viranomaisen suuntaan työn oikeellisuudesta.

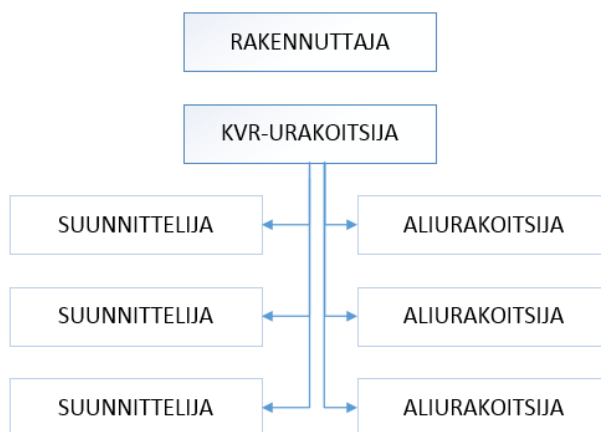
Mitä vaikutuksia tällaisessa urakkamuodossa on tilanteessa jossa tilaajan erillishankintana olleesta hankinnasta puuttuu jokin olennainen vaatimus, joka estää rakennuksen käyttöönoton? Käytetään tässä esimerkkinä askeläänien eristävyyttä, joka ylittää sallitun äänitason.

Viranomainen ei hyväksy rakennusurakkaa valmiiksi, koska rakennus ei täytä sille asetettuja askeläänieristysten vaatimuksia. Rakennusurakoitsija toimii hankkeen päätoteuttajana ja on siten nimenyt hankkeelle vastaavan työnjohtajan. Vastaavatyönjohtaja vastaa hankkeen toteutumisesta maankäyttö ja rakennuslainsäädännön mukaisesti. Urakoitsija on sopimussuhteessa tilaajaan ja tilaaja on määrittänyt urakka-asiakirjoihin hankkeen valmistumispäivämäärän. Valmistumispäivämäärään ei päästä, koska hanke ei ole viranomaisen hyväksymä. Tällaisessa tapauksessa tilaaja voisi vaatia sopimuksen mukaista viivästyssakkoa urakoitsijalta, vaikka urakoitsija omilla toimillaan ei olisi aiheuttanut viivettä. Olettaen että urakoitsija on toteuttanut rakennuksen suunnittelu asiakirjojen mukaisesti.

Edellä kuvatut ristiriidat tulee selvittää seikkaperäisesti urakka-asiakirjoissa, siten että osapuolten vastuu on selkeästi rajattua. Täydelliseen ristiriidattomuuteen ei päästäne tämän esimerkin mukaisella urakkamuodolla.

### 6.2.2 Kokonaisvastuurakentaminen

Kokonaisvastuurakentamisen urakasta käytetään usein nimitystä KVR -urakka. Kuviossa 16 on esitetty tavanomainen kokonaisvastuurakentamisen organisaation kuvaus, jossa sopimussuhteet on kuvattu nuolilla. Tässä urakkamuodossa urakoitsija huolehtii hankkeen kokonaiskoordinoinnista, sekä kohteen suunnittelusta sopimuksen laajuuden mukaan. Urakoitsija vastaa kokonaisuuden toimittamisesta tilaajalle. Hyötyinä pidetään urakoitsijan kykyä vaikuttaa kustannuksiin, sekä jaettua urakkaa lyhyenpää kokonaisaikaa. Sopimusketjut ovat myös yksikertaisia, kun niitä tarkastelee rakennuttajan näkökulmasta. Urakoitsijalta vaaditaan kykyä palvella hankkeen asettamien toiminnallisten tavoitteiden mukaan. (Liuksiala ja Stoor 2014, 39 – 40.)



KUVIO 16. Kokonaisvastuurakentamisen organisaatiokaavio (Haaranen 2017d.)

Kokonaisvastuurakentamisen menetelmällä toteutetaan valtaosa perustajaurakointimuotoisesta rakentamisesta. Tällöin perustajaurakoitsijalla on tontti, johon lähdetään suunnittelemaan ja toteuttamaan hanketta. Asuntojen myynti tapahtuu joko yksityisille ihmisille tai suurempana kokonaisuutena erilliselle sijoittajayhtiölle. Hanke on tyypillisesti asunto-osakeyhtiömuotoista rakentamista ja tällöin erityislainsäädäntönä on tulkittava asuntokauppalakia. Asuntokauppalain mukaiset erityispiirteet tulee huomioida ja nostaa sopimusketjuissa eteenpäin.

Mikäli luvun 6.2.1 mukainen hanke toteutettaisiin kokonaisvastuurakentamisella, siten että tilaaja tekisi yhden sopimuksen kokonaisurakasta suunnitteluineen yhden toimijan kanssa. Tällöin edellä kuvatut ristiriidat olisi selkeästi valtuutetut yhdelle toimijalle. Edellä kuvattujen ongelmien selvittely jatkuisi sopimusketjuissa eteenpäin, seuraavaksi kokonaisvastuu-urakoitsijan ja tilaelementti toimittajan välille. Tällöin tarkasteluun tulisi urakoitsijan ja tilaelementtitoimittajan välisessä sopimuksessa käytetyt mahdolliset erityislainsäädännöt ja sopimusehdot. Tällaisia ristiriitoja voisi kuvitella syntyvän, kun hanketta toteutetaan entuudestaan tuntemattomilla menetelmillä.

Millainen on kustannusvaikutus sillä että urakoitsija ottaa vastuun suunnittelun oikeellisuudesta ja käytettyjen materiaalien virhevastuun? Virhevastuu suunnittelua sisältävissä YSE- 98 mukaisissa sopimuksissa on yleensä 10 vuotta. Tällöin myös tilaajan ohjaukset hankkeelle vähenevät, mutta toisaalta vastuu ja ristiriidat vähenevät myös.

### 6.2.3 Projektinjohtourakointi

Projektinjohtorakentamisen eri muotoja ovat projektinjohtourakka, projektinjohtopalvelut ja projektinjohtorakentaminen. Projektinjohtourakassa urakoitsijaa voidaan rinnastaa jaetun urakan pääurakoitsijan rooliin. Urakoitsija toimii työmaalla rakennuttajan ja päätoteuttajan roolissa. Rakennusurakat pilkotaan useisiin pienempiin urakoihin, joiden valintaan tilaaja pääsee vaikuttamaan. Sopimusehtoina sovelletaan usein YSE- 98 sopimusehtoja. (Liuksiala ja Stoor 2014, 43.)

Projektinjohtopalvelussa rakennusurakat jaotellaan myös useisiin sopiviin urakkakokonaisuuksiin. Urakoitsijoiden sopimussuhteet syntyvät rakennuttajaan, joka toimii tilaajana. Projektinjohtokonsultti toimii hankkeen projektinjohto ja rakennuttamistehtävistä vastaavana konsulttina, joka vastaa myös työmaan johtamisesta. Työmaan palvelut jotka jaetussa urakassa, sekä projektinjohtourakassa kuuluvat kyseiselle urakoitsijalle ovat projektinjohtopalvelumallissa erikseen hankittavia urakoita. Sopimusehtona projektinjohtopalveluun sovelletaan KSE 2013. (Liuksiala ja Stoor 2014, 44.)

Projektinjohtorakennuttamisessa projektinjohtokonsultti ei huolehdi YSE 98 kohdassa 4§ tarkoitetuista työmaan johtovelvollisuuksista. Tällöin niistä huolehtii joko rakennuttaja, eli tilaaja itse tai palkkaamansa ulkopuolinen henkilö. (Liuksiala ja Stoor 2014, 44 - 45.) Yleisesti projektinjohtourakkamuodoissa vastike määräytyy hankkeen tavoite ja kattohinnan perusteella (Liuksiala ja Stoor 2014, 46). Urakkamuoto ja maksuperuste tulee aina laatia tapauskohtaisesti. Yhtä ja oikeaa maksuperustetta ei ole olemassa joka sopisi juuri johonkin urakkamuotoon.

Edellä luvussa 6.2.1 käsiteltyä hanketta voi ajatella toteutettavaksi jollain projektinjohtourakkamalleista. Projektinjohtourakkamallit soveltuisivat melko hyvin puukerrostalo rakentamiseen ainakin ennen kuin alalle on vakiintunut puurakentamisen toimintatapa. Soveltuvuuden puolesta puhuu riskien jakaantuminen ja vastuu valittujen materiaalien ja tuoteosien kelpoisuudesta. Tilaaja pääsee myös itse vaikuttamaan hankkeen toiminallisuuteen hankkeen edetessä. Projektinjohtopalvelumuotoisella toteutuksella tilaaja vastaisi aliurakkasopimuksista. Aliurakkasopimusten laadinnassa tekninen ja taloudellinen osaaminen ostettaisiin osaavalta projektinjohtopalvelun tuottajalta. Hanke olisi mahdollista pilkkoa tehokkaisiin aliurakkamuotoisiin osaurakoihin, joiden yhteensovittamisen velvoite olisi projektinjohtopalvelu-urakoitsijalla.

Parhaiten projektinjohtopalvelu-urakoitsija vastaisi tarpeeseen, mikäli projektinjohtoon kuuluisi suunnittelunohjaus, hankintatoimi sekä työmaan vastaavan työnjohtajan velvoitteet. Tällöin projektinjohtopalvelun ja tilaajan välisenä sopimusehtoa tavanomaisesti käytetään KSE- 2013 sopimusehtoja, mutta työmaan johtovelvollisuudet tulisi nostaa esille YSE- 98 sopimusehdoista.

Talotekniisiin töihin tulisi soveltaa myös projektinjohtourakan periaatetta. Edellä esitellyistä malleista talotekniikan osalle voisi sopia projektinjohtorakennuttaminen, jossa konsultilla ei olisi työmaalla työnjohtovelvoitetta. Projektinjohtorakennuttaja huolehtisi ja koordinoisi hankkeen teollisen asennusvaiheen ja työmaan asennusvaiheen. Tällöin projektinjohtorakennuttaja toimisi maankäyttö- ja rakennuslainsäädännön vaatimana erityisalojen vastaavana työnjohtaja ja olisi mukana varmistamassa ja hyväksymässä sekä tilaelementtien asennuksia, kuten myös työmaalla tehtäviä asennuksia.

Taloteknisten töiden toteutus voitaisiin toteuttaa osaurakkana, jonka asiantuntijana olisi projektinjohtorakennuttajana oleva talotekniikan osaaja. Varsinainen talotekniikan työurakkasopimus suhde syntyi tilaajan ja taloteknisen urakoitsijan kanssa.

Projektinjohdolla ei välttämättä tarvitsisi olla työntekijöitä, mikäli hankintojen rajapinnat osataan selvittää osaurakoiden urakkarajoissa. Työmaapalvelut tulisi hankkia tällöin myös osaurakkana. Projektinjohtajan ansaintalogiikka voisi olla joko kokonaishintainen projektinjohtopalkkio tai aikaan ja resursseihin sidottupalkkio. Hankkeelle olisi myös hyvä sopia yhteinen tavoite ja kattohinta, joka ohjaisi hanketta kohti yhteistä tavoitetta, niin toiminnallisesti kuin taloudellisestikin. Lopputuloksena saavutetaan tilaajan tarpeet täyttävä rakennus.

#### 6.2.4 Yhteenveto urakkamuotojen soveltuvuudesta

Jos ajatellaan niitä ristiriitoja, joita syntyi jaetussa urakkamuodossa, niin projektinjohtomuotoisella urakkamuodolla ne pystyttäisiin välttämään. Tilaaja vastaisi viimekädessä suunnitteluratkaisuista sekä ajallisesta valmistumisesta, mikäli viive johtuisi käytetyn tuotteen epäkelvosta ominaisuudesta. Oikeanlaisella sopimusten hallinnalla voidaan hallita osaurakoiden oikea-aikainen valmistuminen. Tämä osaaminen on avain asemassa ja se osaaminen tulee olla projektinjohtovastuuseen nimetyllä taholla. Hankkeelle ei tällöin muodostu suunnittelun oikeellisuuden sekä käytettyjen menetelmien vastuista ylimääräistä riskivarausta, joka lisäisi rakennushankkeen kokonaishintaa. Tällöin tilaaja saisi kustannustehokkaimman toteutusorganisaation käyttöönsä.

Projektinjohtajan tulee kuitenkin huolehtia omalla toiminnallaan siitä että osurakat ovat haluttuja urakoita. Mikäli projektinjohto laiminlyö vastuitaan työmaan yleisjohdossa, tällöin on suuri riski että osaurakoiden haluttavuus laskee ja se näkyy tarjoushinnoissa. Osaltaan tilaajan tulee myös huolehtia riittävästä suunnittelusta ja tuoteosien hankinta-ajasta ennen työmaan aloitusta. Projektinjohtaja tulisi kiinnittää jo hankesuunnitteluvaiheessa valmistelemaan ja ohjaamaan hanketta.

Potentiaaliset toimituksen ongelmat tulisi käsitellä tilaajan ja toimittajan välisessä sopimuksessa. Sopimuksen ehdoksi tulisi valita soveltuvin sopimusehto jota täydennetään osapuolten näkemyksillä. Tilaelementtien oikea-aikainen toimitus ja tehtaan riittävä toimituskapasiteetti on avainasemassa hankkeen onnistumiselle.

Tärkeää on myöskin tunnistaa tilaajan ja käyttäjän välinen sopimusmenettely, sekä mahdollinen erityislainsäädäntö. Esimerkiksi kohteessa jossa tuotetaan asuntokauppalaimeista asuntorakentamista, tällöin on tunnistettava asuntokauppalaime tuomat erityispiirteet ja jalkauttaa vastuut ja velvoitteet myös tilaajan ja tilaelementtitoimittajan väliseen sopimukseen. Urakkamuodon valintaa tuleekin tarkastella rakennuttajan osaamisalueiden ja käytettävien resurssien yhtälönä. Uuteen toimintatapaan tutustuessa kannattaa osaamiskenttä pitää mahdollisimman laajana, kuitenkin vastuut ja päätäntävalta tulee olla selkeästi nimetty osapuolten sopimukseen.

Vieraillessani Saksassa Puuinfon järjestämällä opintomatalla keväällä 2017, havaitsin vierailukohteiden esittelyissä että hanketta koordinoi vahvasti kohteen arkkitehti, joka hankki ympärilleen sopivimman suunnittelu ja toteutus organisaation. Arkkitehtien ymmärrys rakennetekniikasta, sekä tuotantotaloudesta kuulosti vakuuttavalta.

### 6.3 Pääsuunnittelijan rooli

Maankäyttö- ja rakennuslainsäädäntö määrittävät hankkeelle pääsuunnittelijan vastuut. Pääsuunnittelijana voi toimia riittävän pätevyyden omaava luonnollinen henkilö. Pääsuunnittelijan tehtävä voidaan yhdistää rakennussuunnittelijan, erityissuunnittelijan tai projektinjohtajan tehtäviin. Pääsuunnittelijalla ei kuitenkaan tarvitse olla hankkeessa muuta suunnittelutehtävää. Pääsuunnittelijan soveltuvuudesta päättää paikallinen rakennusvalvontaviranomainen. (Liuksiala ja Stoor 2014, 45.)

Pääsuunnittelijan pääasiallinen tehtävä on huolehtia rakennussuunnitelman ja erityissuunnitelmien yhteensopivuudesta hankkeeseen. Pääsuunnittelija vastaa siitä että suunnitelmat on yhteen sovitettu ja vertailtu siinä laajuudessa, että suunnitelmat yhdessä täyttävät rakennushankkeelle asetetut vaatimukset. Pääsuunnittelija huolehtii hankkeen suunnitelmien kokonaisuuden laadusta ja laajuudesta. Maankäyttö ja rakennuslaki ei kuitenkaan määritä pääsuunnittelijalle vastuuta muiden suunnittelijoiden suunnitelmien sisällöstä. (Liuksiala ja Stoor 2014, 56.)

Puurakentamisen erityispiirteisiin kuuluu merkittävän tuoteosakaupan tuoma haaste, johon myös pääsuunnittelijan on osattava perehtyä riittävällä tarkkuudella. Riippuen tuoteosatoimitukseen liittyvästä suunnitteluvastuusta, voi suunnitteluorganisaatio olla hyvin hajanainen. Tällöin pääsuunnittelijan huolehtimisvelvoite voi muodostua vaikeaksi toteuttaa. Tilaajan tulisi hankesuunnitteluvaiheessa määrittää tuoteosakaupan sisältö perusteellisesti, jolloin pääsuunnittelija voisi osallistua tuoteosakaupan valmisteluun ohjaamaan kokonaisuuden näkökulmasta.

### 6.4 Rakennussuunnittelijan rooli

Kohteen rakennussuunnittelijana, eli kansankielellä arkkitehtisuunnittelijan on syytä huomioida puurakentamisen erityispiirteiden asettamat haasteet. Hankesuunnittelun alkuvaiheessa tulisi sitoa tuoteosatoimittaja hankkeeseen, tällöin välttyttäisiin ylimääräiseltä muutoksella suunnittelulta. Vaikka tuoteosatoimittajat noudattavatkin RunkoPes järjestelmää, ei RunkoPes määritä tiloille erityisiä tilaratkaisuja. Mikäli rakennussuunnittelua viedään tilojen osalta pitkälle, jonka jälkeen tehdään tuoteosakauppa, voi tämä menettely maksaa vähintään uusien rakennussuunnitelmien kustannuksen.

Mika Ukkonen, Vuorelma Arkkitehdit Oy:ltä toteaa Tetran (2014) julkaisussa Palaako puu kerrostaloihin, tietopaketti kerrostalorakentamisessa, että puukerrostalon arkkitehtisuunnittelu on tiivistä yhteistyötä hankkeen osapuolien kanssa. Puukerrostalon suunnittelu vaatii arkkitehdiltä puun ominaisuuksien, materiaalien reunaehtojen ja valitun järjestelmän mukaisten mitoitusomaksumisen. Arkkitehtisuunnitteluun vaikuttaa olennaisesti valitun rakennejärjestelmän mukainen mitoitus. Rakennesuosien paksuus vaikuttaa olennaisena muutoksena, kun verrataan betonirakentamista ja puurakentamista. Esimerkiksi väliseinien osalta puurakenteinen huoneistojen välinen väliseinä on 255- 330 mm, kun betonirakenteisena seinät ovat noin 200 mm. Rakennuksen lukuisat liittymät vaativat myös erityistä huolellisuutta painumien, äänitiiveyden ja ilmatiiveyden saavuttamiseksi. (Ijäs, Sipilä, Vanhanen 2014, 10 - 11.)

Joensuun Pihapetäjän työmaalla tutustuessa kysyin merkittävintä tuotannon ongelmaa rakennusai- kana. Kohteen vastaavamestari totesi että se on talotekniikan varausten riittävät koot ja oikeat sijain- nit tilaelementeissä. Talotekniikan varauksissa on huomioitava myös palo-osastoinnin asettamat vaa- timukset ja työn käytännön toteutettavuus. Näitä liitoksia tuleekin tarkastella erityisellä huolella suun- nittelupöydän äärellä. Kokonaisuuden tarkastelu tuleekin tehdä kohteen pääsuunnittelijan johdolla, mutta myös rakennussuunnittelija on merkittävässä osassa tarkastelua tehtäessä.

## 6.5 Rakennesuunnittelijan rooli

Maankäyttö- ja rakennuslainsäädäntö määräävät että rakennushankkeeseen ryhtyvän on hankittava hankkeeseen kohteen vaatimuksien mukainen vastaava rakennesuunnittelija, jonka tehtävänä on var- mistaa kaikkien rakenneosien yhteistoiminta turvallisuuden ja terveellisyyden, sekä hankkeen muiden vaatimusten mukaisesti. (Ijäs, Sipilä, Vanhanen 2014, 12.)

Puurakenteisen kerrostalon rakennesuunnittelu vaatii suunnittelijalta puumateriaalien ja puumateri- aalien valmistusmenetelmien tuntemusta, sekä RunkoPES tuntemusta. Tämä tuntemus mahdollistaa puurakenteiden ominaisuuksien hyödyntämisen. Puurakennukset koostuvat lukuisista mekaanisista lii- toksista, joiden kokonaistarkastelun tuloksena syntyneet ratkaisut voidaan toteuttaa hallitusti teh- taissa, sekä valmisosien asennusvaiheessa työmaalla. Puurakenteisen kerrostalon valittu tuote- osakauppa aiheuttaa kohteen päärakennesuunnittelijalle erityistä huolellisuutta yhteensovittamisvel- voitteen täyttämiseksi. (Ijäs, Sipilä, Vanhanen 2014, 12.)

Joensuun Pihapetäjän työmaalla tekemissäni projektipäällikkö Petteri Elosen haastatteluissa ilmeni ra- kennesuunnittelun erityispiirteiden vaikutukset suunnittelutyöhön. Merkittävimpinä asioina Petteri Elo- nen nosti lukuisat mekaaniset liitokset joissa on huomioitava äänitekniikka, rakenteellinen palosuo- jaus, ilmatiiveys sekä rakenteen toimivuus. Betonirakenteisen talon suunnittelussa on huomattavasti vähemmän muuttujia joita tulee tarkastella. Betonirakenteisia taloja on myös suunniteltu niin paljon että niiden suunnittelurutiini tuo merkittävää etua suhteessa määrällisesti vähän suunniteltuihin puu- kerrostaloihin.

Puurakenteiden suunnittelun mittatarkkuus on merkittävästi tarkempaa kuin betonirakenteisen ker- rostalon. Yleisesti puhutaan mittatarkkuudesta  $\pm 3$  mm, mikä on huomioitava jokaisen liitoksen suun- nittelussa. Erityisesti korkeus suuntaisissa mitoituksissa on kiinnitettävä huomiota mittatarkkuuteen, sillä puurakenteista kerrostaloa ei voida "passata" korotus ja pohjavaluilla. (Ijäs, Sipilä, Vanhanen 2014, 12.)

## 6.6 Suunnitteluvalmius

Teollisesti tuotettu puukerrostalo vaatii ”täydellisen” suunnitteluvalmiuden liitossuunnittelua myöden ennen kuin hankkeen varsinainen tuotanto pääsee käynnistymään. Tavanomaisessa betonirakentamisessa suunnittelun täydentäminen työmaan edetessä on totuttu ja tyypillinen toimintamalli. Tällöin ei ole nähty tarpeelliseksi suunnitella hanketta ”yli” valmiiksi ennen tuotannon käynnistymistä ja usein joitain detajiliitoksia ehditään tarkastella ja täydentää tuotannon edetessä.

Elementtirakenteisessa puukerrostalossa tulee tämä ajatusmalli unohtaa. Suunnittelussa täytyy tarkastella rakennettavuuden kautta jokainen liitos läpi ennen varsinaisen tuotannon aloitusta. Voisi kuvitella että suunnittelussa rakennetaan kertaalleen läpi kyseinen rakennus tietomallin kautta, jolla varmistetaan suunniteltujen liitosten yhteensopivuus rakennuksessa.

Tällaiseen autoteollisuuden suunnittelumalliin meneminen vaatii suunnittelulle tarkemman lähtötiedot ja reunaehdot, sekä riittävän suunnitteluajan. Pääsuunnittelijan osaaminen korostuu hankkeen luonnosvaiheessa. Tällöin tulisi suunnittelua tehdä valitun tilaelementtitoimittajan asettamilla reunaehdoilla. Luonnosvaiheessa tulisi olla tiedossa myös talotekniset periaatteet, sekä rakennemalli. Porrashuoneen käyttö taloteknisiin kytkentöihin on merkittävässä roolissa. Porrashuoneen talotekniset varaukset ovat ilmenneet ongelmaksi Joensuun Pihapetäjän työmaalla. Talotekniikan yhteensovittaminen tietomallien ristiin vertailulla olisi voinut vähentää varauskolojen suurentamisia työmaalla. Myös taloteknisille varauksille tulisi määrittää riittävän vapaat asennusaukot suunnittelussa. (Elonen 2017-04-06.)

Euroopassa puukerrostaloja on suunniteltu jo parikymmentävuotta. Euroopassa on kehitetty suunnittelumenetelmiä kokeellisin testein, sekä analyttisin laskelmin. Eniten käytetty suunnittelumenetelmä on mekaanisten palkkien teoria, joka löytyy Eurokoodi 5 Puurakenteiden suunnittelun liitteestä. CLT -levyjien valmistajat ovat myös luoneet taulukkomitoitusmenetelmiä, sekä laskentaohjelmia helpottamaan suunnittelutyötä. (Sirkka ja Pirinen 2017, 19.)

Urakkamuotoja käsitellessä havaittiin kuinka toteutusorganisaatio tulisi kiinnittää hankkeeseen hyvin aikaisessa vaiheessa. Tällöin suunnittelua voidaan ohjata vastaamaan valittavaa kerrostalokonseptia. Myös urakkarajojen ja vastuiden selvitys voidaan aloittaa tällöin jo suunnitteluvaiheessa.

## 6.7 Tietomallinnuksen hyödyntäminen puurakentamisessa

Tietomallin hyödyntäminen puurakentamisessa voisi kattaa paremmin kokohankkeen elinkaaren aikaisen simuloinnin, kuin tavanomaisessa betonirakentamisessa. Tämän puolesta puhuu se että puurakentamisen suunnittelussa ei ole vielä syntynyt kovinkaan vahvoja suunnittelumenetelmiä joiden muuttaminen yhdenmukaisiksi menetelmiksi voisi olla haastavaa. Tietomallinnuksen hyödynnettävyyden puolesta puhuu myöskin kuvassa 40 CLT -elementin vaatimien työstötietojen siirto tietomallista työstökoneille (Sirkka ja Pirinen 2017, 24).





KUVA 40. CLT -elementtien työstöprosessi ja tietomallinnuksen liittyminen prosessiin (Sirkka ja Pirinen 2017, 24) (Yliniemi 2015.)

Tietomallinnus tulisi yhteen sovittaa eri suunnittelijoiden kesken, siten että hankkeen lopussa tilaajalle voidaan luovuttaa tietomalli joka sisältää hankkeen rakentamisen aikaisen tiedon. Tilaajalla olisi mahdollisuus hyödyntää tällaista tiedostoa hankkeen ylläpitoajaksolla. Hyvä dokumentointi ylläpitoajaksolla myös vahvistaisi rakennuksen jälleenmyyntiarvoa kuten autojen huoltokirjat. Hankkeen alussa tulisi määrittää tietomallinnusohje, joka yhteen sovitetaan hankkeen osapuolten varmistuttua. Opinnäytetyön tekemisen aikana muodostuneen näkemyksen mukaan tietomallin tulisi helpottaa seuraavia hankkeen vaiheita:

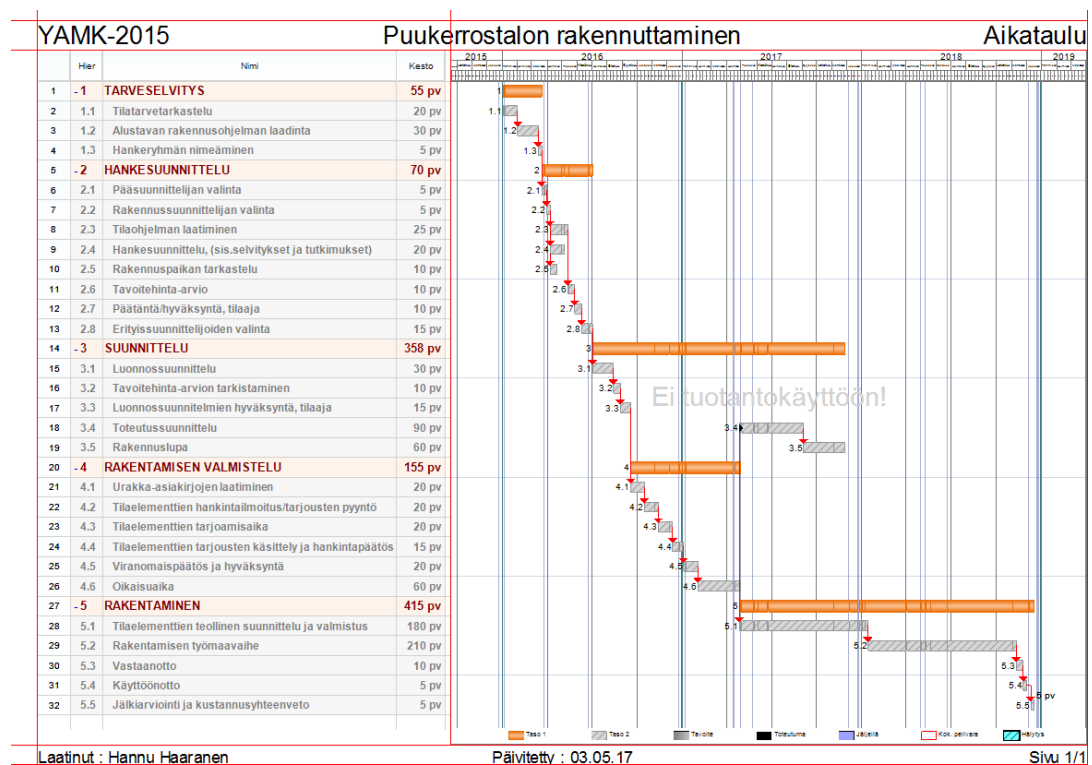
- Nopeuttaa ja helpottaa luonnossuunnittelua toimittaja valmiilla tilaelementti blokeilla.
- Nopeuttaa ja helpottaa määrälaskentaa.
- Nopeuttaa hankkeen kustannuslaskentaa muutosten aiheuttamia kustannusmuutoksia.
- Mahdollistaa rakennuksen energiasimulointi suunnitteluajana ja elinkaaren aikana.
- Mahdollistaa paloteknisen simuloinnin suunnitteluajana ja elinkaaren muutosten aikana.
- Yhdenmukaistaa ja helpottaa eri suunnittelualojen ristiin vertailua.
- Mahdollistaa rakenteiden toiminnan simulointia.
- Mahdollistaa RunkoPES liitosten tarkastelua.
- Mahdollistaa rakennus ja rakennesuunnittelutiedon hyödyntämisen elementtiteollisuudessa.
- Mahdollistaa rakennuksen elinkaaren aikaiset huolto ja ylläpitotoimien selvitykset ja dokumentoinnit.

Kun tietomallinnuksen taso saadaan ohjeistettua vastaamaan edellä mainittua tarvetta, tällöin voidaan puhua hankkeen varsinaisesta tietomallista. Tällöin tietomalli käsittäisi hankkeen kokonaisuuden hankesuunnittelusta rakennuksen ylläpitoon. Merkittävässä roolissa tietomallintamisen tason määrittä-

sessä on tilaaja. Tilaajan tulisi osaltaan osata määrittää tietomallivaatimukset tapauskohtaisesti. Yleiset tietomallivaatimukset 2012 voivat toimia hyvänä pohjana, mutta ne tulisi sovittaa aina tapauskohtaisesti tarpeisiin.

## 6.8 Rakennuttamisen aikataulu

Rakennuttamisen ja rakentamisen tuotannonjaksotusta on käsitelty aikataulumuodossa kuviossa 17. Aikataulussa on esitetty viitteellinen näkemys tehtävistä ja niille varattavista ajoista, jotka perustuvat tämän opinnäytetyöprosessin aikana syntyneeseen näkemykseen. Tavanomaiseen betonirakenteiseen kerrostaloon verrattuna muutoksia tehtävien ajoituksessa tulee hankesuunnittelu, suunnittelu, rakentamisvalmistelu ja rakentamisen vaiheessa. Näin ollen vain tarveselvitysvaihe olisi tavanomaisen rakentamisen mukaista menettelyä. Toisin sanoen tästä voitaneen päätellä että jo tarveselvitysvaiheessa tulisi tehdä päätös hankkeen toteutuksesta, puusta vai betonista.



Kuvio 17. Puukerrostalon rakennuttamisen aikataulu (Hannu Haaranen 2017.)

Tarveselvityksen jälkeen hankkeelle tulisi kiinnittää pääsuunnittelija. Pääsuunnittelijan johdolla rakennussuunnittelija suunnittelee tontin tilankäytön tilaohjelman perusteella, jolloin saadaan käsitys tontille mahtuvista asunnoista, sekä muotoa rajoittavista seikoista.

Ennen luonnossuunnittelun alkamista hankkeelle tulisi kiinnittää erityissuunnittelijat, LVV, IV, RAK-suunnittelut, sekä nimetä hankkeelle vastaava rakennesuunnittelija. Tällä menettelyllä varmistettaisiin erityissuunnittelijoiden tietämyksen kautta mahdolliset luonnossuunnittelua ohjaavat reunaehdot ja tarpeet. Luonnossuunnitteluvaiheen jälkeen alkaa rakentamisen valmisteluvaihe, jolloin rakennuttajan

on laadittava urakka-asiakirjat. Urakka-asiakirjoissa on selvitettävä urakkamuodot, urakkarajat, maksuperusteet ja muut hankkeen vastuut ja velvoitteet eri osapuolille. Urakka-asiakirjoissa tulee hyödyntää hankkeen pääsuunnittelijan ja erityissuunnittelijoiden osaamista. Urakka-asiakirjat tulee laatia tilaelementtitoimitukseen ja rakentamisen työmaavaiheeseen. Urakka-asiakirjojen valmistuttua voidaan alustavien suunnitelmien pohjalta aloittaa tuoteosatoimittajan hankinta. Kun luonnossuunnittelu tarkentuu toteutussuunnitteluksi, on tässä vaiheessa tilaelementtien toimittaja kiinnitetty hankkeeseen. Tässä vaiheessa hankkeen pääsuunnittelijan ja rakennesuunnittelijan rooli ja osaaminen korostuu. Suunnittelijoiden tulee varmistaa hankkeen laadullinen oikeellisuus ja sovittaa erityissuunnittelijoiden ja tilaelementtitoimittajan reunaehdot hankekokonaisuuteen, sekä varmistaa lopputuotteen laatusoitus ja rakenteellinen toimivuus.

Rakentamisvaihe voidaan pilkkoa ainakin kahteen eri vaiheeseen, tilaelementtien teolliseen suunnitteluun ja valmistukseen sekä rakentamisen työmaavaiheeseen. Tilaelementtien teollisen suunnittelun aikataulu on riippuvainen suunnittelun valmiudesta, teollisuuden tilauskannasta, tilaelementtitoimittajan toimituskapasiteetista sekä valmisosien vaaditusta valmiusasteesta. Esimerkiksi Metsä Wood konseptissa suunnittelu ja hankintajaksoon oli varattu 6 kuukauden aika.

Rakentamisen työmaavaiheessa on syytä huomata että tyypillisestä paikalla rakentamisesta yli puolet töiden ja hankintojen yhteensovittamista siirtyy teolliseen tuotantoon. Näin ollen perinteinen työmaalla tehtävä rakentaminen vähenee, sekä tuotannon häiriöherkkyys oletettavasti pienenee, mikäli teollisessa rakentamisessa rakennusvaiheiden hallinta osataan. Kärjistetyksi työmaaloissa tapahtuu enää komponenttien paikalleen asennus, kytkentä ja toimintakunnon varmistaminen. Talotekniikkatöiden osalta tulee tarkastella myös samoja erityispiirteitä. Tämä kokonaisuudessaan lyhentää rakentamisen työmaavaihetta noin puoleen verrattuna tavanomaiseen betonirakenteiseen kerrostaloon.

## 6.9 Työmaan rakennusvaiheet

Konsepteihin pohjautuvien selvitysten perusteella, Joensuun Pihapetäjän työmaavierailuiden, sekä aiemman betonikerrostalorakentamisen kokemuksen perusteella puukerrostalon rakentaminen voidaan jakaa karkeasti seuraaviin rakennusvaiheisiin:

- maarakennusvaihe
- perustusvaihe
- ensimmäisen kerroksen/ VSS betonirakenteinen runkovaihe
- tilaelementtien asennus
  - tilamoduulit
  - porrastasot
  - portaat
- vesikattorakenteet
- talotekniset kytkennät
- porrashuoneen rakenteet
- tilaelementtien liitosten rakenteet

- varustus ja pintarakenteet
- loppusiivous
- toimintakokeet
- säätö ja mittaus
- luovutus.

Kellarikerros tai ensimmäinen maanpäällinen kerros tulee olla palamatonta materiaalia. Tämä määräys tulee palomääräyksistä, jossa ulkopuolisen tulipalon aiheuttamaa vaaraa halutaan pienentää puukerrostaloissa. Perustusten ja väestönsuojien tulee olla betonirakenteisia. Muut kerrokset voidaan toteuttaa puurakenteisena, joko suurelementeillä tai tilaelementeillä tai niiden yhdistelmillä. Ulkoseinissä voidaan käyttää palavaa materiaalia, mutta suunnittelussa palonleviäminen on huomioitava kerrostasojen välillä.

Asuinkerrosten tilaelementtimoduulien asennus- ja sääsuojaus on suunniteltava jokaisen työvuoron sisältöön. Asennussuunnitelma on tehtävät jo lähtökohdaksi elementtien toimitusjärjestykselle. Tästäkin on oltava etupainotteisesti liikkeellä, siten että elementtien tuotanto ehtii reagoida työmaan tarpeisiin oikealla toimitusjärjestyksellä sekä hyväksyä asennussuunnitelman. Talotekniset työt tulee rytmittää rinnan tilaelementtien asennuksen kanssa. Erityistä huomiota työsuunnittelussa on kiinnitettävä laatuun ja työturvallisuuteen tilaelementtien asennusvaiheessa. Kaikkien piiloon jäävien liitosten toteuttaminen tulee tehdä erityistä huolellisuutta noudattaen.

Vesikattorakenteet voidaan toteuttaa joko suurelementeillä tai paikalla rakennettuna. Vesikattorakenteet olisi taloudellista rakentaa elementteinä, jotka voitaisiin nostaa heti viimeisten tilaelementtien asennusten jälkeen lopulliseksi vesikatoksi. Tämä vaatii työmaan logistiikkasuunnittelussa ja resursoinnissa erityistä huomiota. Kun vesikattoelementit on asennettu, voidaan sisätiloissa aloittaa porrashuoneiden täydentävien rakenteiden tekeminen sekä jatkaa taloteknisiä kytkentöjä. Taloteknisten kytkentöjen jälkeen linjat on koeponnistettava ennen rakenteisiin sulkemista. Koeponnistuksen jälkeen voidaan aloittaa linjojen eristäminen ja rakenteiden osastointi, sekä talotekniikkahormien ummistaminen.

Viimeisenä vaiheena tehdään pintarakennetyöt niihin rakennusosiin joita työstetään työmaalla. Tyypillisesti näitä rakennusosia on porrashuoneiden osalla, joissa tyypillisesti tehtävinä ovat talotekniset kytkennät ja kalustukset, hormit, alakatot, porrashuoneen seinän pintarakenteet, portaiden pintarakenteet, lattian pintarakenteet, porrashuoneen kaiteet, varusteet ja opasteet. Kun pintarakenteet ovat valmiit ja tilat on siivottu puhtaiksi, tällöin voidaan järjestää talotekniikalle koekäyttö ja urakoitsijan omat tarkastukset sekä mittaukset. Kun talotekniikka on todettu toimivaksi, voidaan aloittaa talotekniikan mittaus ja säätö joista laaditaan dokumentit luovutukseen. Tämän jälkeen rakennus on valmis luovutustoimenpiteisiin. Luovutustoimenpiteisiin kuuluu tyypillisesti viranomaistarkastukset, käyttäjän tarkastukset, suunnittelijoiden tarkastukset ja vastaanotto kokoukset. Luovutustoimenpiteet voivat vaihdella kohteesta, tilaajasta ja rakennusvalvontaviranomaisesta johtuen.

## 6.10 Työmaan asennusaika

Puukerrostalon tilaelementtien asennuksen aikaisia toimenpiteitä ovat seuraavat. Mittaus, elementtien vastaanotto, väliaikainen varastointi, suojien avaaminen, paikalleen asennus ja suojaus. Ratu- 0425 mukaan yhdessä työvuorossa voidaan asentaa keskimäärin 11 elementtiä, työryhmän ollessa 1 nokkamies, 3 asentajaa ja ajoneuvonosturi kuljettajan kanssa (Puuelementtirakentaminen, tilaelementit. Menekit- ja menetelmät. Ratu 0425, 3). Teoriassa hyvissä olosuhteissa tilaelementtikerrostalo voisi nousta jopa yhden kerroksen työvuorossa. Kuva 41 on Joensuun pihapetäjän työmaalta, jossa tilaelementtien asennusajan tavoite oli 3 työpäivää kerrosta kohden. Kerrostasolla oli kahdeksan asuntoa, jotka muodostuivat kymmenestä tilaelementistä, porraselementistä sekä porrashuoneen tasoelementeistä.



KUVA 41. Joensuun Pihapetäjän työmaa (Haaranen 2017c.)

Toteutunut aikataulu Joensuunpihapetäjässä oli keskimäärin 1 viikko/kerrostaso. Työaika koostui seuraavasti:

Työvuoro 1. 50 % kerrostason huoneistoista on asennettu.

Työvuoro 2. 100 % kerrostason huoneistoista on asennettu.

Työvuoro 3. kerrostason porrashuoneen tasoelementit ja portaat on asennettu.

Työvuorot 4 - 5. Elementtien lopulliset kiinniruvaukset on tehty.

(Elonen 2017-04-06.)

Joensuun pihapetäjän työmaa eteni käytännössä viikon kerrostasoa kohden, työryhmänä oli tällöin 1 työnjohtaja ja 7 rakennusammattimiestä. Tehtävät jakaantuivat työryhmällä seuraavasti: Kaksi työntekijää purki suojuuksia ja valmisteli elementin nostoa väliavarastosta tai ajoneuvosta. Neljä työntekijää ohjasi nostoa liinoilla jokaisesta tila-elementin nurkasta. Yksi työntekijä oli kerrostasolla vastaanottamassa ja kiinnittämässä elementtiä. (Elonen 2017-04-06.)

Joensuun Pihapetäjän kohteessa suunniteltuun, sekä RaTu- 0425 mukaiseen työsaavutukseen ei päästy, osittain tilaelementtien toimitusongelmien takia. Ehkä työhön harjaantuminen parantaa resurssien tehokasta käyttöä, niin teollisuudessa kuin työmaallakin.

Edellisten selvitysten perusteella tilaelementtirakenteisessa neljäkerroksisessa talossa saadaan tilaelementit asennettua neljässä viikossa. Tilaelementtien sisustan valmius asteella on merkittävä rooli rakennuksen työmaan aikatauluun. Tilaelementtien valmiusaste tulee tarkastella huonetiloittain hankekohtaisesti. Tarkastelu tulee tehdä esimerkiksi keittiö, kylpyhuone, makuuhuone, eteinen ja sauna jaottelulla, jossa jokaisen huoneen varustetaso ja valmius tarkastellaan. Tällöin on myös huomioitava talotekniikan liittyminen järjestelmään, sekä rakenteiden palosuojaus, ääneneristävyys, sekä työmaa-aikainen kosteuden hallinta. Tilaelementtirakentamisen työmaavaihe on oleellisesti nopeampaa, kuin pilarit-, palkit- laattarunkoisen rakennuksen työmaa vaihe. Metsä-Woodin kerrostalokonseptissa työmaavaihe kestää 6 viikkoa. Tämän jälkeen tulee tehdä täydentävien, sekä pintarakenteiden työt. Tilaelementtejä käytettäessä usein sisutus on hyvin korkealla valmiusasteella, jolloin sisustusvaiheen kesto on oleellisesti lyhempi, kuin elementtirakenteisissa joissa sisävalmius ei ole viety pitkälle.

Tiia Sorsa on tehnyt vuonna 2015 rakennusmestarin opinnäytetyön Metropolia-ammattikorkeakouluun. Työssä on selvitetty puurakenteisten suurelementtien asennustehokkuutta. Elementtien asennustehokkuutta seurattiin PuuMera kohteessa Vantaan Kivistön työmaalla. Selvityksen mukaan puisten suurelementtien asennusaika T4 aikana ovat keskimäärin yli puolet nopeampaa, kuin vastaavien betonisten elementtien asennusaika. Vertailu on tehty erityyppisille elementeille, kuten ulkoseinät, väliseinät, porraselementit ja välipohjat. (Sorsa 2015, 41 - 42).

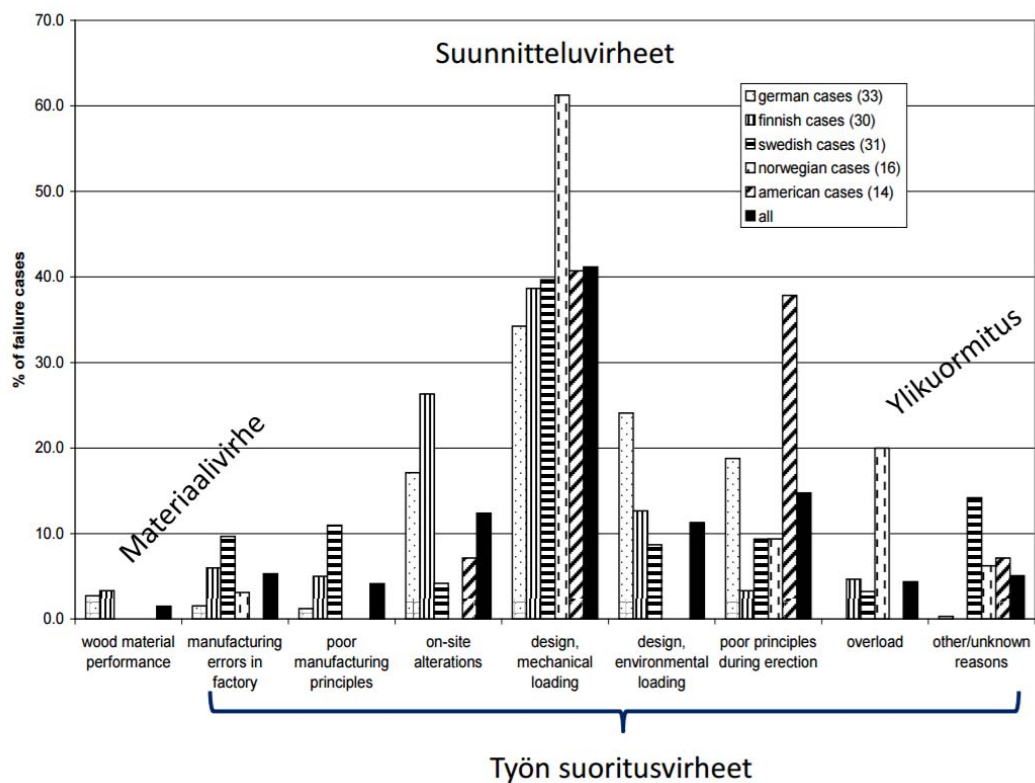
Suurelementtirakenteisen kerrostalon rakennusaikaa ei voi yleisesti määrittää, koska aikataulu riippuu monesta tekijästä. Aikatauluun vaikuttaa elementtien määrä, työmaan lohkojako, välipohjaelementtien rakenne ja monet muut tekniset yksityiskohdat. Toteutusaikaa voisi arvioida Tiia Sorsan opinnäytetyön perusteella. Jos tavanomaisen betonirakenteisen kerrostalon betonirunkotyö kestää noin 8 - 10 työvuorokautta kerrosta kohden, Tiia Sorsan selvityksen mukaan puuelementtien asennusnopeus olisi noin 50 % nopeampaa. Tällöin voitaisiin päätellä että puurakenteisen suurelementtikerrostalon runkovaihe neljäkerroksisessa kerrostalossa kestäisi neljä viikkoa. Tällä menetelmällä päästäisiin samaan aikaan kun tilaelementtirakenteisella toteutusmenetelmällä. Rakentamisen kokonaisaikataulua pidentävät suurelementtirakennuksessa sisävalmistustyöt, jotka tilaelementtirakenteisessa menetelmässä ovat valmiina.

Tilaelementtirakenteisen kerrostalon kokonaisuuden rakentamisaika voi olla 6 - 7 kuukautta, kun betonirakenteinen kerrostalon normaalikesto on 11 - 13 kuukautta. Aikataulut ovat molemmissa tapauksissa riippuvaisia kohteen erityispiirteistä, kuten perustusolosuhteista, rakennuksen muodosta ja massoittelusta sekä rakentamisen menetelmistä, kuten valmisosien valmiusasteesta.

Näiden selvitysten perusteella voidaan todeta että puurakentaminen on joka tapauksessa merkittävästi nopeampaa, kuin betonirakenteinen kerrostalon rakentaminen. Voidaan puhua suuruusluokkana 30 - 50 % nopeammasta työmaavaiheesta.

## 6.11 Laadunhallinta

Puurakentamisen laatua ja laadun varmennusta ohjataan RIL 204 - 2006 Puurakenteiden laadunvarmistus kirjan ohjeilla (Toratti, 2). Kuviosta 18 nähdään että puurakentamisen laatuvirheistä merkittävä osa on jonkinlaisia työsuoritusvirheitä. Merkittävimmin virheitä on tehty suunnittelussa, mutta virheitä on tehty myös toteutuksessa. Itse materiaalivirheet ovat vähäisiä kokonaisuutta tarkasteltaessa. (Toratti, 3,5,6.)



KUVIO 18. Puurakentamisen virheiden aiheuttajat (Toratti, 5.)

Puurakentamiselle on luotu toteutus standardi SFS 5978 jonka tehtävä on siirtää suunnitteluaiikainen tieto ja vaatimukset toteutukseen, määrittää toteutukseen keskeiset asiakirjat jossa kuvataan teknisiä vaatimuksia ja vaatimusluokkia, sekä toimia suunnittelijan tarkastusluettelona sille että suunnittelija tuottavat riittävät asiakirjat ja ohjeet toteutuksen lähtötiedoksi. (Toratti, 8.) Yhtenä osana laadunhallintaa on kosteuden hallinta, jota on käsitelty luvussa 2.6.

Puurakentamisen toteutuksen laatuluokat on jaettu kolmeen toteutusluokkaan. Toteutusluokka 1 (TL 1), toteutusluokka 2 (TL 2), toteutusluokka 3 (TL 3). (Puuinfo 2017c, 2.) Toteutusluokkien valinta tehdään rakennuksen seuraamusluokan perusteella, joka on määritetty tarkemmin standardi SFS-EN 1990: 2002 liitteessä B. Seuraamusluokkiin vaikuttaa mm. rakennuksen toteutukseen ja rakenteisiin liittyvät vaaratekijät. Seuraamusluokkia on CC 1, CC 2 ja CC 3. Tyypillisesti yli 3 kerroksinen puinen kerrostalo luokitellaan CC 2 luokkaan ja seuraamusluokan perusteella rakennukselle tulee toteutusluokka 2 (TL 2). (Toratti, 11.)

Rakentamisen toleranssi luokat on jaettu kolmeen toleranssiluokkaan rakennuksen käyttötarkoituksen mukaisesti:

Toleranssiluokka 1. Hallirakennukset, luokkaa 2 alhaisemmat laatuvaatimukset

Toleranssiluokka 2. Asuin-, liike- ja toimistorakennukset

Toleranssiluokka 3. Rakennusosat, joissa vaaditaan erityistä mittatarkkuutta ja joille asetetaan erityisen korkeat ulkonäkövaatimukset. (Puuinfo 2017c, 2.)

Kuvassa 42 on esitetty toleranssiluokitukset 3, 2 ja 1, jotka määrittävät puurakenteiden asennustoleranssien mittasijaintien suurimmat sallitut poikkeamat. Jokaiselle rakennusosalle on määritetty oma mittatarkkuustoleranssi. Kuvassa 42 nähdään esimerkkinä seinän mittatarkkuus vaatimukset.

Ulottuvuus ja sijainti	Suurin sallittu poikkeama		
	Toleranssiluokka 3	Toleranssiluokka 2	Toleranssiluokka 1
<b>Seinät</b>			
Sivusijainti perussuorasta	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Runkotolppien väli	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Ikkuna- ja oviaukon koko	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Ikkuna- ja oviaukon sijainti	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Vapaa väli (vastakkaiset seinät)	± 3 mm	± 5 mm	± 10 mm
Seinärunгон suoruu <sup>1)</sup>	± 1,5 ‰	± 1,5 ‰	± 1,5 ‰
Seinärunгон poikkeama pystysuorasta			
- korkeus enintään 3 m	± 5 mm	± 5 mm	± 5 mm
- korkeus yli 3 m	± 8 mm	± 8 mm	± 8 mm
<i>Ala- ja välipohjakannatteet</i>			

KUVA 42. Puurakenteiden asennustoleranssien suurimmat sallitut poikkeamat (Toratti, 15.)

Toteutuksessa on kuitenkin tarkasteltava kriittisesti toleranssiluokan mukaista suurinta sallittua poikkeamaa. Kyseessä on elementin asennustoleranssi ja elementin pinnan valmiusaste voi olla hyvinkin suuri. Toleranssiluokan mahdollistama mittatarkkuuspoikkeama ja Sisä- RYL:n mukaisen valmiin rakenteen pinnan välinen ero tulee oikaista niin että saavutetaan riittävä laatuvaatimus lopulliselle tuotteelle. Mikäli työmaalla joudutaan tekemään jälkioikaisuja, menettää tällöin elementtiratkaisu merkittävää etuaan nopeasta ja pitkälle viedystä valmisosa rakentamisesta. Tämä jälkioikaisu muodostaa työmaalle ylimääräistä häiriötä ja merkittäviä kustannuksia.

Urakoitsijan laadunvarmennuksessa tulee huolehtia tilaelementtien laadunvarmennusketjusta, joka ulottuu teollisesta tuotannosta työmaa-asennuksiin. Laadunvarmennus voi koostua tehtaalla tehtäviin tarkastuksiin, rakennustuotteen luovutuksen yhteydessä ennen vaaran vastuunsiirtymistä oman



urakka-alueen vaikutuspiiriin tehtävistä tarkastuksista, sekä tuotteen asennuksen jälkeisistä tarkastuksista.

Tehtaan katselmuksessa tarkastetaan tulevien tilaelementtien oikeellisuus ja laatutaso ennen massa-tuotannon aloitusta. Jatkossa tuotteen laatutasoa verrataan aiemmin hyväksytyyn malliin. Mallikatselmus on siis erittäin merkittävässä roolissa, tällöin suunnitteluasiakirjoihin esitetyt laatuvaatimukset todennetaan käytännön tasolle. Tuotteen tulee täyttää tekniset ja esteettiset tavoitteet. (Puuelementtirakentaminen, tilaelementit. Menekit ja menetelmät. Ratu 0425, 17.) Mikäli tilaelementeillä ei ole CE-merkintää tai kansallista tyyppihyväksyntää tulee rakennustuotteen kelpoisuus varmentaa erityismenettelyllä. Rakennusvalvontavirasto antaa ohjeet erityismenettelystä ja asiakirjan laadinnasta (Puuelementtirakentaminen, tilaelementit. Menekit ja menetelmät. Ratu 0425, 2).

Mallikatselmus voidaan pitää myös osittaisena katselmuksena, jolloin päästää toteamaan piiloon jäävien rakenteiden tekniset vaatimukset. Vaiheittainen mallikatselmus voidaan myös ohjata dokumentoitavaksi toimittajan toimesta sopimusteknisesti. Tällaisia vaiheita hankkeessa voisi olla alakattojen yläpuoliset asennukset, vedeneristystyöt ja liitokset ja muita tyyppillisiä piiloon jääviä rakenteita.

Laadunvarmistus tulee suunnitella ennen tuoteosakauppoja. Tyyppillisesti tilaelementtien hankinnassa sopimusehtona voidaan käyttää RYHT -sopimusehtoja (Elonen 2017-04-06). Rakennustuotteiden yleiset hankinta- ja toimitusehdot määrittää tuotteen laadun tarkastamisesta seuraavaa:

### 13.2

*Kun tavara on luovutettu, ostajan on tarkastettava se silmämääräisesti. Silmämääräisesti havaittavista tavaran laatuvioloista tai kuljetusvioletumista on tehtävä huomautukset viivytyksettä rahtikirjaan tai muuten kirjallisesti.*

### 13.3

*Ennen tavaran rakennuskohteeseen käyttämistä, kiinnittämistä tai asentamista ostajan on vielä suoritettava tavaran asianmukainen tarkastus. Virheistä ja puutteista, jotka ovat havaittavissa vasta toimitettuja tavaroita kiinnitettäessä tai niiden osia toisiinsa liitettäessä, ostajan on ilmoitettava välittömästi havaittuaan virheen tai puutteen. Myyjällä on oltava mahdollisuus rakennuspaikalla tehtävään katselmukseen, josta laaditaan pöytäkirja jommankumman osapuolen niin vaatiessa.*

(Rakennustuotteiden yleiset hankinta- ja toimitusehdot RYHT 2000. RT 17 – 10721.)

Tuotteen kunto on varmistettava kuljetuksen jälkeen, mikäli vaaranvastuu siirtyy ajoneuvosta purusta eteenpäin päätoteuttajalle. Tällöin kuljetuksen aiheuttamat vauriot voidaan osoittaa joko kuljetusliikkeen vastattavaksi, tai toimittajan vastattavaksi. RYHT ei ohjaa suoraan laadunvarmistuksen menetelmiä, jolloin laadunvarmennuksesta on erikseen laadittava menettelyohjeet. Menettelyissä voidaan tukeutua YSE 98 ehtoihin niiltä osin kuin ne ovat sovellettavissa.

RYHT mukaisessa kaupassa takuu-aika on 36 kk, jolle RYHT mahdollistaa sopimaan takuuajan vakuuden. Virhevastuu tuotteesta on 10 vuotta, mutta RYHT ei tunne virhevastuun ajalle vakuutta. Sama tilanne on myös YSE 98 mukaisissa kaupoissa virhevastuun osalta. Asuntokauppalain mukaisessa asuntotuotannossa perustajaurakoitsija joutuu ottamaan 10 vuoden virhevastuille vakuuden. Tällöin virhevastuun riski jää osittain tilaajalle.

Tilaelementtien asennussuunnitelma tulee laatia ja käsitellä tilaelementtien toimittajan, sekä rakennesuunnittelijan kanssa. Erityisesti asennuksen alustan tasaisuus, elementtien ankkurointi ja elementtien nostopisteet, sekä nostovälineet tulee tarkastella yhdessä. Huonolla elementtien asennuksella voidaan tehdä merkittävää haittaa elementtien toiminnallisuudelle. (Puuinfo 2016.)

Tilaelementtien asennussuunnitelmasta vastaa tavanomaisesti päätoteuttaja. Asennussuunnitelma tulee olla osapuolten hyväksymänä työmaalla ja se tulee käsitellä asennustyöryhmän kanssa ennen asennustyön aloitusta.

*Asennussuunnitelmassa esitetään vähintään:*

- kohdetiedot työmaasta*
- elementtien määrät ja tyypit*
- tarvittavat nostoapuvälineet ja niiden käyttö*
- erityistoimenpiteet nostoissa*
- elementtien siirrot väliavarastoinnin ja asennuksen aikana*
- väliavarastoinnin järjestelyt (elementtien järjestys varastoinnissa ja toimitus- ja asennusajankohdat)*
- nostojen suunnittelu*
- asennuksen vaiheet*
- elementtien asennusjärjestys*
- asennustarkkuuden sallittu vaihteluväli (toleranssi)*
- seurantamittaukset*
- asennuksen aikainen tuenta ja vähimmäistukipinnat*
- elementtien lopulliset kiinnitykset*
- asennuksessa tarvittavat työskentelytasot sekä rakenteelliset ja henkilökohtaiset putoamissuojaukset.*

(Puaelementtirakentaminen, tilaelementit. Menekit ja menetelmät. Ratu- 0425.)

## 7 YHTEENVETO

Teknisesti puurakenteinen kerrostalo voidaan toteuttaa jo kohtalaisen sujuvasti. Saatavilla on useita eri konsepteja tilaajan erilaisiin tarpeisiin. Puukerrostalorakentaminen muuttaa perinteistä paikallarakentamiskulttuuria voimakkaasti. Suunnittelun ja hankkeen organisaation yhteistoiminnan arvo tulee nousemaan merkittävään rooliin, joten erilaisten urakamuotojen hallinta ja kehittäminen tulee olemaan kilpailuvaltti niin perinteisillä rakennusliikkeillä, kuin rakennuttajatahoillakin. Perinteiset urakointimallit ja sopimusehdot eivät toimi sellaisinaan ristiriidattomasta puurakentamisesta, vaan niitä tulee osata soveltaa tapauskohtaisesti.

### 7.1 Prosessin muutos

Tarvesuunnittelun päätöksenä tulisi syntyä näkemys rakentamistavasta, rakennetaanko puusta vai betonista. Hankesuunnitteluvaiheessa tulee hankkeeseen kiinnittää puurakentamisen osajia, joiden osaamista hyödyntäen voidaan selvittää tilaajan tarpeisiin soveltuvin konsepti. Hankintatoimet on käynnistettävä jo rakentamisen luonnosvaiheessa, jolloin tilaelementtitoimittajan hankinta aloitetaan. Kustannustietous tulisi olla toimittajan puolesta saatavilla heti hankesuunnittelun luonnoksista. Tilaelementtihankinnalla siirretään puolet paikallarakennettavan kerrostalon tehtävistä tilaelementti toimittajalle. Tässä hankintatoimen on osattava tehdä riittävät laadunvarmennustoimet ja valittava luotettava kumppani tilaelementtien toimittajaksi. Erityisesti huomiota tulee kiinnittää toimituskapasiteettiin, laadunvarmennukseen ja kustannustehokkuuteen. Tilaajan on osattava tarkastella kustannukset kokonaistaloudellisuuksena.

Rakennussuunnittelu tulee sovittaa valitun toimittajan reunaehtojen mukaisesti. Rakennesuunnittelun osaaminen on hyödynnettävä rakennussuunnitteluvaiheessa. Toiminnallinen palotekninen suunnittelu on hyödyllistä aloittaa heti luonnosten vahvistuttua. Toiminnallisella paloteknisellä suunnittelulla voidaan saavuttaa merkittävää taloudellista etua vähentyneellä rakenteellisen palonsuojauksen tarpeella. Rakennuslupavaiheessa tulee tilaelementtitoimittaja olla kiinnitettyä hankkeeseen.

Yhteistyön rakentuessa törmätään moniin ennalta tunnistamattomiin asioihin, joihin on mahdotonta ottaa kantaa urakkaohjelmissa ja suunnitteluohjelmissa etukäteen. Näiden ristiriitojen selvittäminen tulisi tehdä rakentavasti tulevaisuuden kannattavuutta ajatellen. Lähtökohtaisesti tulisi muistaa, että pyrimme toteuttamaan tilaajalle mahdollisimman toimivan rakennuksen nyt ja ehkä sen seuraavankin.

Puurakentamisen menestys vaatii hankkeen ympärille luotettavan ja yhteistyökykyisen organisaation, joka koostuu rakennuttajan, pääsuunnittelijan, päätoteuttajan, suunnitteluorganisaation, elementtien valmistajan, talotekniikan, sekä viranomaisen kokonaisuudesta. Kustannusten hallinta tulisi olla hankkeen aikana luotettavaa ja ennustettavaa. Suuri rooli kustannustehokkuudesta siirtyy tilaelementtien toimittajille. Viranomaistulkinnat olisi oltava valtakunnantasolla samaa vaatimusluokkaa. Tällä hetkellä rakentamisessa on poikkeavaa viranomaistulkintaa kaupunkien ja kuntien välillä. Tulkinta eroja voi syntyä paikallisen paloviranomaisen palomääräysten tulkinnossa, sekä rakennusoikeuden kerrosalan tulkinnossa. Rakennusoikeuden- ja palomääräysten vapaa tulkinta voi muodostaa puurakenteiselle

kerrostalohankkeelle ennalta tunnistamattoman taloudellisen riskin, joka realisoituessa voi estää puurakentamisen käytön kyseisessä kohteessa ja jopa heikentää alueellista puurakentamisen kehittymistä.

Rakennushankkeiden toteutuksissa voidaan soveltaa eri urakkamuotoja ja niiden yhdistelmiä. Esimerkiksi tavoitehintapohjaisia urakoita, jotka ohjaavat eri organisaatiot tavoittelemaan hankkeen yhteistä etua. Tällainen toimintatapa olisi mahdollista työyhteenliittymänä, jossa hankkeen kannalta avainosaajat olisivat työyhteenliittymän osakkaina, jolloin onnistumisen kautta saavutettu tulos jakautuisi avainosaajien kesken.

## 7.2 Hankkeen osapuolten vaikutus prosessin kehitykseen

Tonttipolitiikka ja kaavoitus voi osaltaan mahdollistaa puurakentamisen kannattavuuden avoimemalla kaavoituksella, jossa kuunnellaan hankkeeseen ryhtyvien näkemystä, kohtuuhintaisten vakioitujen tuotteiden asettamista rajoitteista. Kaavojen ei tule olla liian yksityiskohtaisesti ohjaavia, vaan hankkeeseen ryhtyvällä tulisi olla mahdollisuus toteuttaa hanke kannattavasti. Valtion strategioiden tulisi tukea myös ilmastoystävällistä rakentamista. Tukeminen käytännössä voisi ohjata tonttien luovutusta puurakentamiselle. Kannattava puukerrostalorakentaminen vaatii myös suurempien kokonaisuuksien toteuttamista, yksittäisten tonttien sijaan. Kunnat voivat näin vaikuttaa kaavatyöskentelyllään puurakentamisen edistämiseen.

Rakennuttajan tulee osallistua hankkeen toteutukseen merkittävästi suuremmalla panoksella, kuin tavanomaisessa betonirakenteisessa kerrostalossa. Hankintaketjut ja sopimusmuodot ovat monimuotoisempia ja valtaosa kustannuksista on muodostunut jo ennen rakennusurakoitsijan kilpailuttamista. Rakennuttamisen kustannusten nousu on todennäköistä, mutta valtaosa työnjohdollisista tehtävistä siirtyy tuoteosakaupassa tilaelementti toimitukseen, joten se vähentää rakennusurakan kustannuksia.

Suunnitteluorganisaation tulee toimia saumattomasti ja pääsuunnittelijan rooli suunnitelmien yhteensovittamisessa korostuu puurakentamisessa. Suunnitteluvalmius tulee olla 100 % ennen tilaelementtien tuotannon käynnistämistä. Suunnittelukustannusten nousu lienee väistämätöntä, mutta prosessin kehittyttyä suunnittelukustannukset voivat myös alentua.

Rakentamisen tuotanto tulee puukerrostalorakentamisessa ymmärtää kahtena erillisenä jaksona, jotka tulee sovittaa yhteen. Ensimmäinen jakso on elementtien teollinen valmistaminen ja toinen jakso on rakennuksen komponenttien yhdistäminen työmaalla. Valtaosa paikallarakennettujen talojen työvaiheiden yhteensovituksen ongelmista siirtyy teolliseen tuotantoon, jolloin teollisuuden toimijan edellytykset tulee vastata vaatimuksia. Puurakentamisen nopeatyömaavaihe parantaa urakointiliikkeen rahallista katetta hankkeen toteutusaika ja työmaaresurssit huomioiden.

Tilaelementtien toimittajan tulisi ennen hankintasopimuksia osoittaa toimituksen varmuus hankkeen osapuolille. Vastuuasiat tulisi selvittää ja huomiota tulisi kiinnittää erityisesti sopimusehtoihin, virhevastuuseen, sekä vastuille asetettaviin vakuuksiin. Mikäli tilaelementtien hankinta pystytään tekemään

1 015 – 1 025 €/hum2, tällöin puukerrostalon kustannus on kilpailukykyinen betonirakenteiseen kerrostaloon verrattuna. Tilaelementtitoimittajan kapasiteetti ja laadunhallinta on avain asemassa rakennushankkeen onnistumisen kannalta. Tilaelementtitoimittajien haasteina onkin saada ammattitaitoinen työvoima työmailta elementtihalliin. Puuinfo julkaisun mukaan tilaelementtitoimittajien haasteena on esimerkiksi talotekniikan kustannusten korkeataso joka on jopa korkeampi kuin tilaelementtien kustannus (Puuinfo 2016). Tämän vuoksi elementtitoimittajien tulee kehittää alihankintaprosessit vähintään samalle tasolle kuin rakennusliikkeillä tällä hetkellä. Tämäkin vaatii osaamisen hankkimista rakennusliikkeistä elementtitehtaisiin. Laatu- ja työturvallisuus velvoitteet tulee myös hallita, kuten ne hallitaan työmailta.

Boklokin maajohtaja Susanna Suckdorff peräänkuuluttaa myös tuotetoimittajien prosessin kehittämistä, siten että toimijat voisivat muodostaa pidempiaikaisia kumppanuuksia, jolloin toiminnan prosessia voisi kehittää. Tällä hetkellä boklok on tehnyt Espoon Gumbölen kohteeseen tilaelementtien toimitussopimukset virolaisen tilaelementtitoimittajan kanssa, koska eivät ole päässeet sopimukseen suomalaisten toimittajien kanssa. (Puuinfo 2017e.)

Rakennusterveyden näkökulmasta puurakenteisen kerrostalon toteuttaminen suojaustasovaatimusten mukaisesti parantaa asuin rakentamisen laatutasoa. Puurakenteet ovat tehdaskuivia toimituksen yhteydessä, jolloin työmaa-aikaista kuivattamista ennen pintarakenteiden asentamista ei tarvita.

Kun nämä hankkeen eri osapuolet on saatu kehittämään toimintaa yhteisen tavoitteen eteen, voisi kuvitella että puukerrostalotuotanto kehittyy väistämättä tehokkaammaksi kuin paikallarakennettu betonikerrostalo. Kehitystyö vaatii pitkiä kumppanuussuhteita joiden aluksi syntyviä haasteita voidaan kehittää. Kumppanuuden tulee perustua avoimuuteen ja win win periaatteeseen. Alalle tulisi luoda yhtenäinen kustannusrakenne, kuten betonirakentamiselle on kyetty luomaan. Tällä menetelmällä saataisiin taloudellista varmuutta hankkeille. Tarvitaan kuitenkin syy haluta ajatella toisin, kehittyä ja kykyä jakaa riskiä.

Keväällä 2017 Puuinfo järjestämällä Saksan opintomatalla pääsin tutustumaan paikallisiin puurakennuskohteisiin ja teollisiin tuottajiin. Saksassa yrityskulttuurissa on ymmärretty ehkä paremmin tuotteen jalostusarvon nousu kuin Suomessa. Suomen projektihallinta perustuu suuresti osto- ja sopimuskulttuuriin, jonka pääasiallinen tavoite vaikuttaa joskus olevan vastuun siirto sopimuksilla eteenpäin, sekä oman organisaation minimointi. Saksassa puurakentamiseen erikoistuneet yritykset jalostivat tuotteen suurelta osin itse ja toimittivat tuotteet asennettuna työmaalle. Tällä pitkällä jalostusketjulla voitaneen alentaa investoinnin kustannuksia, jolloin toteutus on tilaajalle kannattavampaa ja se ohjaa valitsemaan puurunkoisen rakennuksen. Suunnitteluun panostaminen myös vaikutti olevan avainroolissa Saksassa. Keskusteluiden perusteella suunnittelukustannukset Saksassa olivat noin 200 - 400 €/hum2. Tällöin voidaan olettaa että suunnittelutyö on tehty aukottomasti, eikä työmaan aikana tarvita tehdä suunnittelun täydentämistä siinä määrin kuin Suomessa tällä hetkellä tehdään.

### 7.3 Puurakentamisen top- 10

Työn aikana syntyneen näkemyksen mukaan puurakentamisen 10 merkittävintä asiaa, jolla puurakentaminen saadaan kilpailukykyiseksi, ovat:

- Yhtäläiset ja pysyvät viranomaistulkinnat valtakunnan tasolla
  - rakennusoikeus
  - palomääräykset.
- Ympäristöystävällisen rakentamisen suosiminen rakennustonttien jaon perusteena
  - LEED-sertifioinnin vaatimus
  - rakennuksen elinkaaren hiilijalanjälki
  - aluerakentaminen.
- Puuteollisuuden toiminnan kehittäminen
  - avoin tiedon- ja osaamisen jakaminen
  - hankekehitykset
  - rakennushankkeiden toteuttaminen, joiden lopputuloksena kehitetään puurakentamisen prosessia.
- Yleishyödyllisten rakennuttajien "asennemuutos"
  - kannattavuutta tulisi tarkastella myös ympäristöarvojen kautta
  - kannattavuuden mittaaminen kokonaistaloudellisuuden näkökulmasta.
- Rakennuttaja organisaatioiden osaamisen lisääminen
  - uusien menetelmien sisäistäminen
  - sopimusmenettelyiden soveltaminen.
- Kokonaistaloudellisuuden mittaaminen ajan- ja rahan suhteen
  - ei enää liikevaihdon % mittaamista.
- Rakennusprosessin muutoksen ymmärtäminen
  - tuotanto koostuu kahdesta jaksosta
  - urakointimuotojen kehittäminen.
- Tilaelementtitoimijoiden luotettavuus
  - pystyttävä tarjoamaan aikaisessa vaiheessa
  - pystyttävä tehostamaan tuote vastaamaan tilaajan taloudellisia reunaehtoja
  - pystyttävä toimittamaan lyhyen toimitusikkunan sisällä
  - pystyttävä vakuuttamaan laadun- ja turvallisuuden hallinta
  - pystyttävä vastaamaan luotettavasti 10 vuoden virhevastuuseen.
- Suunnitteluosaamisen kehittäminen
  - suunnittelun monistettavuus
  - suunnittelun taloudellinen kehittäminen
  - suunnittelutiedon laaja hyödyntäminen rakennuksen elinkaaren eri vaiheissa.
- Ostajien vakuuttaminen puurakentamisen luotettavuudesta
  - myynti.

## 8 POHDINTA

Tämä opinnäytetyön tekeminen oli erittäin mielenkiintoinen ja opettavainen prosessi. Teksti pohjautuu pitkälti omaan betonikerrostalon ja puurakenteisten pientalojen käytännön kokemuksen perusteella tehtyyn arviointiin. Oman näkemyksen oikeellisuudelle olen pyrkinyt hakemaan vahvistusta eri tutkimuksista, haastatteluista, sekä selvityksistä joita eri osapuolet ovat tehneet. Teoriatietoa puurakentamisesta oli saatavilla yllättävän paljon, mutta taloudellisuuteen liittyvää tutkimustietoa ei löytynyt siinä laajuudessa kuin olisin työssä tarvinnut. Kokemusten ja oppien tiedonsaaminen toteutetuista puuhankkeista oli myös kohtalaisen vaikeaa saada.

Mikäli puurakentamiseen halutaan suurta kehitysloikkaa, tulisi avoimuuden kasvaa osapuolten kokemusten jaossa. Haasteen esitän erityisesti tilaelementti toimittajiin, sekä kohteiden rakennuttajiin. Ilman volyymin kasvua puurakentamista ei saada kehitettyä ja volyymin kasvu vaatii avoimempaa kustannustietoutta ja osaamisen jakamista. Myös Saksan opintomatalla näkemäni puurakentamiseen erikoistuminen ja puun jalostaminen pitkälle, valmiiksi tuotteeksi voi avata myös liiketoiminnan mahdollisuuksia tulevaisuudessa. Tämä vaatii kuitenkin tasaista kysyntää tuotteille ja palveluille.

Työssä jäi lukuisia asioita joihin olisin halunnut selvittää tarkempaa tietoa. Merkittävimmät selvityskohteet voisi olla urakkamuotojen vertailussa, työmaatekniikan kehittämisessä, kustannuslaskenta menetelmän kehittämisestä vastaamaan paremmin puurakentamista, tietomallinnusohjeen laadinnasta ja koekäytöstä, puurakenteisen kerrostalon laadun varmennussuunnitelman luomisesta ja työmaan työturvallisuus suunnitelman tekemisessä. Edellä mainittuja asioita on käsitelty työssäni pääpiirteisellä tasolla, jonka avulla saadaan hyvä lähtötieto tarveselvitys ja hankesuunnitteluvaiheeseen. Työn kokonaisuus käsittää läpileikkauksen kerrostalohankkeesta.

## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

BETONITEOLLISUUS RY. Elementtirakentamisen historia [verkkajulkaisu]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia?term=historia>

ELEMENTTISAMPO 2016. Yrityksen kotisivut. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2017-01-10]. Saatavissa: <http://www.elementtisampo.fi/ELEMENTIT/>

ELONEN, Petteri 2017-04-06. Projektipäällikkö. [haastattelu]. Joensuu: Karjalaisen Kulttuurin Edistämissäätiö.

HAAPIO, Appu. 2013. Haastattelututkimus, T141. VTT. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/haku/Pages/results.aspx?k=T141>

HAARANEN, Hannu 2016. Tilaelementtien liitoslevyt [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Hannu Haarasen valokuva-albumi 2016.

HAARANEN, Hannu 2017a. Kerrostalon kustannuslaskelma. Saatavissa: Hannu Haarasen kokoelma opinnäytetyön lähdeaineistosta.

HAARANEN, Hannu 2017b. Myynnissä olevat kerrostalo asunnot 2017-03-23 [kooste]. Saatavissa: Hannu Haarasen kokoelma opinnäytetyön lähdeaineistosta.

HAARANEN, Hannu 2017c. Joensuun Pihapetäjän työmaa [valokuva]. Sijainti: Kuopio: Hannu Haarasen valokuva-albumi 2017.

HAARANEN, Hannu 2017d. Urakkamuotojen organisaatiokaaviot [printti]. Sijainti: Kuopio: Hannu Haarasen opinnäytetyöaineisto 2017.

HEIKKILÄ, Mari 2012-08-20. Puukerrostalorakentaminen halutaan kymmenkertaistaa. Tekniikka ja talous. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/metsa/2012-08-20/Puukerrostalorakentaminen-halutaan-kymmenkertaistaa-3310232.html>

HIETANIEMI, Jukka 2014. Johdatus toiminnalliseen paloturvallisuus suunnitteluun. [luento]. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/info/moduuli-2/43toiminnallinenpalomitoitus.pdf>

HOLOPAINEN, Reijo 2017-02. Puulla menee lujaa. Rakennustaito. RKL Palvelut Oy. Helsinki: Otavamedia OMA

IJÄS, Vesa 2013. Puukerrostalojen rakentamisen esteet ja mahdollisuudet. Keskeisten suomalaisten rakentamisen- ja kiinteistöalan sidosryhmien vertaileva asennemittaus. Tampereen teknillinen yliopisto. Väitöskirja. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <https://tutcris.tut.fi/portal/files/2652042/ijas.pdf>

IJÄS, Vesa. SIPILÄ, Niina. VANHANEN, Mika. 2014. Palaako puu kerrostaloihin [verkkajulkaisu]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: [https://www.ladec.fi/filebank/2548-Palaako\\_puukerrostaloihin-tietopaketti2014.pdf](https://www.ladec.fi/filebank/2548-Palaako_puukerrostaloihin-tietopaketti2014.pdf)

JUNTTILA, Hanna-Noora 2015. Pientalojen puurakenteisten tuulettuvien yläpohjien lämpö- ja kosteustekninen toiminta. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Diplomityö. [viitattu 2017-04-10]. Saatavissa: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/23161/junttila.pdf?sequence=1>

JÄRVINEN, Eija 2016 - 06. Puurakentamisen toimintaohjelma tulossa. Ympäristö-lehti. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistolehti/2016/Puurakentamisen\\_toimintaohjelma\\_tulossa\(41328\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Julkaisut/Ymparistolehti/2016/Puurakentamisen_toimintaohjelma_tulossa(41328))



KOIVULA, Jukka 2017-01-17. Palomääräykset muuttuvat, puu saa näkyä seinillä. Maaseudun tulevaisuus. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.maaseuduntulevaisuus.fi/mets%C3%A4/palom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset-muuttuvat-puu-saa-n%C3%A4ky%C3%A4-seinill%C3%A4-1.175573>

KOSTEUDEN HALLINTA JA HOMEVAURIOIDEN ESTÄMINEN: RIL 250 - 2011. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

KUUSELA, Viljo 2014. Matkaraportti [sähköpostiviesti]. Vastaanottaja Hannu Haaranen. [tulostettu 2016-12-01]. Saatavissa: Hannu Haarasan kokoelma opinnäytetyön lähde aineisto.

LAUKKANEN, Markku 2013. Puheenvuoroja puusta 2013 – 11 [verkkojulkaisu]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puu%20ekstra%202013.pdf>

LIUKSIALA, Aaro. STOOR, Pia. 2014. Rakennussopimukset. 7. painos. Helsinki: Rakennustieto Oy.

LÄHDE, Petri 2013. Sprikleriurakan kustannusarvio henkilösuojauskohteessa. Talotekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 2017-03-23]. Saatavissa: [https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/55967/LAHDE\\_PETRI.pdf?sequence=1](https://publications.theseus.fi/bitstream/handle/10024/55967/LAHDE_PETRI.pdf?sequence=1)

METSÄ-WOOD 2013. Kerrostalojärjestelmä. [verkkojulkaisu]. [viitattu 2016-09-16]. Saatavissa: <http://www.woodproducts.fi/fi/metsa-wood-kerrostalojarjestelma>

PASSOJA, Annu 2016-11-09. Rovaniemen Riihipellonpuistoon suunnitteilla puukerrostalo opiskelijoille. Yleisradio. [viitattu 2017-03-10]. Saatavissa: <http://yle.fi/uutiset/3-9282855>

PUUELEMENTTIRAKENTAMINEN, TILAELEMENTIT. MENEKIT JA MENETELMÄT. Ratu 0425 [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia.fi/kortistot/tuotteet/111384.html.stx>

PUUINFO 2013. RunkoPES välipohjaliittymä DV402KM [printti]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: [http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/runkopes-20/runkopes\\_2.0\\_osa\\_12\\_liittymadetaljikirjasto.pdf](http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/runkopes-20/runkopes_2.0_osa_12_liittymadetaljikirjasto.pdf)

PUUINFO 2016. Massiivipuiset CLT-elementit tulevat teollisen rakentamisen markkinaan [verkkojulkaisu]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/tiedote/massiivipuiset-clt-elementit-tulevat-teollisen-rakentamisen-markkinaan>

PUUINFO 2017a, Puurakenteiden paloturvallisuus [verkkojulkaisu]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentaminen/puurakenteiden-paloturvallisuus>

PUUINFO 2017b. Olosuhdehallinta, erityiskysymykset. [luento]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Olosuhdehallinta%2C%20erityiskysymykset.pdf>

PUUINFO 2017c. Toleranssit, liitokset, työturvallisuus. [luento]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Toleranssit%2C%20liitokset%2C%20ty%C3%B6turvallisuus.pdf>

PUUINFO 2017d. Yleisimmät rakennejärjestelmät. [verkkoinaisto]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puusta-rakentaminen/yleisimm%C3%A4t-rakennej%C3%A4rjestelm%C3%A4t>

PUUINFO 2017e. Kohtuuhintaisella asuntotuotannolla useita esteitä [verkkojulkaisu]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/tiedote/boklokin-maajohtaja-kohtuuhintaisella-asuntotuotannolla-useita-esteita%C3%A4>

PUUMERA 2016a. Työmaakuvia [verkkojulkaisu]. [viitattu 2017-01-10]. Saatavissa: <http://www.puumer.fi/albumi/tyomaakuvia>

- PUUMERA 2016b. Etusivu [verkkajulkaisu]. [viitattu 2017-01-10]. Saatavissa: <http://www.puumera.fi/etusivu>
- PUUMERA 2016c. 3 D Rakennemalli [verkkajulkaisu]. [viitattu 2017-01-10]. Saatavissa: <http://www.puumera.fi/rakennemalli>
- RAKENNUSLIIKKEEN ARVONLISÄVERO-OPAS 2010. Helsinki: Suomen rakennusmedia Oy
- RAKENNUSTUOTTEIDEN YLEISET HANKINTA- JA TOIMITUSEHDOT RYHT 2000. RT 17 – 10721 [online]. Helsinki: Rakennustieto [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: [https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia.fi/kortistot/tuotteet/RT\\_8044.html.stx](https://www-rakennustieto-fi.ezproxy.savonia.fi/kortistot/tuotteet/RT_8044.html.stx)
- SIRKKA, Antti ja PIRINEN, Valtteri. 2017. CLT Monipuolinen, nopea ja ekologinen rakennusmateriaali. Lapin-AMK. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.lapinamk.fi/fi/Tyoelamalle/Julkaisut/Lapin-AMKin-julkaisut?itemid=2296&showlocation=0b4fb1db-6629-4229-a1d4-2f7ddd8f2b1f>
- SORSA, Tiia 2015. Puukerrostalon tuotanto. Metropolia-ammattikorkeakoulu. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. Opinnäytetyö. [viitattu 2017-01-10]. Saatavissa: <http://theseus.fi/handle/10024/100450>
- SUOMEN VIRALLINEN TILASTO 2017a. Rakennus- ja asuntotuotanto [verkkajulkaisu]. ISSN=1796-3257. helmikuu 2017. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 14.5.2017]. Saatavissa: [http://www.stat.fi/til/ras/2017/02/ras\\_2017\\_02\\_2017-04-25\\_tie\\_001\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ras/2017/02/ras_2017_02_2017-04-25_tie_001_fi.html)
- SUOMEN VIRALLINEN TILASTO 2017b. Asuntojen vuokrat [verkkajulkaisu]. ISSN=1798-100X. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu 2017-03-23]. Saatavissa: <http://www.stat.fi/til/asvu/>
- STORA-ENSO 2016a. 3–8 Storey Modular Element Buildings [verkkoinaisto]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/Design%20Manual%20A4%20Modular%20element%20buildings%20%5b2016-12-27%3b%20final%3b%20version%204.0%5d%20EN.pdf>
- STORA-ENSO 2016b. Residential multi-storey buildings [verkkoinaisto]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://assets.storaenso.com/se/buildingandliving/ProductServicesDocuments/Residential%20Multi-storey%20Buildings%20-%20Design%20Manual%20%5bfinal%202016-06-20%3b%20version%201.4%5d%20EN.pdf>
- TIKKANEN, Henri 2010. Puurunkoinen asuin rakentaminen Suomessa. Oulun yliopisto. Konetekniikan osasto. Kandidaattityö. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <https://www.slideshare.net/HenriTikkanen/puurunkoinen-asuinrakentaminen-suomessa>
- TOMPURI, Vesa, KORHONEN, Anne, MÖLSÄ, Seppo. 2016-11-18. Puukerrostalo tulee betonitaloa kalliimmaksi, tappiotyöt karkottaneet rakentajia. Rakennuslehti. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.rakennuslehti.fi/2016/11/puukerrostaloa-tulee-betonitaloa-kalliimmaksi-tappioiden-pelko-karkottaa-rakentajia/>
- TORATTI, Timo. Puurakentamisen toteuttaminen standardi. [luento]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Puurakentamisen%20toteutusstandardi%20ver2%20web.pdf>
- VATANEN, Mikko, SIRKKA, Antti, PIRINEN, Valtteri, AHORANTA, Tytti. 2017. CLT- rakentamisen nykytila ja tulevaisuus Suomessa. Lapin- AMK. [verkkajulkaisu]. [viitattu 2017-05-10]. Saatavissa: <http://www.lapinamk.fi/fi/Tyoelamalle/Julkaisut/Lapin-AMKin-julkaisut?itemid=2288&showlocation=0b4fb1db-6629-4229-a1d4-2f7ddd8f2b1f>