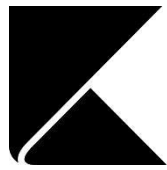


KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Rakennustekniikan koulutusohjelma

Jesse Luukkonen

TEOLLISEN PUURAKENTAMISEN EDISTÄMINEN SUOMESSA

Opinnäytetyö
Tammikuu 2017



Karelia
AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ

Tammikuu 2017

Rakennustekniikan koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
(013) 260 600

Tekijä

Jesse Luukkonen

Nimeke

Teollisen puurakentamisen edistäminen asuntotuotannossa

Tiivistelmä

Opinnäytetyössä esitellään puu materiaalina sekä sen käyttömahdollisuuksia rakentamisessa. Puurakentaminen on ollut Suomessa pitkään yleisin rakennusmuoto, mutta alkoi hiipua 1950-luvulla. Puurakentaminen on viime vuosien aikana Suomen valtion toimien sekä uusien rakennustekniikoiden takia alkanut yleistyä uudestaan.

Tarkoituksena oli pyrkiä löytämään puurakentamisen ongelmakohtia sekä tekijöitä, miksi puurakentaminen ei ole vielä yleistynyt. Ongelmakohtien tunnistamisen jälkeen tutkittiin mikä aiheuttaa ongelmia ja kuinka niitä voidaan ratkaista.

Opinnäytetyön tuloksena puun todettiin voivan olla yhdenvertainen rakennusmateriaali muiden kanssa. Puurakentaminen muuttuu nykyistä kilpailukykyisemmäksi, kunhan alalle saadaan luotua kilpailua, uudistettua lainsäädäntöä sekä luotua yhtenäisiä toimintamalleja. Suurimmat mahdollisuudet puurakentamisen lisäämisessä ovat asuntotuotannossa ja erityisesti puukerrostalorakentamisessa.

Kieli
suomi

Sivuja 69
Liitteet 1
Liitesivumäärä 1

Asiasanat

puurakentaminen, asuntotuotanto, puukerrostalo



THESIS
January 2017
Degree Programme in Civil Engineering

Karjalankatu 3
FI 80200 JOENSUU
FINLAND
(013) 260 600

Author
Jesse Luukkonen

Title
Promoting industrial wood construction in Finland

Abstract

The thesis presents wood as a material and its uses in construction. Wood construction in Finland was the most common form of building for a long time, but its popularity began to decrease in the 1950s. Wood construction has started to become more common again due to the Finnish government actions and new construction techniques.

The purpose was to try to find the problem areas of timber construction, as well as factors why construction from wood is not yet widespread. After identifying the problem areas, they were studied to find out what causes the problems and how they can be solved.

As a result of this thesis, wood can be considered equal to other building materials. Wood construction becomes more competitive after the field of competition is properly created, legislation is revised and the methods of construction and designing are unified. The greatest possibilities increasing wood usage in constructing are in the construction of blocks of flats.

Language
Finnish

Pages 69
Appendices 1
Pages of Appendices 1

Keywords
wood construction, residential construction, wooden apartments

Sisältö

Käsitteet	6
1 Johdanto	8
2 Työn tarkoitus	9
3 Tutkimusmenetelmät	9
4 Suomalaisen puurakentamisen historia ja puusto Suomessa	10
4.1 Puurakentamisen historia	10
4.2 Puusto Suomessa	12
5 Puun ominaisuudet	14
5.1 Puun biologiset ominaisuudet	14
5.2 Puun fysiologiset ominaisuudet	15
5.3 Puun kosteustekniset ominaisuudet	15
5.4 Puun lujuustekniset ominaisuudet	17
5.5 Puun lämpötekniset ominaisuudet	18
5.6 Puun palotekniset ominaisuudet	18
5.7 Puun äänitekniset ominaisuudet	19
6 Tuotanto	20
6.1 Tukkipuusta sahatavaraksi	20
6.2 Liimattujen puutuotteiden valmistus	21
6.3 Työstölinjastot ja -koneet	24
6.4 Elementtilinjastot	25
7 Puurakentaminen Suomessa	27
7.1 Erilliset pientalot	27
7.2 Asuinkerrostalot	29
7.3 Liikerakentaminen	31
8 Puurakennusjärjestelmät	33
8.1 CLT-rakentaminen	34
8.2 Elementtirakentaminen	36
8.3 Hirsirakentaminen	39
8.4 Paikallaan rakentaminen	40
8.5 Timber frame -rakentaminen	42
9 Puurakentamisen suunnittelu	44
9.1 RunkoPES	44
9.2 HalliPES	45
9.3 Liimapuukäsikirja	45
9.4 Eurokoodi 5 lyhennetty ohje	46
9.5 Rakentamismääräyskokoelma E1	47
9.6 Suunnitteluohjelmat	48
9.6.1 AutoCAD	48
9.6.2 CADS	49
9.6.3 hsbCAD	50
10 Puurakentamista edistäviä tekijöitä	51
10.1 Puurakentamisen edistämishankkeet	52
10.2 Suomeen sopiva puurakentaminen	53

10.3	Puusuunnittelun kehittäminen	54
10.4	Kustannussäästöjen luominen	55
10.5	Hukkamateriaalien hyödyntäminen.....	56
10.6	Puurakentamisen vienti	58
11	Johtopäätökset.....	59
12	Pohdinta	62
12.1	Tulosten tarkastelu suhteessa tavoitteisiin	62
12.2	Tutkimusetiikka.....	62
12.3	Oppimisprosessi	63
12.4	Käytettävyys ja kehitysehdotukset	63

Liitteet

Liite 1 Tilastokeskuksen sähköpostin liitetiedosto

Käsitteet

Adsorptio	Prosessi, jossa ohut neste- tai kaasukalvo muodostuu kiinteän aineen pintaan.
Anisotrooppinen	Anisotrooppisesta materiaalista puhutaan silloin, kun sen ominaisuudet ovat eri suunnista tarkasteltuna erilaiset.
Desorptio	Prosessi, jossa aineen pintaan kiinnittyneet molekyylit irtoavat tai aineen pintaan nousevat molekyylit, atomit tai ionit vapautuvat.
Elementti	Tehdasvalmisteinen valmisosa, jota käytetään rakentamisessa.
Eurokoodit	The EN Eurocodes, kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja, joiden soveltaminen eri maissa vaatii kansallisten liitteiden laatimista.
Hiiltymisnopeus	Hiiltymisnopeus kertoo, kuinka nopeasti palavassa puussa tapahtuu hiiltymistä.
Hygroσκοoppisuus	aineen kykyä sitoa itseensä ilman vesihöyryä ja luovuttaa tätä sitoutunutta kosteutta takaisin ilmaan, kun ilman suhteellinen kosteus muuttuu.
Insinööripuutuote	Puutuote, jonka jalostusaste on korkea. Insinööripuutuotteita ovat mm. erilaiset liimaamalla valmistetut puutuotteet, kuten viilupuu tai CLT-monikerroslevy sekä erilaiset kattoristikot, kuten esim. NR-ristikot.

Kyllästymispiste	Puun kosteussuhde siinä tapauksessa, kun soluseinämät on kyllästetty vedellä, mutta vapaata vettä ei esiinny soluonte- loissa.
Lamasalvos	Hirsitalojen rakennustekniikka, jossa rakenne tehdään pääl- lekkäin asetetuista hirsistä ja joiden nurkassa risteävät päät lovetaan.
Lyly	Puu, jonka solurakenne on kierteinen. Esimerkiksi vinoon joutuessaan puu alkaa kasvattaa sen toiselle puolelle tukiso- lukkua ja tätä kutsutaan lylyksi.
Multapenkki	Vanhin talon varsinainen perustusmuoto, jossa talon ulkoke- hänä on alimmaisena kiviä, mutta niitä ei ole perustettu sy- vään kuoppaan.
Pintapuu	Elävää puuainesta, jossa vesi ja ravinteet siirtyvät juurista latvukseen.
Vesisaha	Sahalaitos, jonka voimalähteenä käytetään vesipyörää tai - turbiinia.

1 Johdanto

Puu on uusiutuva luonnonvara, jolla voidaan korvata uusiutumattomien materiaalien käyttöä rakentamisessa, mikä vähentää rakentamisen aiheuttamaa rasiitusta ympäristölle. Puu sitoo itseensä hiilidioksidia, joka auttaa hidastamaan ilmastonmuutosta. Rakentaminen kaipaa ympäristöystävällisempiä ratkaisuja tulevaisuuden väestön lisääntymisen, kaupunkilaistumisen sekä pakolaisvirtojen takia. [1]

Puun käyttö suomalaisessa rakentamisessa on viimeisen vuosikymmenen aikana lisääntynyt merkittävästi. Asukaslukuun suhteutettuna Suomessa käytetään puuta rakentamisessa enemmän kuin muualla. Tulevaisuudessa suomalainen asuminen ohjautuu yhä enemmän kaupunkiin, mikä vähentää omakotitaloasumisen määrää. Puun käyttö on ollut yleisintä juuri omakotitalorakentamisessa ja sen käyttö uhkaa vähentyä, jos puuta ei saada tuotua mukaan kaupunkiasumiseen. Kaupungeissa yleisin asumismuoto on kerrostalo, joten puun käyttöä tulee lisätä juuri kerrostalorakentamisessa. [1; 2, 3]

Tämä opinnäytetyö antaa lukijalleen hyvän yleiskuvan puusta rakennusmateriaalina sekä erilaisista puurakentamisen mahdollisuuksista. Opinnäytetyössä käsitellään puurakentamista teknisestä näkökulmasta. Siihen vaikuttavat muut tekijät, kuten vertailu muihin rakennusmateriaaleihin, on jätetty pois työn rajaamiseksi.

2 Työn tarkoitus

Opinnäytetyössä esitellään puun ominaisuuksia, tuotantoon liittyviä tekijöitä, erilaisia käyttökohteita sekä rakennusjärjestelmiä. Lukijalle pyritään antamaan yleiskuva puurakentamisesta, jotta hän ymmärtää minkälainen rakennusmateriaali puu on ja mitkä sen mahdollisuudet rakentamisessa ovat. Lisäksi työssä esitellään erilaisia puurakentamista edistäviä tekijöitä.

Opinnäytetyön tarkoitus on tunnistaa nykyaikaisen teollisen puurakentamisen tekniset ongelmakohdat ja haasteet. Opinnäytetyön johtopäätöksinä esitetään puurakentamisen osa-alueet sekä tarvittavat toimet, joihin panostamalla puurakentamisen osuutta rakentamisessa, erityisesti asuntotuotannossa, saataisiin tehokkaimmin lisättyä.

3 Tutkimusmenetelmät

Tässä opinnäytetyössä on perehdytty puurakentamisen edellytyksiin ja mahdollisuuksiin ensisijaisesti olemassa olevaan materiaaliin perehtymällä. Materiaaliin on pyritty perehtymään mahdollisimman monipuolisesta ja ennakkoluulottomasti. Materiaalina on käytetty yliopistojen tutkimuksia, alan julkaisuja, kirjoittajan oman suvun perimätietoa sekä asiantuntijahaastattelua.

Tiedot on kasattu pääosin internetlähteistä. Teollinen puurakentaminen on ottanut lyhyessä ajassa niin suuria harppauksia eteenpäin, etteivät tutkimukset ole vielä ehtineet painettuun muotoon. Opinnäytetyötä varten on käyty läpi useista eri lähteistä paljon materiaalia ja asiat on pyritty tiivistämään mahdollisimman hyvin ilman, että olennaisia asioita jätetään pois.

4 Suomalaisen puurakentamisen historia ja puusto Suomessa

Puu oli Suomessa vuosisatojen ajan pääasiallinen rakennusmateriaali 1900-luvun alkuun asti ja rakentaminen on seurannut ulkomaiden tyyli-suuntia. Rakentamisen uudet tyyli-suunnat ovat tulleet aina ensimmäiseksi julkiseen rakentamiseen ja varakkaiden kaupunkilaisten asuntoihin, josta ne ovat sitten vuosien viiveellä siirtyneet maaseudulle. Nykyisin puurakentaminen on kasvattamassa uudelleen osuuksiaan rakentamisessa. [3, 20].

Suomessa on suuret metsävarat, eivätkä ne lopu rakentamalla, koska vuosittain kasvaa paljon enemmän puuta kuin mitä sitä kaadetaan. Suurin osa Suomen metsistä on havupuuta ja metsänhoidon taso Suomessa on hyvä. Suomen valtio inventoi puuvarojaan neljännesvuosittain ja julkaisee tiedot kaikkien käyttöön. Tässä luvussa käsitellään Suomen puurakentamisen historiaa ja Suomen puustoa. [4]

4.1 Puurakentamisen historia

Suomen vanhimmat hirsilöydökset sijoittuvat vuosille 400–900 eaa., mutta rakennuksia tuolta ajalta ei ole säilynyt näihin päiviin. Ensimmäiset asumukset Suomessa olivat havuilla katettuja laavuja ja pistekotia, jotka toimivat tilapäisinä majoitustiloina. Ensimmäiset asuinrakennukset ovat myöhäiskivikautisia ns. paalu- tai pitkätaloja. Rakennukset pystytettiin asettamalla maahan pystyyn pylväitä, jotka yhdistettiin toisiinsa ohuemmillä puunrungoilla. Rakennus katettiin käyttämällä kaisloja tai olkia. Suomen vanhin puurakennus on Kihniön Tarsian aitta vuodelta 1441. [5; 6; 7].

Hirsirakentaminen alkoi yleistyä Suomessa rautakaudella viljelyn myötä, koska syntyi tarve pysyville asumuksille, joissa pystyi asumaan ympäri vuoden. Vähitellen maata vasten alettiin salvoa muutama hirsikerta matalaksi kehikoksi, perustukseksi. 1000-luvun asuinrakennuksessa oli multapenkki, maalattia, savella tiivistetyt hirsiseinät, pienet luukut ikkunoina, yksi ovi ja turve- tai tuohikatto. Siihen aikaan alkoi esiintyä myös ensimmäisiä varattuja hirsiseiniä. [8; 9]

1500-luvun tienoilla rakennukset rakennettiin hirsistä ja ensimmäiset savupiiput sekä lasi-ikkunat saapuivat Suomeen. Uuden uunitekniikan myötä savunpoisto tehostui, jolloin kamareista saatettiin rakentaa matalampia. Lasi-ikkunat toivat rakennuksien sisälle lisää valoa, kun seiniin oli mahdollista tehdä isompia aukkoja, joista valo pääsi sisälle. 1600-luvulla rakennuksissa salit ja lautakatot alkoivat yleistyä ensin sotilaiden virka-asunnoissa sekä pappiloissa. Maalla pihapiiriin kuului asuinrakennuksen lisäksi talousrakennukset ja sauna. [8; 9]

Sahateollisuuden kehitys alkoi 1700-luvulla. Lamasalvottu hirsirakentaminen säilyi pääasiallisena rakentamisen muotona, mutta huonekokoja alkoi kasvattaa kuitenkin opittu hirsien jatkamistekniikka. Kehitys oli alkuun hidasta lainsäädännön takia. Pohjan sodan ja ison vihan jälkeisellä jälleenrakennuskaudella verhoiltiin suomalaisia taloja pystylaudoituksella. Sahateollisuuden kehittyminen mahdollisti myös julkisivujen vuoraamisen maaseudulla. 1800-luvun alusta kaikki julkiset rakennukset ja kaupunkirakennukset vuorattiin puulaudoituksella. Talonpoikaistaloja alettiin verhoilla kuitenkin yleisesti vasta 1800-luvun puolivälissä. [3, 18–20; 10]

1800-luvun loppuun asti puu oli pääasiallinen rakennusmateriaali Suomessa, jonka jälkeen muut rakennusmateriaalit alkoivat vähentää puun käyttöä rakentamisessa. Puusta rakennettiin pääasiallisesti lamasalvoksin hirrestä aina 1900-luvun alun vuosikymmenille, kunnes vuonna 1832 Chicagossa keksitty lautatalo syrjäytti perinteisen hirsirakentamisen 1930-luvulla. [3, 18–20]

Toisessa maailmansodassa suuri osa Suomen infrastruktuurista tuhoutui. Kotinsa rajan taakse menettäneet siirtolaiset ja rintamalta palaavat sotilaat tarvitsivat koteja, joten jälleenrakennustarve oli suuri. Puu oli syntyneeseen tarpeeseen hyvä materiaali, koska sitä oli helposti saatavilla ja siitä osattiin rakentaa omatoimisesti. Alvar Aallon aloitteesta 1942 perustettu Suomen Arkkitehtiiliiton jälleenrakennustoimisto julkaisi tyyppiopirustukset, joiden avulla jokainen pystyi rakentamaan itsellensä talon. Virallinen nimitys on jälleenrakennusajan mallitalo, mutta arkikielessä niitä kutsutaan rintamiestaloiksi. Teollinen hirsituotanto alkoi 1940–1950-luvun vaihteessa, mikä vauhditti omalta osaltaan puurakentamista. Tyyppiopirustusten mukaisia rakennuksia rakennettiin aina 1950-luvun loppuun, jonka jälkeen alettiin rakentaa enenevässä määrin myös kerros- ja rivitaloja. [3, 24; 6]

Puurakentaminen alkoi hiipua 1950-luvulla. Jälleenrakentamiskauden jälkeen puunkäyttö väheni merkittävästi 1960–1970-luvuilla ja vanhoja puukaupunkialueita purettiin paljon. 1960-luvulla erilaisten levyjen käyttöön perustunut rakentaminen yleistyi ja erityisesti lastulevy oli hyvin käytetty materiaali. Puu jäi muita rakenteita täydentävään rooliin, kun muut materiaalit yleistyivät rakentamisessa. Vuonna 1946 uusista rakennuksista vielä 85 prosenttia rakennettiin puusta, vuonna 1957 uudisrakennuksista 43 prosenttia oli puisia ja vuonna 1967 puurakennusten osuus oli enää vain 26 prosenttia. [3, 25; 6]

Laaja-alaisempi kiinnostus puurakentamista kohtaan heräsi uudelleen vasta 1990–2000-lukujen taitteessa. Puun käyttöä edistivät rakentamisen ekologisuuden ja elinkaariajattelun korostuminen, rakennusmääräyksien muutokset sekä puun arkkitehtonisten ominaisuuksien löytäminen. Suomen valtio alkoi 1990-luvun puolella välissä tukemaan puurakentamiseen liittyviä tutkimuksia ja edistämään puurakentamisen hankkeita. Myös rakentamisen määräyksiä on tarkastettu ja suurin puurakentamista edistävä yksittäinen tekijä oli vuonna 2011 voimaan tullut rakentamismääräys, joka mahdollisti korkeintaan kaksikerroksisen kerrostalon rakentamisen ilman sprinklerijärjestelmää. [3, 26]

4.2 Puusto Suomessa

Suomessa nykymuotoinen puuston määrän tilastoiminen aloitettiin vuonna 1921. Tilastotietoa tuottaa säännöllisin, noin 5-10 vuoden välein, toteutettava valtakunnan metsien inventointi (VMI). Ensimmäiset inventoinnit toteutettiin linja-arviointimenetelmällä. Nykyään on siirrytty käyttämään systemaattista koealaotantaa, jossa mittaukset tehdään ryppäinä sijaitsevilla maastokoealoilla. Koealaryppäistä muodostuva säännöllinen verkko kattaa koko Suomen. VMI:n maastomittauksien perusteella saatavat tulokset ovat luotettavia käsiteltäessä yli 200 000 hehtaarin kokoisia alueita, esimerkiksi metsäkeskuksia. Pienempien alueiden, kuten kuntien, mittaamiseen voidaan käyttää monilähdeinventointia, jossa yhdistetään maastotietoja, satelliittikuvia ja muita numeerisia tietoja. [11]

Puuston määrä on kasvanut 1920-luvulta Suomessa yli 60 %, vaikka Moskovan välirauhassa vuonna 1944 Suomi joutui luovuttamaan noin 12 % maan pinta-alasta ja parhaista metsämaista Neuvostoliitolle. Kiihtyvään kasvuun ovat erityisesti vaikuttaneet 1950–1980-luvuilla tehdyt suomaiden ojitukset sekä tehostunut metsänhoito. Ennen soiden uudisojituksen lopettamista Suomen koko suoalasta ojitettiin hieman yli puolet eli reilu 4,4 miljoonaa hehtaaria. Nykyisin ojitusalueita pidetään yllä kunnostusojituksin. Ojituksilla muutettiin kitu- ja joutomaata metsämaaksi, jolloin puuston kasvuolosuhteet parantivat merkittävästi. Näiden toimien ansiosta Suomen metsissä on ollut viime vuosikymmeninä paljon nopean kasvun vaiheessa olevia 30–60-vuotiaita, runsaspuustoisia metsiä. Suometsien metsätaloudellinen merkitys kasvaa tulevaisuudessa, sillä parissa vuosikymmenessä ojitusalueiden osuus Suomen metsien hakkuumahdollisuuksista ennakoitaan nousevan noin viidenneksen. [12, 33–37]

Vuonna 2016 Suomen pinta-alasta oli 26,2 miljoonaa hehtaaria metsätalousmaata, johon kuuluvat myös luonnonsuojelualueet. Tämä tarkoittaa, että pinta-alasta 78,6 prosenttia on metsää. Sen omistajuus jakaantuu niin, että yksityiset omistavat 53 prosenttia, valtio 35 prosenttia, yhtiöt 7 prosenttia ja muut 5 prosenttia.

Suomen metsät kuuluvat pohjoiselle havumetsävyöhykkeelle. Puulajien esiintymistiheyden mukaan mäntyä on 50 prosenttia, kuusta 30 prosenttia ja lehtipuita 20 prosenttia. Puuston määrä on 2,35 miljardia kuutiometriä ja vuotuinen kasvu 105,5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Suurin laskettu ekogisesti kestävä aines- ja energiapuun kertymän runkotilavuus metsämaalle on tällä hetkellä noin 81 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Vuosina 2011–2013 metsäteollisuus käytti ainespuuta keskimäärin 53 miljoonaa kuutiometriä. [4; 13, 20]

Metsien hakkuumahdollisuus vuosille 2011–2020 on arvioitu tukki- ja kuitupuun osalta olevan 75,2 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, minkä lisäksi energiapuuta voidaan tuottaa vai hakata 20,5 miljoonaa kuutiometriä. Energiapuun kertymä on kuitenkin voimakkaasti sidoksissa teollisuuden puunhakkuisiin, koska energiapuusta 14,4 miljoonaa kuutiometriä kertyy metsäteollisuuteen menevän puun hakkuutähteistä ja kannoista. [14]

5 Puun ominaisuudet

Puu on pehmeä, helposti käsin tai koneellisesti työstettävä materiaali. Puun monipuoliset ominaisuudet mahdollistavat puun käyttämisen usealle eri tavalla. Suhteessa painoonsa se on luja materiaali, jolla on hyvät veto- ja puristuslujuusominaisuudet. Puun käyttäminen rakentamisessa vaatii kuitenkin sen ominaisuuksien tuntemisen, koska käsittelemätön puu on altis hyönteisvaurioille, helposti palava ja lahoava materiaali. Puun käyttämisessä on tärkeintä rakenteellinen suojaaminen, millä estetään epäedullisten olosuhteiden syntyminen. Tässä luvussa kerrotaan puun keskeisimmistä ominaisuuksista.

5.1 Puun biologiset ominaisuudet

Puu on uusiutuva luonnon tuote, joka tarvitsee kasvaakseen valoa, vettä, hiilidioksidia sekä ravinteita maaperästä. Puiden lehdet ja neulaset sisältävät lehtivihreää eli klorofylliä, jonka avulla ne auringosta saatavan energian avulla valmistavat maaperän vedestä ja ilmakehän hiilidioksidista glukoosia omaksi ravinnokseen ja sivutuotteena happea. Glukoosista puut valmistavat selluloosaa sekä ligniiniä, jotka muodostavat suurimman osan puun kuiva-aineksesta.

Kasvaessaan puut sitovat itseensä ilmakehästä hiilidioksidia. Yhden puukuutiometrin kasvaminen tuottaa karkeasti 0,7 tonnia happea ja sitoo tonnin verran hiilidioksidia, jolloin puu toimii puskurina ilmastonmuutokselle. Keskiverto suomalainen puumakotitalo sitoo puurakenteisiinsa noin 30 tonnia ilmasta peräisin olevaa hiilidioksidia, mikä vastaa yhden keskivertoautoilijan yli 10 vuoden hiilidioksidipäästöjä [15]. Puuhun sitoutunut hiilidioksidi vapautuu kuitenkin takaisin ympäristöön sen elinkaaren lopussa. Puusta ei vapaudu enemmän hiilidioksidia kuin siihen on kasvun aikana tai mahdollisen käsittelyn aikana sitoutunut. Puu voidaan hävittää polttamalla, jolloin vapautuva energia voidaan käyttää hyödyksi. [16]

5.2 Puun fysiologiset ominaisuudet

Puulla tunnetaan ja tiedetään olevan psykologisia vaikutuksia ja se koetaan lämpimäksi ja kauniiksi materiaaliksi. Heikko sähkön- ja lämmönjohtavuus sekä huokoinen pinta ovat tekijöitä, jonka vuoksi puuesineet koetaan miellyttäväksi koskea. Tutkimuksissa [17,18] on havaittu puupinnan koskettamisen olevan miellyttävämpää kuin saman lämpöisen alumiinin tai muovin. Näitä ominaisuuksia on mitattu mm. sydänsähkökäyrän (elektrokardiografia, EKG) ja aivosähkökäyrän (elektroenkefalografia, EEG) avulla. [19, 8-9]

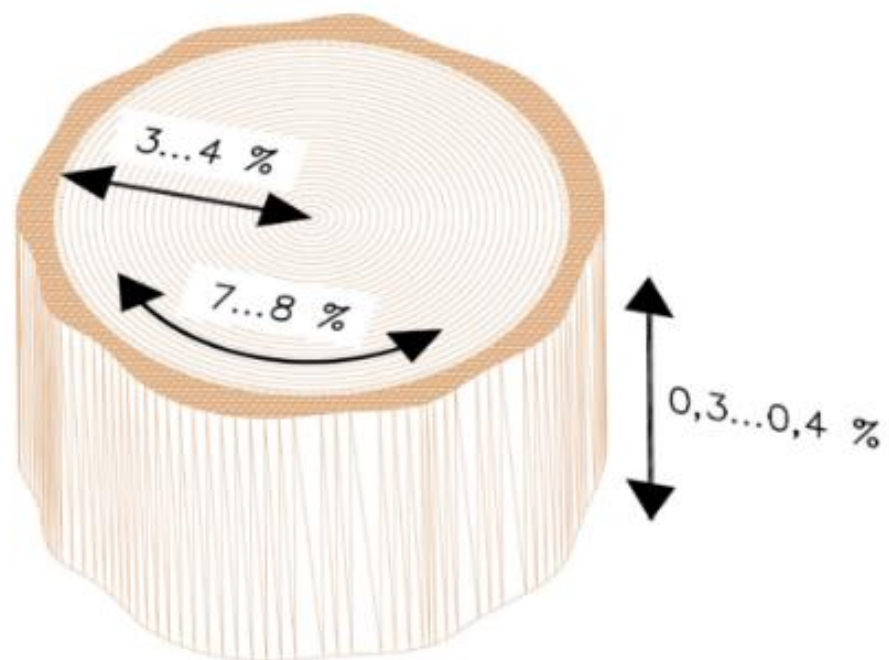
Tutkimukset [20; 21] osoittavat, että puut ja puupinnat pystyvät säätämään ihmisen elimistön stressitasoja. Puun vaikutusta stressitasoihin on tutkittu mm. kouluympäristössä, jossa sydämen sykevälivaihtelun eli sykevariaation perusteella on päätelty, että stressipiikki alenee puukoulun luokassa nopeammin kuin verrokkiluokassa, jossa stressitaso pysyi korkeampana koko päivän. Ihmisen ollessa sairas tai stressaantunut sykevälivaihtelu vähenee, kun terveellä, hyvävointisella ja -kuntoisella ihmisellä se on levossa ja rentoutuneena suurta. [19; 22]

5.3 Puun kosteustekniset ominaisuudet

Puu on hygroskooppinen materiaali, eli se pystyy sitomaan (adsorptio) ja luovuttamaan (desorptio) kosteutta itsestään suhteellisen kosteuden muuttuessa. Puuhun kulkeutuu vettä kolmella eri tavalla: kapilaarisesti soluonteloiden kautta, höyrynä soluonteloiden kautta ja molekylaarisena diffuusiona soluseinämän kautta. Veden ja vedettömän puuaineksen massan välinen suhde kertoo puun kosteuden. [23] Puun tasapainokosteus määräytyy ilman lämpötilasta sekä suhteellisen kosteudesta ja puun kosteus hakeutuu koko ajan kohti ilman parametrien määräämää tasapainokosteutta.

Kun vapaa vesi on poistunut puun sisältä, mutta soluseinämät sisältävät enimmäismäärän vettä, kutsutaan kosteustilaa puunsyiden kyllästymispisteeksi ja silloin puun kosteustila on n. 30 %. Tämän jälkeen puunsolukoista alkaa haihtua vettä, mikä saa puun kutistumaan. Puuaineksen tiheys mitataan yleensä 15 % kosteustilassa, jolloin se ilmoitetaan ilmakeivätiheytenä. [24; 25]

Puu on anisotrooppinen aine eli sen kosteuseläminen eri suuntiin on erilaista. Pitkittäissuunnassa puun kosteuseläminen on vähäistä, mutta poikittaissuuntaan kosteuseläminen on suurempaa. Jos puu kuivataan täysin märästä absoluuttisen kuivaksi, kutistuu puu tangentin suunnassa n. 8 %, säteen suunnassa n. 4 % ja syiden suunnassa n. 0,4 %. Puun kosteuselämisen aiheuttamat muutokset tulee huomioida rakentamisessa. Esimerkiksi hirsirakentamisessa puun kuivuminen aiheuttaa rungon painumista kasaan. Lisäksi kuivuminen aiheuttaa puun sisälle jännityksiä, jotka voivat aiheuttaa puuhun halkeamia. Puu halkeaa yleensä kohdasta, jossa etäisyys pinnasta ytimeen on lyhyin. [24; 25]



Kuva 1 Puun kutistuminen kuivuessa. (Puuinfo Oy) [23]

Puun käyttäminen sisätiloissa auttaa tutkimuksen [26] mukaan tasaamaan sisäilmankosteutta koeolosuhteissa. Puupintoja tulee kuitenkin olla huonetilassa paljon, jotta syntyy tarvittavan suuri puskuri, koska puumateriaalien pintaan pystyy sitoutumaan vain rajallinen määrä kosteutta. Sisäilman kosteus vaikuttaa tilan lämpöviihtyvyyteen sekä aistinvaraisesti havaittavan laadun lisäksi muihin asioihin, jotka vaikuttavat tilankäyttäjiiin. Sisäilman suhteellisen kosteuden tulee olla alle 60 %, jotta estetään sienten ja pölypunkkien kasvaminen, ja yli 28 % hengitystieinfektioiden estämiseksi. [27]

5.4 Puun lujuustekniset ominaisuudet

Puun lujuuteen vaikuttavat useat eri tekijät. Puuaineksen tiheys vaikuttaa puun lujuusominaisuuksiin. Vuosirenkaissa tummempi puuaines on kesäpuuta, jonka soluseinämät ovat vaaleaa kevätpuuta paksummat, mikä tekee kesäpuusta tiheämpää. Mitä tiheämpää puu on, sitä lujempaa se myös on. Puun soluseinämien tiheys eli ainestiheys on yleisesti n. 1500 kg/m^3 ja havupuiden tiheys hieman lehtipuita pienempi. [24; 25]

Puun lujuusominaisuuteen vaikuttaa oleellisesti sen kosteus, koska puun kuivuessa sen lujuustekniset ominaisuudet paranevat. Puun kuivuessa soluseinämät liikkuvat lähemmäksi toisiaan ja kiinnittyvät samalla toisiinsa. Kosteus vaikuttaa lähinnä puristus- ja taivutuslujuuteen, koska syiden suuntaiseen vetolujuuteen sillä ei juurikaan ole vaikutusta. Suurin muutos puun lujuuteen kosteudella on, kun puun kosteus putoaa alle kylästymispisteen. [24; 25; 28]

Puun lujuuteen vaikuttaa merkittävästi myös se, missä suunnassa puuta kuormitetaan. Vetolujuus on yleensä 10–20 -kertainen puun syiden suunnassa verrattuna syitä kohtisuorassa olevaan vetolujuuteen. Virheettömällä puulla veto- ja taivutuslujuus ovat yhtä suuria. Puun leikkauslujuus on 10–15 % puun syiden suuntaisesta vetolujuudesta. Taivutuslujuus syiden suunnassa on suoraan verrannollinen puun tiheyteen, jonka kasvaessa lisääntyvät samalla myös puun kimmoisuus ja kulutuskestävyys. [25]

Suurin lujuuteen vaikuttava tekijä on kuitenkin oksaisuus. Oksat heikentävät puun lujuusteknisiä ominaisuuksia, koska puuaines muuttuu oksan kohdalla luoden heikomman kohdan verrattuna oksattomaan kohtaan. Muita laatuluokituksessa tarkkailtavia tekijöitä ovat esimerkiksi halkeamat, vajaasärmäisyys, pihkakolot, kaarnarosot, kaarnakorot, vinosyisyys, latvamurtuma, lyly, muotoviat sekä sahatavaran käsittelystä johtuvat viat. [29]

5.5 Puun lämpötekniset ominaisuudet

Puuaineksen huokoisuus tekee puun lämmönjohtavuuden suhteellisen vähäiseksi. Mitä suurempi tiheys puulla on, sitä huonommin se eristää lämpöä. Tämä johtuu siitä, että puun sisällä olevien pienien ilmakerroksien määrä on vähäisempi ja kylmä pääsee joutumaan soluonteloiden seinämiä pitkin. Vastaavasti mitä pienempi puun tiheys on, sitä enemmän puun sisällä on lämpöä eristävää ilmaa. Puun kosteus vaikuttaa myös lämmöneristävyyteen; kuivempi puuainekes johtaa huonommin lämpöä. Lämmönjohtavuuteen vaikuttaa myös syiden suunta. Puun lämmönjohtavuusominaisuus on syitä vasten puolet siitä, mitä se on syiden suuntaisesti. [30]

Lämpölaajeneminen puulla on erittäin vähäistä syiden suunnassa, kun taas säteen ja tangentin suuntaiset lämpöliikkeet ovat huomattavasti suurempia. Puun lämpölaajenemisen ja kosteusikutistuman suhde on syiden eri suunnassa samaa suuruusluokkaa. Puuta lämmitettäessä sen mekaaniset ominaisuudet heikkenevät. Puun altistuessa pitkän aikaa korkealle kuumuudelle, sen lujuusominaisuudet heikkenevät. [24] Myös toistuva lämpötilan vaihtelu heikentää puun lujuutta. Jos lämpötila on alle $+0^{\circ}\text{C}$ voi jäätyminen aiheuttaa puun halkeilua soluonteloissa olevan veden jäätyessä. [24]

Puun lämpökapasiteetti, eli kyky varata lämpöä, riippuu tiheydestä, kosteudesta, lämpötilasta ja syiden suunnasta. Männyllä ja kuusella keskimääräinen ominaislämpökapasiteetti $+ 0 - 100^{\circ}\text{C}$ on $1200\text{--}2300\text{ J/Kg}^{\circ}\text{C}$ [31]. Puutavaran lämpökapasiteetti nousee puuainekes kosteuden noustessa, koska veden ominaislämpökapasiteetti $4186\text{ J/Kg}^{\circ}\text{C}$ on puuta suurempi.

5.6 Puun palotekniset ominaisuudet

Puun lämpötilan noustessa yli $+100^{\circ}\text{C}$ alkaa kemiallisesti sitoutumaton vesi höyrystyä siitä pois. Kun puun lämpötila saavuttaa 180°C , alkaa puun terminen pehmentyminen, joka saavuttaa maksiminsa $+320\text{--}380^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. Ligniinin, selluloosan ja hemiselluloosan sidokset alkavat tällöin hajota. Kosteaa puu alkaa pehmentymään jo aikaisemmin, jopa jo $+100^{\circ}\text{C}$ lämpötilassa. [32]

Massiivinen puurakenne on turvallinen materiaali. Se johtuu puun hiiltymisestä, mikä hidastaa puun sisäosien lämmön nousua ja täten rakenteellisen lujuuden heikentymistä. Puu tarvitsee yleensä 250 - 300 °C:n lämpötilan syttyäkseen, jonka jälkeen se alkaa hiiltymään n. 0,8 mm minuutissa. Liimapuun hiiltymisnopeus on hieman pienempi, 0,7 mm minuutissa. Puurakenteen hiiltymisen tarjoama ominaisuus voidaan hyödyntää rakenteiden mitoituksessa, jolloin tehollisen mitoituksen päälle puutavaraan paksuutta lisätään suojaamaan rakennetta palotilanteessa. Mitä kosteampaa ja tiheämpää puuaines on, sitä huonommin se syttyy palamaan. Syttymistä ja palovaikutusta edistävät sen sijaan terävät kulmat, karkea pinta sekä säröt ja halkeamat. [33, 14]

5.7 Puun äänitekniset ominaisuudet

Ääni on mekaanista värähtelyä elastisessa väliaineessa, jona voi toimia kaasu, neste tai kiinteä aine. Äänen eristäminen perustuu massaan, ilmatiiviyteen ja rakenteiden resonanssiin. Massiivinen ja painava rakenne eristää ääntä hyvin. Paksu, tiivispintainen ja sileä puurakenne sellaisenaan ei eristä ääntä hyvin, koska se on kevyt materiaali. Asuinrakennuksen ääneneristävyysvaatimusten täyttäminen pelkästään puurakenteen massan avulla on käytännössä mahdotonta [33, 14]. Tiivis puurakenne heijastaa hyvin ääntä, jolloin siitä voidaan tehdä ääntä heijastavia pintoja. Ominaisuutta käytetään hyväksi esimerkiksi musiikkisaleissa sekä soittimissa. [34]

Puurakennuksissa saavutetaan riittävä ääneneristys rakenteellisin keinoin käyttämällä monikerrosrakenteita. Levyn tai paneloinnin taakse sijoitetaan ilmavälin lisäksi adsorptiomateriaali, joka on huokoinen ja värähdellessään vaimentaa matalia ääniä. Rakenne muodostaa levyresonaattorin. Keskikorkeita ääniä voidaan vaimentaa rimoittamalla tai rei'ittämällä puupintoja, jolloin syntyy rako- ja reikäresonaattoreita. [34]

Monikerroksisissa puutaloissa ääneneristykseen käytettävät keinot, kuten erillisrungot ja äänikatkot, ovat vastakkaisia toimia, joita rakenteellisen jäykkyyden saavuttamiseksi vaaditaan. Jäykkyyttä rakenteisiin saavutetaan liitoksilla ja jatkuvilla rakenteilla. Näitä rakenteita pitkin äänen on mahdollista kulkeutua huoneistojen välillä. Puurakenteisen rakennuksen välipohjaan tulee yleensä lisätä massaa, jotta huoneistojen välisten äänien kulkeutumista saadaan vähennettyä. Välipohjan läpi kantautuvia ääniä

voidaan hallita myös välipohjan yläpintaan joustavan kerroksen päälle asennettavilla pintalattioita eli niin kutsutuilla kelluvilla lattioilla. [33; 34]

6 Tuotanto

Suomen sahatavaran tuotanto on nykyaikaista ja pitkälle automatisoitua. Sahateollisuus tuottaa vakioitua sahatavaraa, josta suurin osa käytetään rakentamiseen. Suomalainen nykyaikainen puurakentaminen alkaa olla yhä enemmän teollisesti esivalmistettujen elementtien varassa. Esivalmistaminen parantaa tuotannon laatua ja tehokkuutta. Tässä luvussa käsitellään puurakentamiseen liittyvää tuotantoa.

6.1 Tukkipuusta sahatavaraksi

Puutavaran lajittelu alkaa jo metsässä, koska yhdestä hakkuusta saadaan useita eri puutavaralajeja. Eri käyttötarkoituksiin menevä raakapuu ohjataan jo metsästä eri tehtaisiin, jossa saapuneet tukkipuut lajitellaan eri käyttötarkoituksia varten. Sahatavaraksi kelpaavan tukkipuun rungon latvaläpimitan on oltava yli 15 cm. Tätä pienemmät rungot luokitellaan kuitupuuksi, josta valmistetaan sellua. Sahatavaratuotantoon käytettävillä tukkipuilla on muitakin vaatimuksia, jotka vaikuttavat niiden luokitteluun. Tällaisia ominaisuuksia ovat oksaisuus ja lenkous. [35, 27]

Puutavara laadutetaan visuaalisesti ihmis- tai konenäön avulla käyttömahdollisuuksiin. Oksien koko, määrä ja sijoittuminen ovat laatuluokittelun tärkeimmät kriteerit. [29] Puita voidaan laaduttaa myös röntgenmittauksen avulla. Puut lajitellaan eri luokkiin mittojen, vikojen ja muodon perusteella. Luokkia on kymmeniä riippuen sahan tuotevalikoiman suuruudesta. Laaduttamisen jälkeen automatiikka ohjaa tukin kuljettimella oikeaan lokeroon, joista tukit siirretään trukilla varastokentälle odottamaan sahausta. Kesäisin tukkeja täytyy kastella, etteivät ne sinisty tai kuivu. [35, 43]

Kentältä tukit siirretään kuorimakoneelle, joka kuorii ne juuri ennen sahausta. Ennen sahausta tukit ajetaan metallinpaljastimen läpi, jotta vältetään mahdollisen ilkvallan

aiheuttamat laiterikot sahoilla. Puun kuori käytetään hyväksi polttamalla ja sitä voidaan käyttää esimerkiksi sahatavaran kuivaamisessa. Tukkien sahaus optimoidaan automaattikan ja mittalaitteiden avulla, jotta rungosta saadaan mahdollisimman tarkasti kaikki puutavara hyödynnetyksi. [35, 43]

Kun tukki on sahattu molemmilta sivuilta, tulee siitä pelkkahirsi, jonka jälkeen se luokitellaan. Sahauksessa yli jääneet pinnat haketetaan sellun raaka-aineeksi. Pelkat sahataan edelleen aihioiksi, jotka sitten särmätään haluttuun puutavarakokoon. Työstö voidaan tehdä jo profilointiyksikössä, jolloin särmäystä ei enää tarvita. Syntyneet sahatavarat lajitellaan automaattisesti omiin lokeroihin laadun ja dimensioiden mukaan, jonka jälkeen ne rimoitetaan kuivausta varten. Sahatavara pinkataan kuivauskuormiksi rimoitus-koneella. [35, 43]

Kuivauskuormat kuivataan yleensä kuivattamossa vähintään laivauskuivaksi. Tämä tarkoittaa, että vähintään 97 % kuivattavasta sahatavarasta on korkeintaan 24 %:n kosteudessa. Sahatavaran kuivatus määritellään tilaajan ja sahan välisessä sopimuksessa. Eri käyttötarkoitukset vaativat erilaiset kosteuspuitoisuudet. Runkopuu kuivataan juuri ≤ 24 % kosteuteen, ulkoerhoukseen käytettävä sahatavara ≤ 18 %, sisäerhoukseen ≤ 16 % ja lattiaverhoukseen ≤ 10 %, mikä on kuivin sahatavaran yleisesti käytetyistä kosteuksista. Kuivatuksen jälkeen sahatavara lajitellaan, mitat tasataan ja pakataan odottamaan kuljetusta tai noutoa sahalta. [35, 43; 36]

6.2 Liimattujen puutuotteiden valmistus

Liimapuu koostuu yhteen liimatuista lamelleista puuta. Lamellien koko vaihtelee valmiin tuotteen mitoituksen mukaan. Lamellit valmistetaan lujusluokitellusta sahatavarasta. Liimapuupalkeista on saatavilla erikokoisia vakiokokoja, mutta tehtailta on mahdollista myös tilata tarvittavan kokoisia liimapuupalkkeja lamellikerrannaisten tarkkuudella, jos valikoimista ei löydy sopivaa.

Sahatavara jatketaan sormiliitoksilla, jotta saadaan tarpeeksi pitkää puutavaraa. Syntynyt jatkettu puutavara höylätään, jonka jälkeen levitetään liimaa puutavaran pinnalle. Käytettävä liima on nykyisin ympäristösyistä lähes yksinomaan melamiini-urea-

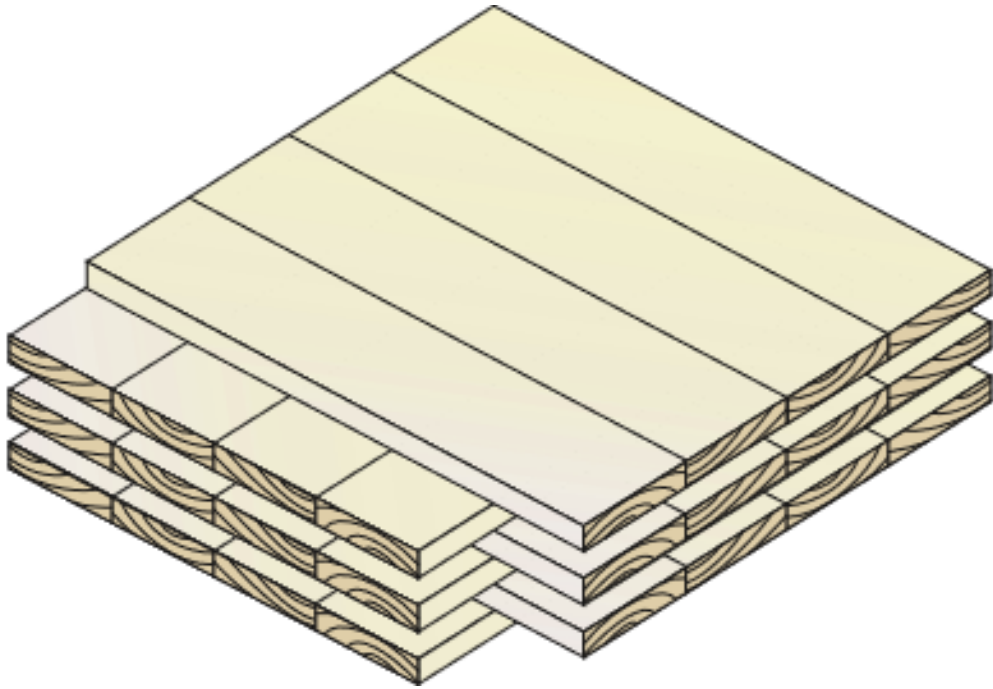
formaldehydiliimaa, jota nimitetään yleensä melamiiniliimaksi tai MUF-liimaksi. Sormijatkamiseen voidaan käyttää myös polyuretaaniliimaa (PUR). [37, 19]

Liimauksen jälkeen puutavarat menevät puristukseen, jossa liiman annetaan kuivua. Liiman kuivuttua puutavara höylätään vielä kerran, jolloin liimapurseet höylääntyvät pois ja liimapuupalkki saavuttaa lopulliset dimensionsa. Tämän jälkeen se pakataan muoviin toimitusta varten. [37, 16]



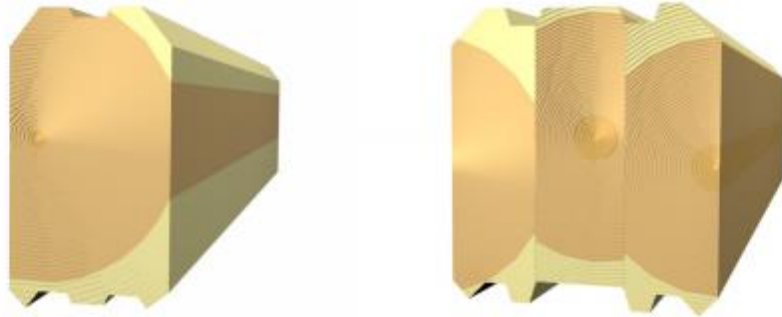
Kuva 2 Erikokoisia liimapuupalkkeja. (Norske Limtreprodusenters Forening). [37, 20]

CLT-levyt valmistetaan liimapalkin tavoin. Käytettävän puutavaran ja lamellien määrä riippuu rakenteen mitoituksesta. Erona liimapuupalkin valmistukseen on kuitenkin se, että CLT-levyn dimensiot ovat suuremmat, kuin liimapuupalkissa. Tehtaat voivat valmistaa kaikenkokoisia CLT-levyjä lamellienkerrannaisten tarkkuudella ja rajoittavat tekijät syntyvät käytännössä valmistuslaitteen ja logistiikan asettamista reunaehdoista. Levyihin on mahdollista luoda lamellien asettelulla erilaisia pintalaatuja, jotka vastaavat parhaiten käyttötarkoitusta. Rakenteellisen levyn, joka pinnoitetaan, ei tarvitse olla niin viimeistelty kuin levyn, joka jää näkyviin.



Kuva 3 CLT-rakenteen periaate. (FPI Innovations). [56, 15]

Lamellihirret valmistetaan myös samalla tavalla kuin muutkin liimatut puutuotteet. Riippuen mitoituksesta ja käyttötarkoituksesta lamellien paksuus ja määrä vaihtelevat hirressä. Lamellihirren valmistamiseen käytetään kahta tai useampaa lamellia. [38] Lamellien toisiinsa liimaamisen jälkeen pakettiin työstetään valittuun hirren profiiliin ja dimensioihin. Hirsistä on mahdollista tehdä kantikkaita tai pyöreitä. Lamellihirsissä puun halkeilu ja painuminen on vähäisempää, kuin perinteisissä hirsissä. Lamellien asettelulla on mahdollista myös valmistaa painumattomia hirsiiä, joita voidaan käyttää ja mitoittaa painumattoman puutavaran mukaisesti. [39, 10]



Kuva 4 Höylä- ja lamellihirren ero. (Hirsitaloteollisuus ry). [39]

6.3 Työstölinjastot ja -koneet

Insinööripuutuotteiden valmistuksessa käytetään erilaisia automaattisia koneita, joilla voidaan esimerkiksi sahata, höylätä, jyrsiä tai työstää muuten puutavaraa tarvittuun muotoon. Automaattisia työstökoneita kutsutaan CNC-koneiksi, jonka lyhenne tulee sanoista Computerized Numerical Control. Yleensä termiä ei suomenneta, mutta suomeksi käännettynä voidaan puhua numeerisista työstökoneista. Erilaisia puutavaran CNC-työstimiä asennetaan linjastoiksi, jolloin tuotantoa saadaan automatisoitua ja ohjattua hyvin pitkälle tietokoneiden avulla. Kun koko työstämisprosessia ohjataan tietokoneella, käytetään nimitystä CAM, joka tulee sanoista Computer Aided Machining, mikä tarkoittaa suomeksi kirjaimellisesti tietokoneohjattua työstämistä. Puutavara kulkee erilaisilla kuljettimilla eri vaiheiden välillä. [40]

Jyrsin on lastuava työstökone, jonka pyörivän työkalun terät irrottavat materiaalia kappaleesta. [41] Jyrsimiä käytetään yleensä silloin, kun kappaleeseen on tarkoitus työstää tasku, olake tai ura. Jyrsimestä riippuen puutavaraan on mahdollista työstää suoria tai vapaamuotoisia uria sekä taskuja kappaleen pinnalle. Käytettävä jyrsin määräytyy tarvittavan työstön mukaan. Kehäjyrsimellä saadaan helposti tehtyä olakkeita tai suoria

syvempiä sekä suurempia uria. Varsijyrsimellä saadaan tehtyä pienempiä vapaamuotoisia uria ja taskuja koneen asettamien rajoitteiden puitteissa.

Saha on työstötyökalu, jolla kappaleesta poistetaan tavaraa rivissä olevien hampaiden avulla. Kappaletta sahataan, kun se halutaan pienempiin osiin tai kun siihen halutaan tehdä aukko. Esimerkiksi CLT-levyihin voidaan tehdä aukko varsijyrsimen ja pyörösaahan avulla. Suuremmissa linjastoissa on ketjusaha, jolla aukkojen reunoista saadaan kulmikkaat. Pienemmistä linjastoista se yleensä puuttuu, koska valmistettava puutuotteet eivät vaadi kulmikkaita aukkoja. Esimerkiksi lamellihirsien sekä liimapuupalkkien työstäminen ja katkaisu onnistuvat erilaisien jyrsinten ja pyörösahojen avulla. [42]

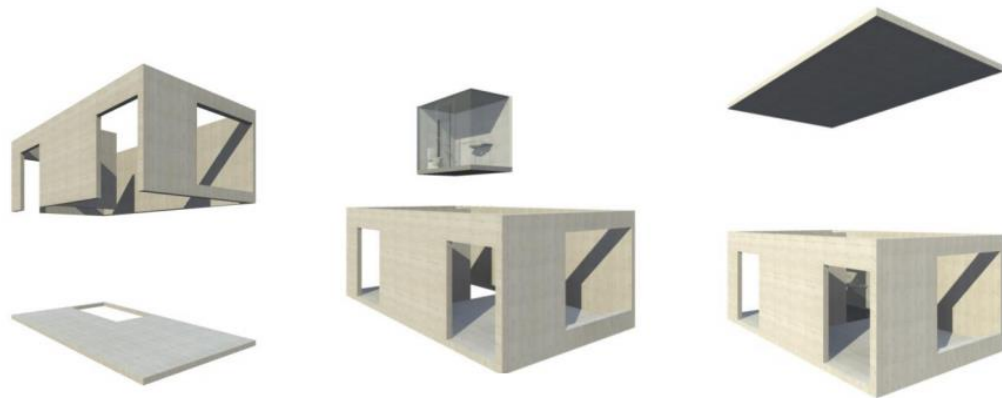
Höylä on työstökone, jolla tehdään lastuavaa työstöä. Höylässä on yksi tai useampia levymäisiä teriä, jotka irrottavat kappaleen pinnasta lastua. Höyläystä käytetään pintojen viimeistelytekniikkana, kappaleen ohentamisessa, pintakerroksen poistossa ja jopa kappaleen muotoiluissa [43]. Puukappaleiden työstämisessä höyläämistä käytetään esimerkiksi liimapuupalkkien pinnan viimeistelyyn, jotta pinnalta saadaan liimapurseet poistettua ja palkille saadaan suunniteltu mittatarkkuus.

6.4 Elementtilinjastot

Elementtilinjastolla voidaan valmistaa erikokoisia ja valmiusasteisia elementtejä. Elementteihin tarvittavat materiaalit katkaistaan oikeaan mittaan ennen kasaamisen aloittamista. Valmistuksen sujuvuuden kannalta yhdellä työpisteellä täytyy olla aina tarvittava määrä resursseja saatavilla. Elementtien kokoaminen alkaa rungon kasaamisella. Runko kasataan alustassa, jotta kasaaminen ei vaadi mittaamista tai sovittelua, vaan puutavarat ovat aina oikeissa paikoissa. Riippuen valmistettavan rakennusosan suuruudesta ja valmistajasta voidaan runko koota kerralla tai sitten elementin kasaaminen aloitetaan toisesta päästä ja rakennetaan runkotolppaväli kerrallaan. Suuremman elementin sisälle voidaan asentaa valmiiksi kasattuja osaelementtejä, kuten esimerkiksi ikkuna, johon on kiinnitetty apurunko. Rungon raamien rakentamisen ja lämmöneristeiden asentamisen jälkeen asennetaan höyrynsulku, jonka liitokset tulee limittää ja teipata. Höyrynsulun asentamisen jälkeen asennetaan paikalleen sisäpuolen kipsilevyt yhdessä sähköputkituksien kanssa. Elementtiin asennetaan suojamuovi, jonka jälkeen se käännetään

ympäri. Ulkopintaan asennetaan tuulensuojalevyt, koolaukset ja ulkoverhous. Riippuen elementtien valmiudesta elementit voidaan tässä vaiheessa pakata kuljetusta varten tai tasoelementeistä voidaan valmistaa tilaelementtejä. [44; 45, 11; 46]

CLT-tilaelementti tuotantolinjalla elementtikokonaisuudet aloitetaan valmistamalla ensimmäiseksi CLT-levyt. Ensimmäiseksi yhdistetään lattian ja seinien CLT-levyt, jonka jälkeen syntyneen tilaelementin sisälle nostetaan erillinen kylpyhuonemoduuli, koska on paljon nopeampaa ja laadullisesti tasaisempaa asentaa erillinen moduuli, kuin rakentaa kylpyhuone tilaelementtiin. Moduulin asennuksen yhteydessä asennetaan samalla vesi- ja viemäritekniikka. Tämän jälkeen asennetaan kattolevy paikoilleen, jotta rakenteet voidaan verhoilla sisältä ja ulkoa. Sisäpuolelle asennetaan tarvittaessa kipsilevyt ja ulkopuolelle asennetaan lämmöneristykset sekä julkisivuverhoilu. Sisäpuolelle viimeistellään lisäksi pinnat, asennetaan laitteet sekä viimeistellään tilat mahdollisimman pitkälle. Kun tilaelementti on valmis, suojataan sen se vielä ennen, kuin sen kuljetus kohteelle alkaa. [47]



Kuva 5 CLT-tilaelementin kokoamisperiaate. (Arkkitehtuuri Oy Lehtinen Miettunen). [47]

7 Puurakentaminen Suomessa

Suomen rakennuskannasta yli 70 prosenttia on asuinrakennuksia. Suomessa puun markkinaosuus uudistalorakentamisesta on noin 40 prosenttia, kun Euroopassa puun osuus rakentamisessa on maasta riippuen 4–9 prosenttia. Puun osuus asuinkerrostalojen rakentamisessa on vuonna 2016 noin kuusi prosenttia ja liikerakennuksista noin 20 prosenttia, joten suurimmat kasvumahdollisuudet ovat juuri näillä sektoreilla. [48; 49]

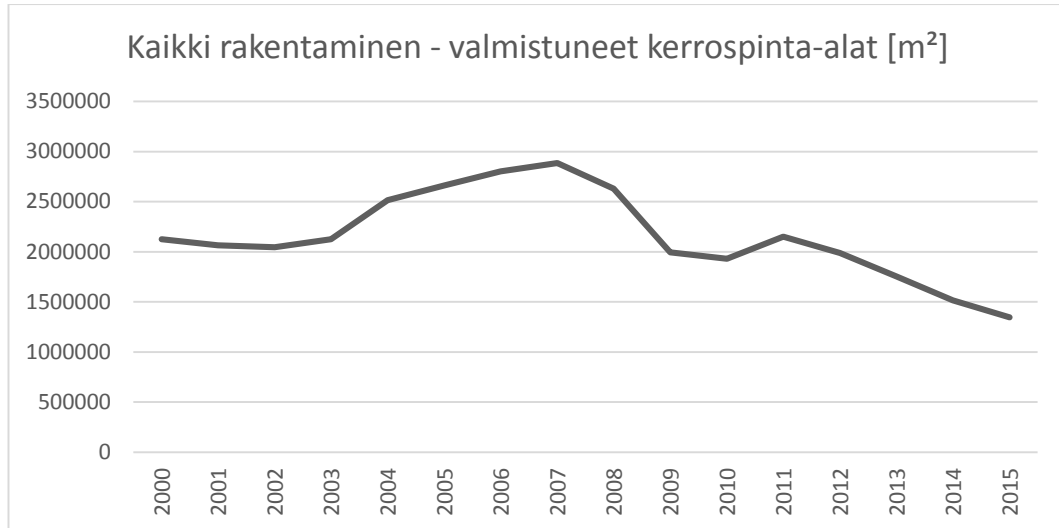
Tässä luvussa käsitellään puurakentamisen määriä Suomessa. Esitetyt rakentamisen määrät perustuvat Tilastokeskuksen tilastoihin valmistuneista kerrosneliömetreistä PX-WEB-tietokantapalvelussa [50] sekä tilastokeskukselta pyydettyyn erilliseen taulukointiin. Luvuissa kerrotut asiat on esitetty tekstiosuuden jälkeen graafisesti.

7.1 Erilliset pientalot

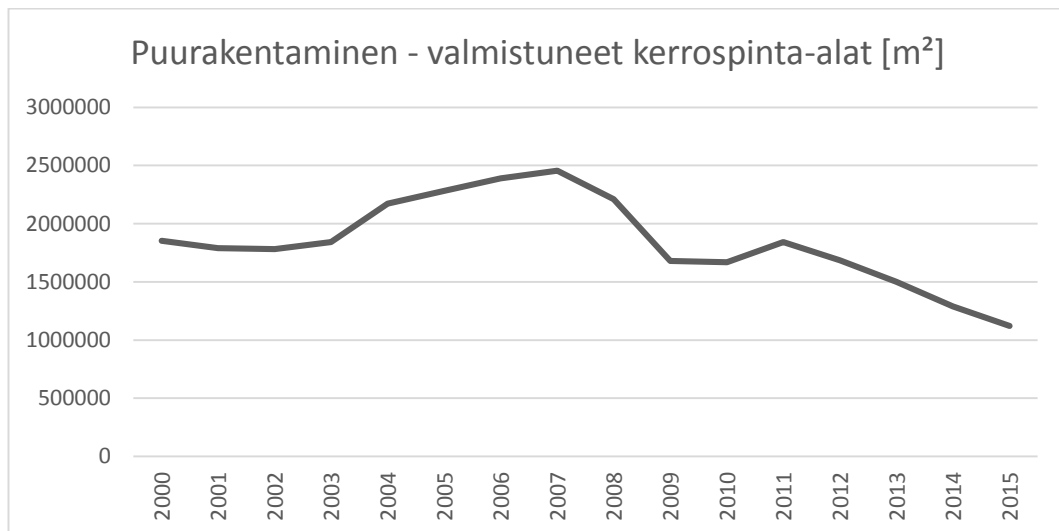
Pientaloilla tarkoitetaan omakotitaloja, paritaloja sekä kaksikerroksisia omakotitaloja, joissa on kaksi asuntoa. [51] Rakentaminen oli pienessä kasvussa vuosituhannen aluista 2000-luvun puoliväliin ja vuonna 2008, ennen talouden taantumaa, rakennettiin parhailaan yli 2,88 miljoonaa kerrosneliometriä, josta 85,1 prosentissa rakennusaineena oli puu, mikä tarkoitti 2,45 miljoonaa kerrosneliometriä. Talouden taantumien jälkeen pientalorakentaminen oli supistunut alle puoleen siitä, mitä se oli vuonna 2008. Vuonna 2015 valmistui enää 1,34 miljoonaa kerrosneliometriä. [52]

Puurakentamisen osuus pientalorakentamisessa on ollut aina suuri. 2000-luvulla puurakentamisen osuus oli suurin vuosituhannen alussa, jolloin 87,3 prosenttia pientaloista rakennettiin puusta. Puurakentamisen keskiarvo 2000-luvulla erillisissä pientaloissa on ollut 85,6 prosenttia. Puurakentaminen on menettänyt vuosituhannen alusta osuuksiaan muille rakennusmateriaaleille. Prosenttiosuuksien vähentyminen oli tasaista ennen taantumaa, mikä aiheutti ensin pienen nousun puurakentamisen suhteellisessa määrässä, mutta kääntyi tämän jälkeen laskuun. Vuonna 2015 puun osuus pientalorakentamisesta oli enää 83,4 prosenttia. [52]

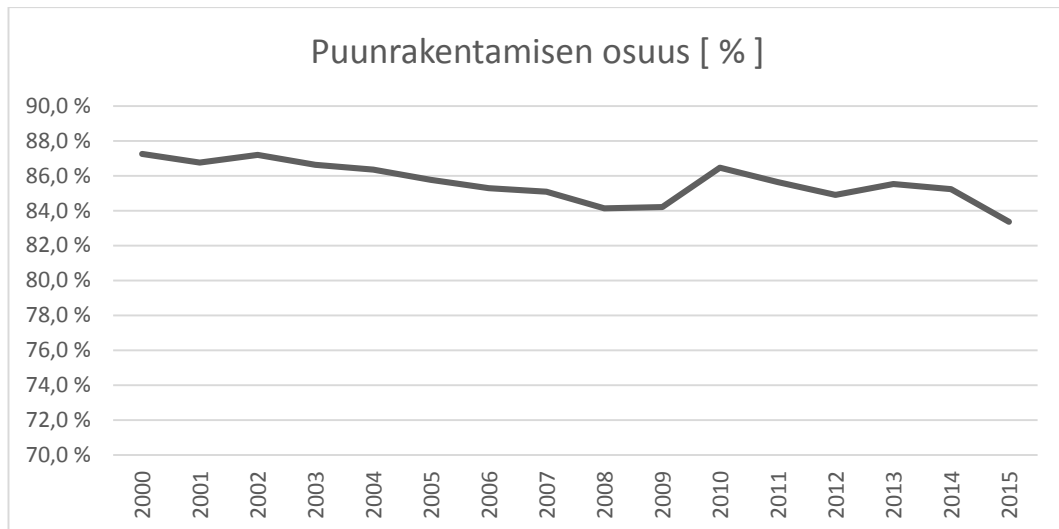
Erillisten pientalojen keskipinta-alat ovat kasvaneet keskimäärin neliömetrin vuodessa viimeisen 45 vuoden ajan. 1970-luvulla erillisen pientalon keskimääräinen pinta-ala oli 66 neliometriä, kun vuonna 2015 keskimääräinen pinta-ala oli 111 neliometriä. [53]



Kuva 6. Pientalorakentaminen vuosina 2000 – 2015 [51]



Kuva 7. Puisten pientalojen rakentaminen vuosina 2000 – 2015 [52]



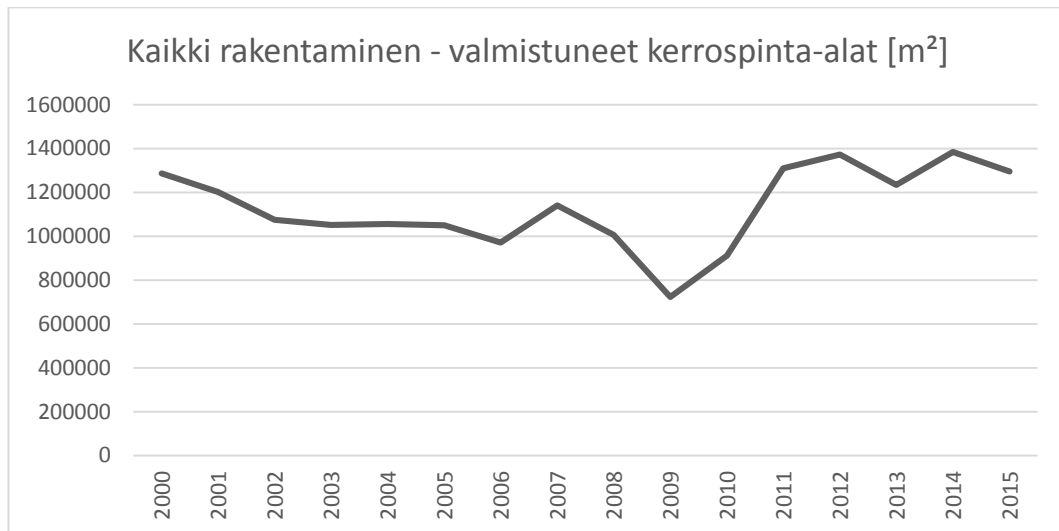
Kuva 8. Puurakentamisen osuus valmistuneista kerrosneliömetreistä vuosina 2000–2015 [51; 52]

7.2 Asuinkerrostalot

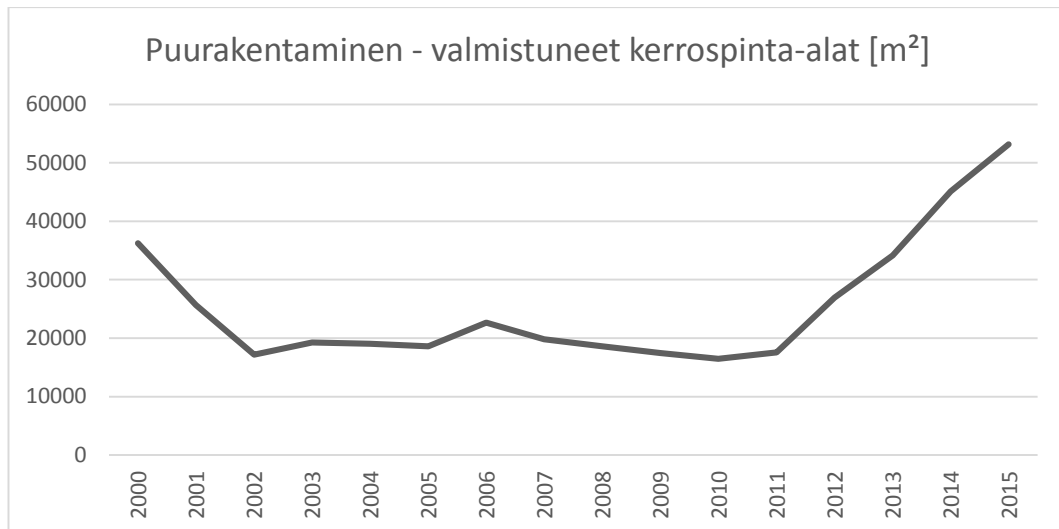
Asuinkerrostalo on vähintään kolmen asunnon talo, jossa on ainakin kaksi asuntoa päällekkäin. Asunnolla eli asuinhuoneistolla tarkoitetaan keittiöllä, keittokomerolla tai keittilalla varustettua yhden asuinhuoneen tai useampia asuinhuoneita käsittävää, ympärivuotiseen asumiseen tarkoitettua kokonaisuutta, jonka huoneistoala on vähintään 7 neliömetriä. Jokaisella asunnolla on oltava oma välitön sisäänkäyntinsä. Sisäänkäynniksi luetaan esimerkiksi omakotitaloissa erillinen niin sanottu ulkoveranta (eteinen). Mikäli käynti asuinhuoneistokokonaisuuteen tapahtuu toiseen asuinhuoneistoon varsinaisesti kuuluvien tilojen läpi, ei edellistä pidetä erillisenä asuinhuoneistona, vaan nämä kokonaisuudet muodostavat yhden asuinhuoneiston. [51]

Asuinkerrostalorakentaminen vähentyi vuosituhaten vaihteen jälkeen hieman, minkä jälkeen vuoteen 2008 asti rakennettiin keskimäärin 1,05 miljoonaa kerrosneliömetriä. Tämän jälkeen rakentaminen vähentyi pariaksi vuodeksi ja vuonna 2009 rakennettiin ainoastaan 0,7 miljoonaa kerrosneliömetriä. Tämän jälkeen valmistuneiden kerrosneliöiden määrä nousi parissa vuodessa vuosituhaten alun tasolle, missä suuruusluokassa vuosittain valmistuneiden kerrosneliöiden määrä on liikkunut tai vaihdellut viime vuosina. [52]

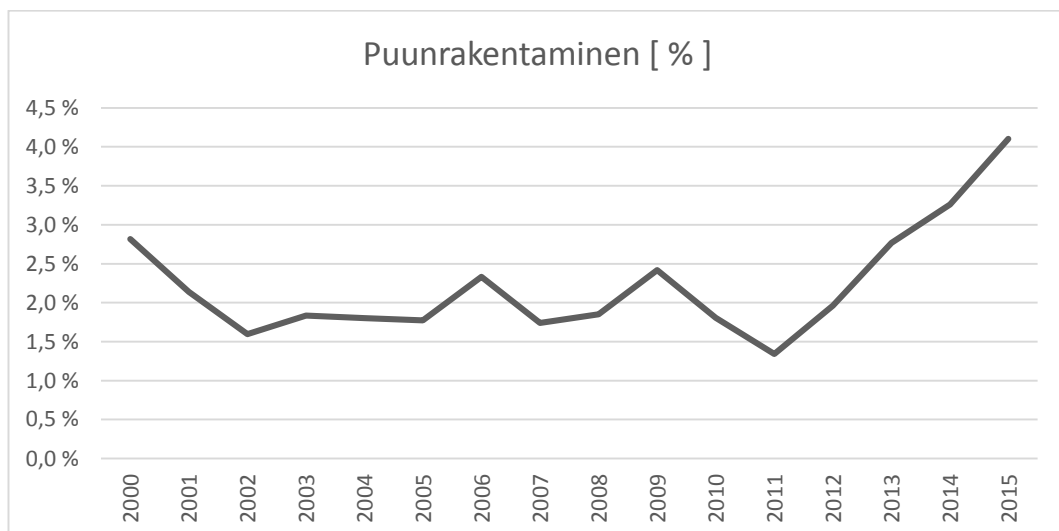
Puisten asuinkerrostalojen valmistuneiden kerrosneliöiden määrä lähes puolittui vuosituhaten vaiheessa. Se pysyi lähes samansuuruisena 2010-luvun alkuun asti, jolloin vuosittain valmistui noin 18 700 kerrosneliömetriä. Asuinkerrostalojen kerrosneliöiden määrä on ollut kasvussa vuodesta 2012 lähtien. Samalla se on kasvattanut prosentuaalista osuuttaan kaikesta rakentamisesta. Puurakentamisen osuus valmistuneista kerrosneliöistä on ollut hiukan alle kahden prosentin luokkaa vuoteen 2012 asti. Puurakentamisen valmistuneiden kerrosneliöiden pysyessä suunnilleen samassa on prosentuaalisen osuuden heittelyn vuosittain aiheuttanut muun rakentamisen lisääntyminen. Vuonna 2015 puurakentamisen osuus oli 4,1 prosenttia. [52]



Kuva 9. Asuinkerrostalorakentaminen vuosina 2000–2015 [51]



Kuva 10. Puisten asuinkerrostalojen rakentaminen vuosina 2000–2015 [52]



Kuva 11. Puurakentamisen osuus valmistuneista kerrosneliömetreistä vuosina 2000–2015 [51; 52]

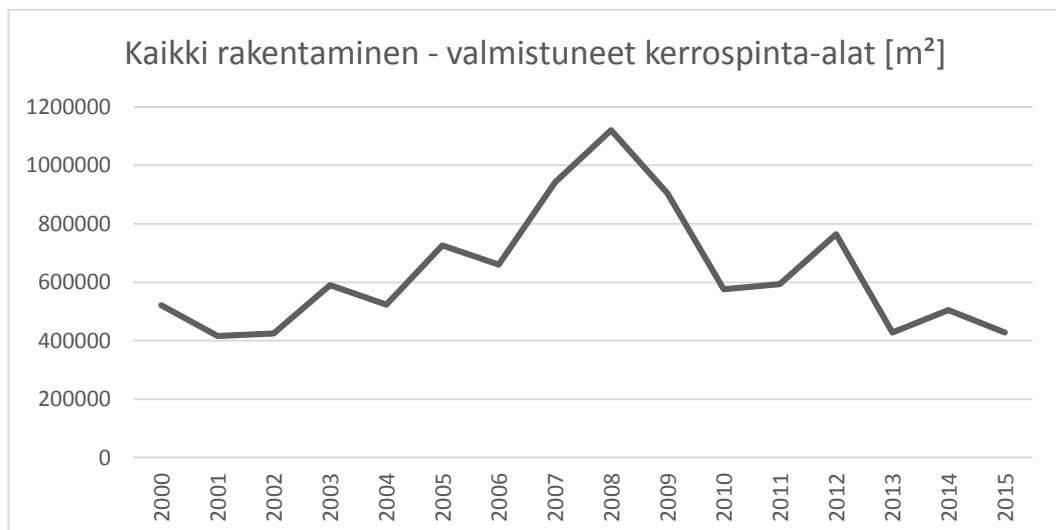
7.3 Liikerakentaminen

Liikerakennus on rakennus, jossa on pääasiassa liiketiloja yritysten käyttöön. Liikerakennuksiin luetaan Tilastokeskuksen rakennusluokituksen mukaan esimerkiksi myymälät, tavaratalot, hotellit ja ravintola. [54] Vuosituhannen alusta alkaen liikerakennusten

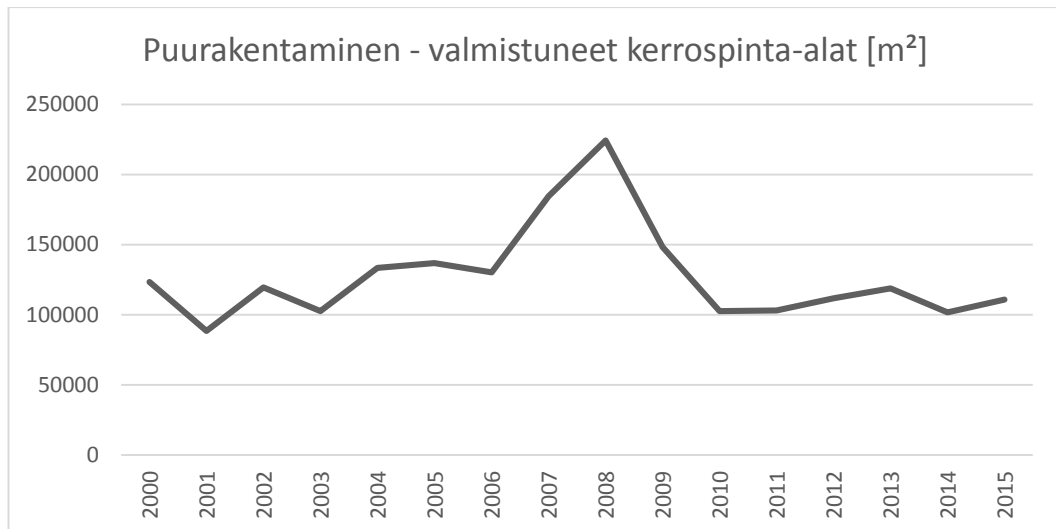
kerrosneliömäärien trendi oli kasvava ja rakentaminen otti pienen pyrähdysen vuosituhanne puolivälin jälkeen. Vuonna 2008 rikottiin miljoonan kerrosneliön raja 1,12 miljoonalla rakennetulla kerrosneliömetrillä. Taloudellisen taantuman myötä rakentaminen kääntyi laskuun ja vuonna 2015 rakennettiin 0,43 miljoonaa kerrosneliömetriä, joka on saman verran kuin vuosituhanne alussa. [52]

Puurakentamisen osuus 2000-luvulla on ollut keskimäärin 0,14 miljoonan luokkaa. 2000-luvun puolella välissä puurakentamisessakin koettiin pyrähdys ja vuonna 2008, kaiken rakentamisen rikkoessa miljoonan, rikkoi puurakentaminen 0,2 miljoonan kerrosneliömetrin rajan 0,22 miljoonalla valmistuneella neliöllä. Tämän jälkeen rakentaminen on pysynyt 0,11 miljoonan kerrosneliömetrin suuruusluokassa. [52]

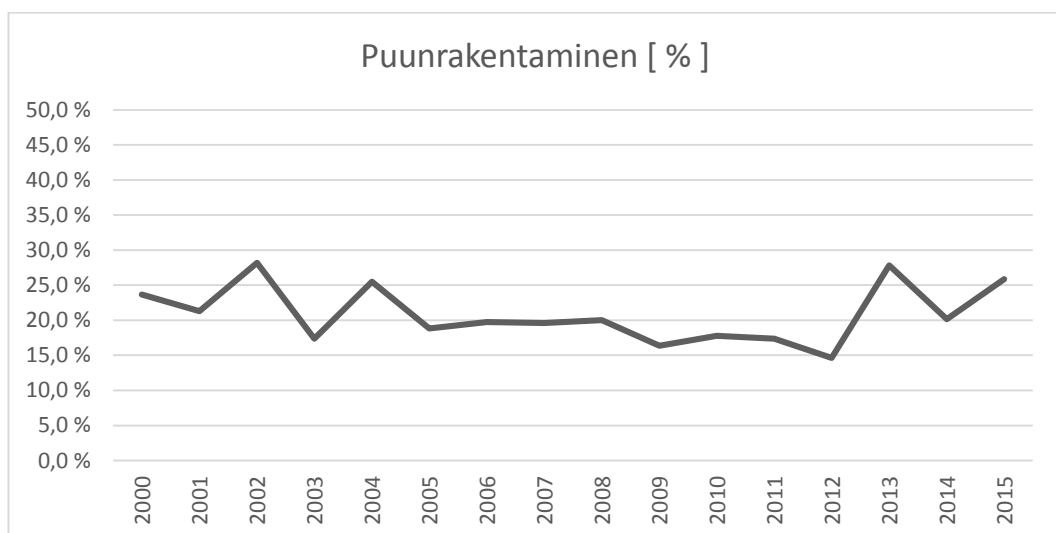
Puun prosentuaalinen osuus 2000-luvulla rakentamisesta on vaihdellut suunnilleen 15 - 28 prosentin välillä ja keskiarvoisesti sen osuus on ollut noin 21 prosenttia. 2000-luvun puolen välin jälkeinen piikki rakentamisessa ei käytännössä vaikuttanut puurakentamisen prosentuaalisen osuuteen, vaan rakentaminen nousi tuolloin samassa suhteessa niin puussa kuin muissakin materiaaleissa. Puurakentamisen osuus oli laskusuuntainen vuoteen 2013 asti, jolloin se lisääntyi vuodessa jopa 13 prosenttiyksikköä. Kasvu johtui kuitenkin muun rakentamisen vähentymisenä eikä puurakentamisen huomattavana lisääntymisenä. [52]



Kuva 12. Liiketilarakentaminen vuosina 2000–2015 [51]



Kuva 13. Puisten liiketilojen rakentaminen vuosina 2000–2015 [52]



Kuva 14. Puurakentamisen osuus valmistuneista kerrosneliömetreistä vuosina 2000–2015 [51; 52]

8 Puurakennusjärjestelmät

Puuta voidaan käyttää rakentamisessa monella eri tavoin. Rakentamisessa käytettävän puun jalostusaste vaihtelee hirsistä insinööripuutuotteisiin. Eniten puusta rakennetaan

loma-asuntoja ja pientaloja, mutta puu on kasvattanut osuuksiaan liiketila- ja kerrostalorakentamisessa. Puurakentamisessa ovat yleistyneet erilaiset elementtiratkaisut, joiden avulla saadaan rakennettua kustannustehokkaammin ja lyhemmällä työmaavaiheella. Elementtirakentaminen on lisääntynyt kaikissa rakentamisen muodoissa ja se siirtää valmistusta yhä enemmän tehtaisiin. Tässä luvussa esitellään puurakentamisessa käytettyjä järjestelmiä ja menetelmiä.

8.1 CLT-rakentaminen

Tunnetuin nimi CLT tulee englannin kielen sanoista eli *Cross Laminated Timber* ja sen suomennoksia ovat mm. ristiin laminoitu kerrospuu, ristiin laminoitu massiivipuulevy, ristiinliimattua massiivipuulevy sekä kiintopuu. Muita lyhenteitä materiaalille ovat muun muassa Binder BBS, Cross-Lam, Haas BSP KLH, Leno, X-LAM. Tällä hetkellä sille ei ole Suomessa eikä suomen kielessä vielä vakiintunutta termiä, vaan melkein jokaisella valmistajalla on oma nimi valmistamalleen tuotteelle. Tässä opinnäytetyössä sitä kutsutaan CLT:ksi, koska se on tällä hetkellä käytössä olevista helpoiten tunnistettavin termi.

CLT on ristiinliimattua massiivipuulevyä, joka valmistetaan liimaamalla mitallistettua ja lujuusluokiteltua sahatavaraa yhteen. Sahatavarat asetellaan toistensa päälle yleensä kohtisuorassa kulmassa. Jokainen puutavarakerros muodostaa yhden lamellin ja lamelleja on yleensä toistensa päällä kolmesta kahdeksaan, riippuen eri valmistajista. Jokaisen lamellikerroksen väliin tulee liimakerros. Valmistajat eivät käytä formaldehydiä sisältäviä liimoja, jolloin niistä ei synny haitallisia formaldehydipäästöjä sisäilmaan. Kun lamellikerrokset on ladottu päällekkäin siirtyvät ne seuraavaksi kuivumaan puristukseen. Liiman annetaan kuivua puristuksen alla, jossa eri kerrokset kiinnittyvät toisiinsa. Liiman kuivuttua levyä voidaan jyrsiä CNC-koneella, jolloin levyyn voidaan valmiiksi tehdä aukot ikkunoille ja oville, mikä vähentää työtä työmaalla. Kun levy vielä läpäisee laadunvalvonnan, niin se pakataan kuljetusta varten. [55]

Alun perin CLT keksittiin 1970-luvulla Sveitsissä. Nykyaikainen CLT kehitettiin Itävallassa 1990-luvun puolella välissä teollisuuden ja korkeakoulujen yhteisen tutkimustyön tuloksena. Tämän jälkeen kehitys oli hidasta usean vuoden ajan, mutta 2000-luvun alus-

sa CLT-rakentaminen lisääntyi huomattavasti. Rakentamista edistivät ympäristöystävällisen rakentamisen trendi, tehokkaampi tuotanto, tuotehyväksynät, tehostunut markkinointi sekä jakeluväylien parantuminen. [56, 12]

Euroopassa CLT:n käyttö on kasvanut tasaisesti viime vuosien aikana ja erilaisia projekteja on valmistunut eri puolelle. CLT on levinnyt myös Yhdysvaltoihin ja Kanadaan. Pohjois-Amerikassa rakennus- ja puuteollisuus ovat kiinnostuneet CLT:stä. Muutamia pilottikohteita on jo rakennettu ja useita ollaan aloittamassa. Esimerkiksi Portlandin Oregon ruvetaan rakentamaan 2017 tammikuussa 12-kerroksista kerrostaloa. Rakennuksen välipohjajaelementit tulevat olemaan yli 12 metriä pitkiä CLT-levyjä, jotka tukeutuvat liimapuusta valmistettuun palkki-pilarijärjestelmään. Rakennuksessa tulee olemaan myös maailman ensimmäinen jälkijännitetty CLT-ydin, joka jäykistää rakenteen maanjäristyksien varalle. Rakennushanke kulkee nimellä *Framework*. [56, 12; 57]



Kuva 15 Framework rakennuksen luonnoskuva. (LEVER Architecture). [57]

Suomessa CLT:stä on rakennettu mm. Joensuuhun opiskelija-asuntoja [58], jotka toteutettiin täysin Stora Enson CLT-elementtitekniikalla. Elementeissä oli valmiiksi asennettuna eristykset, sisäverhous, ovet sekä ikkunat. Projekti on yksi suurimmista Suomessa kokonaan CLT-rakenteisena toteutetuista. Kohde edustaa asuntorakentamista. Liiketiloihin Haltian luontokeskuksen toteutuksessa on käytetty CLT:tä ulko- ja väliseinissä sekä sisätiloissa välipohjissa ja katossa. [59]

Tällä hetkellä Suomessa CLT-levyjä valmistaa ainoastaan Oy CrossLam Kuhmo Ltd. Yrityksen toimipaikka on Kuhmossa. Yrityksen valmistamat levyt ovat maksimikokoaan 3,2 metriä leveitä ja 12 metriä pitkiä. Levyn paksuus vaihtelee 60...300 mm välillä. Levyt kuivataan tehtaalla 12 ± 2 % kosteuteen. Levyt valmistetaan aina asiakasmittoihin. Valmistukseen käytetään lujuusluokiteltua mänty- tai kuusisahatavaraa. Käytetyt puut tulevat kestävästi hoidetuista PEFC-sertifioiduista metsistä. Suomessa toinen CLT-levyjien toimittaja on Stora Enso, mutta nämä levyt valmistetaan Itävallassa, josta ne rahdataan Suomeen. [55]

8.2 Elementtirakentaminen

Elementtirakentaminen tarkoittaa rakennuksen osien teollista esivalmistusta valmiiksi eli elementeiksi. Elementit voidaan valmistaa hyvin pitkälle tehdasoloissa, jolloin rakenteiden laatu on tasaisempaa ja olosuhteet suotuisemmat. Elementtien koot voidaan jakaa pienenlementteihin, suurelementteihin ja tilaelementteihin. Nykyisin lämmöneriste paksuuksien kasvaminen käytännössä ohjaa pienenlementtirakentamista suurempien elementtien käyttämiseen, sillä työmaalle tarvitaan nosturi joka tapauksessa, koska elementit ovat niin painavia.

Pienenlementtirakentamisessa käytettävien elementtien leveydet ovat 0,3 – 1,8 m. Elementit on tarkoitus mitoittaa niin kevyiksi, että ne saadaan nostettua ylös lihasvoimalla. Ennen elementtien asentamista täytyy rakennuksessa olla valmiina perustukset. Pystytys alkaa sokkelin päälle asennettavalla bitumikaistalla, jonka on tarkoitus estää kosteuden siirtyminen sokkelista seuraavaksi asennettavaan alajuoksulankkuun ja sitä kautta seinien alaosiin. Alajuoksu sidotaan perustuksiin teräksillä tai pikanauloilla. Seinien ko-

koaminen elementeistä aloitetaan nurkkapalasta seuraavasta elementistä, joka reivataan eli tuetaan pystyyn.

Seinät kootaan elementti kerrallaan ja, kun seinää on asennettu pystyyn, tulee seinä reivata paikoilleen molemmilta puolilta. Seinäelementtien pystytyksen jälkeen asennetaan seinän päälle yläsidospuu jäykistämään rakennetta ja mahdollistamaan kattotuolien asentaminen. Kattotuolit nostetaan seinien päälle nosturilla ja kiinnitetään yläsidospuuhun. Ristikot jäykistetään tuulisidonnalla asennuksen jälkeen. Riippuen talon mallista päätyelementteihin asennetaan yleensä räystääs paikoilleen maanpinnalla, jonka jälkeen ne nostetaan paikoilleen. Jos rakennuksessa on kuisteja, asennetaan niiden tarvitsemat rakenteet ennen aluskatteen ja ruoteiden asentamista. Vesikate asennetaan aluskatteen ja ruoteiden asennuksen jälkeen, jolloin rakennuksen sisäpuoliset rakenteet ovat sen jälkeen sääsuojassa. Vesikatteen asennuksen jälkeen voidaan aloittaa sisäpuoliset työt ja ulkoverhoilun viimeistely.

Suurelementtirakentaminen poikkeaa pienenlementtirakentamisesta ainoastaan elementtien koon suhteen. Suurelementtitalon seinät kootaan yleensä yhdestä tai kahdesta elementistä. Tämä vähentää saumojen määrää rakenteissa ja näin työn määrää työmaalla. Asennustöiden aloittaminen edellyttää perustuksien olevan valmiit rakennuspaikalla ja valmisteleavan työn määrä on suunnilleen sama kuin pienenlementtirakentamisessa. Elementeissä voi olla valmiiksi asennettu jo ikkunat, sähköasiat sekä niiden johdotukset. Rungon paikalleen asentamisen jälkeen asennetaan vesikattoristikot ja vesikate, jonka jälkeen voidaan aloittaa ulkopuolisten töiden viimeistely ja siirtyä sisäpuolisiin töihin.

Valmis- tai tilaelementeistä rakennettaessa talo kasataan yleensä 2 - 4 elementistä riippuen talon koosta. Elementeissä voi olla rakenteiden lisäksi paikalleen asennettu jo ikkunat, ovet, LVIS-tekniikka sekä kalusteet. Paikalleen nostaminen vaatii valmiit perustukset työmaalle. Ensimmäisen elementin paikalleen nostamisen jälkeen ennen seuraavan elementin asentamista täytyy elementeissä valmiina olevat LVIS-tekniikat yhdistää. Elementtien asentamisen jälkeen saumakohtat voidaan viimeistellä.

Tilaelementtirakentaminen on nopein tapa rakentaa talo ja asumaan päästäänkin yleensä reilun kuukauden päästä tilauksesta. Suurissa elementeissä tulee mukana kuitenkin logistisia haasteita, koska elementtien dimensiot ja paino asettavat vaatimuksia kuljetuk-

selle. Kuljetuksessa on otettava huomioon mm. alikulkujen korkeudet, teiden leveydet sekä siltojen ja tien kantavuudet. Kuljetuksien kustannukset saattavatkin nousta hyvin suuriksi. Lisäksi rakennuksien yksilöiminen on kalliimpaa ja vaikeampaa, kuin muissa elementtiratkaisuissa.

Rakentamisen laatu on pääosin kiinni työryhmän osaamisesta sekä tehtaan valinnoista käytettävien materiaalien osalta. Kuljetus ja työmaavaihe ovat käytännössä ainoat mahdollisuudet rakenteiden kastumiseen. Pystyttämisestä vastaavan työporukan osaaminen ja asenne rakentamiseen korostuvat lopputuloksen onnistumisen kannalta. Jos rakentamisen aikana ei huolehdita suojaamisesta, niin rakenteiden on mahdollista altistua sadeveden kosteudelle. Lopputulokseen vaikuttavat myös mahdolliset materiaalivirheet toimituksissa. Mahdolliset laiterikotkin voivat vaikuttaa rakentamiseen, kuten nosturin öljynpaineletkun rikkoontuminen, jolloin julkisivun on mahdollista maalautua öljyllä.

Elementtirakentamisella on monia hyötyjä perinteiseen pitkästä tavarasta rakentamiseen verrattuna. Sen avulla saavutetaan parempi tuottavuus ja laatu. Elementit voidaan valmistaa hallituissa olosuhteissa tehtaissa, jolloin niiden sisään ei pääse kosteutta. Ne eivät myöskään altistu rakentamisen aikaiselle kosteudelle läheskään siinä määrin missä pitkästä tavarasta rakennettaessa. Säälle altis vaihe kestää, työryhmästä riippuen, yleensä alle viikon. Valmistajien pystytysohjeisiin kuuluu rakentamisen aikainen suojaaminen työmaalla. Jos työryhmä ymmärtää suojata pystytysvaiheessa rakenteet, niin silloin rakenteisiin ei käytännössä ole mahdollista päästä kosteutta.

Kustannussäästöt syntyvät elementtirakentamisessa lyhemmästä työmaavaiheesta ja tehtaan tehokkuudesta käyttää rakennusmateriaalit tarkemmin hyödyksi. Elementtirakentaminen on myös nopeampaa verrattuna muihin rakentamisen menetelmiin. Elementit valmistava tehdas voi olla pitkänkin matkan päässä itse rakennuspaikasta, kuten esimerkiksi lähempänä tarvittavia materiaaleja ja resursseja, jolloin sen avulla voidaan siirtää tehtävää työtä sinne, missä sen tuottaminen on edullisinta. [60]

8.3 Hirsirakentaminen

Hirsirakentaminen on perinteisin puurakentamisen muoto. Hirsien valmistukseen käytetään lähes poikkeuksetta havupuuta eli mäntyä tai kuusta. Muiden puulajien käyttö on hyvin vähäistä. Havupuun saanti on Suomessa ollut aina hyvä, koska sitä kasvaa lähes kaikkialla. Havupuiden rungot ovat suoria ja pihka toimii luonnollisena kyllästysaineena lahoamista vastaan, minkä takia niiden käyttö on lehtipuita yleisempää. [29]

Hirsirakentamisesta voidaan puhua, kun rakennuksen kantavat rakenteet on tehty hirrestä. Hirsirakentamisen historiassa on käytetty erimallisia hirsiiä sekä erilaisia salvoksia. Nykyisin hirsirakentamisessa käytetyt hirsityypit voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan. Pyöröhirsi on nimensä mukaisesti muodoltaan pyöreä. Pelkkahirressä sivut on muotoiltu tasaiseksi. Lamellihirret on valmistettu liimaamalla sahatavaraa toisiinsa. [29]

Hirsirakentaminen on pysynyt hyvin pitkään samanlaisena. Puut kaadetaan, jonka jälkeen ne kuoritaan ja kuivataan varastoimalla. Hirsien kuivuttua ne voidaan työstää ja veistää halutessaan pelkkahirsiksi eli tasasivuisiksi hirsiksi. Oman sukuni perimätiedon mukaan työmies veisti päivässä 8–11 metriä seinähirsiiä riippuen vaadittavan työstön määrästä.

Hirsirakennukset kootaan hirsikehä kerrallaan. Alin hirsikehäaloitetaan puolikkailla hirsillä, jotta jako käy seinää nostettaessa uusilla hirsikerroilla. Hirsikertojen väliin tulee asentaa tiiviste. Riippuen perustamistavasta, kiinnitetään myös lattian kannatinpalkit alimpaan hirsikehään. Hirret kasataan päällekkäin ja nurkkien liitokset hoidetaan salvoksilla, eli niihin tehdään loveus, jotta ne voidaan kasata päällekkäin. Hirret kiinnitetään toisiinsa neliskanttisilla tapeilla, jotka pitävät hirret linjassa. Kun kantavat rakenteet on rakennettu, voidaan muut rakenteet kuten yläpohja ja vesikatto rakentaa normaalisti esimerkiksi ristikoista ja kattomateriaaliksi valita haluttu katemateriaali.

Hirsirakentamiselle haasteita luovat painuminen, ääneneristysvaatimukset ja seinien lämmöneristävyys. Hirsirakentamisen ominaisin elementti on painuminen. Painuminen johtuu puun luonnollisesta kuivumisesta, hirsiseinän saumojen tiivistymisestä ja kuorimituksesta. Painuminen on otettava huomioon rakenteita suunniteltaessa. Hirsirakenteiden painumat ovat hirsityypistä riippuen noin 10...50 mm/korkeusmetri, josta suurin osa

on kuivumisesta johtuvaa. Nykyisin kuitenkin eri hirsivalmistajilla on painumattomia hirsii, joiden käyttö voidaan mitoittaa kuten normaalin puutavaran. [29]

Hirsiseinän ääneneristävyys riippuu mm. seinän massasta, varauksen tiiveydestä ja hirsiseinän jäykkyydestä. Ohuimpien hirsirakenteiden ilmaääneneristysluvut liikennemelua vastaan ovat alhaisia. Kaavamääräyksissä vaadittavat äänierotasot ovat yleensä vähintään 28 dB ja enintään 40 dB. Hirsirakennuksessa äänitasoeroksi voidaan arviolta saavuttaa 28...30 dB, jos käytetään normaaleja ikkunarakenteita ja hirsityyppejä LH180...LH205. Myös lisäeristetyllä hirsiseinärakenteella päästään vaadittavaan ääneneristykseen. Muiden rakenteiden ääneneristyskyky ei todennäköisesti ole riittävä. [2, 12]

8.4 Paikallaan rakentaminen

Paikalla rakentaminen on ollut Suomessa perinteisesti yleisin rakentamisen muoto omakotitaloissa. Erityisen voimakasta rakentaminen oli sotien jälkeen jälleenrakennuskaudella, jolloin suuri osa Suomen omakotitaloista on rakennettu. Talot rakennettiin hirrestä ja myöhemmin sahatavarasta, koska se tuli edullisemmaksi kuin hirsirakentaminen. Sahatavarasta rakennettaessa rakentaminen tapahtuu työmaalla, jonne talo rakennetaan eli puhutaan paikalla rakentamisesta.

Paikalla rakentaminen voidaan toteuttaa eri tavoin. Rakentamiseen tarvittavat rakennusosat voidaan valmistaa kokonaan työmaalla pitkästä puutavarasta, jolloin kyseessä on perinteinen pitkästä tavarasta rakentaminen. Rakentaminen voidaan suorittaa myös yleispätevistä valmisosista, jolloin useimmin toistuvat rungon osat ovat vakiotuotteita ja muut osat, kuten ikkunoiden ja ovien pielipuut, työstetään työmaalla. Osat on myös voitu sahata jo valmiiksi määrämittäiseksi, jolloin puhutaan *pre-cut* rakentamisesta. Kaikki edellä mainitut kuitenkin luokitellaan avoimen puurakennusjärjestelmän mukaan paikalla rakentamiseksi. [1, 8]

Avoimen puurakentamisjärjestelmän mukaisessa paikallaan rakentamisessa runko kootaan kerroksittain. Ensimmäisenä rakennetaan alapohja, joka toimii työalustana rakennettaessa ensimmäisen kerroksen seiniä. Seinät kootaan vaakatasossa työtason päällä

valmiiksi seinäelementeiksi, jotka nostetaan pystyyn, tuetaan ja kiinnitetään paikalleen. Pystytyksen jälkeen seinärunkojen päälle asennetaan välipohjapalkit, joiden päälle kiinnitetään aluslattialevy. Näin saadaan uusi työalusta, jonka päälle toisen kerroksen seinät kootaan. Kattokannattajat kiinnitetään seinärunkojen päälle. Yksikerroksisessa talossa kattokannattajat kiinnitetään heti kerroksen seinien valmistuttua. Runkovaiheen jälkeen rakentaminen jatkuu vesikaton ja ulkoverhousien asentamisella. Samoin ikkunat ja ovet kiinnitetään runkoon. Talotekniikan putket ja kanavat asennetaan, kun runko on valmis. Niiden asennusten jälkeen runko eristetään ja levytetään, jonka jälkeen alkavat sisustus- ja viimeistelytyöt. [1, 10-12]

Pitkästä tavarasta rakentamisen huono puoli paikallaan rakentamisen on rakennusaika. Rakentaminen vie aikaa verrattuna muuhun rakentamiseen, koska kaikki työ tehdään työmaalla. Rakentamista voidaan nopeuttaa esivalmistetuilla rakennusosilla, jolloin vähennetään työmaalla tehtävää työn määrää ja samalla syntyvän rakennusjätteen määrää. Kustannuksien syntyessä enimmäkseen palkkakuluista, rakennushankkeen onnistuminen on vahvasti sidoksissa työvoiman osaamiseen. Jos rakentamisessa ei noudateta tarkasta nykyaikaisia rakennusmääräyksiä, yritetään säästää tai oikaista jossakin rakennusvaiheessa, otetaan turhia riskejä, jotka yleensä kostaavat rakennusvirheinä. Rakennusvirheitä voidaan välttää asiansa osaavalla valvojalla rakentamisen aikana.

Paikallaan rakentaminen mahdollistaa aidosti yksilöllisen rakentamisen. Rakennuksen koko, muoto, pintaverhousmateriaalit, lämmitysmuoto ym. voidaan vapaasti valita. Vaikka paikallaan rakentaminen mahdollistaa yksilöllisen rakentamisen, tulee käytettävien rakenneratkaisuiden olla teknisesti toimivia. Vakioidut rakennusosat ja liitokset on todettu toimiviksi, jolloin rakentamisen laatu paranee. Mahdollisimman pitkälle viety vakiointi luo myös ajallisia sekä kustannuksellisia säästöjä, kun kaikkea ei tarvitse soveltaa työmaalla. Vakiointi kohdistuu osiin ja ratkaisuihin, jotka eivät tavallisesti jää näkyviin valmiiseen rakennukseen. Työmaalla ei tarvita raskasta nosturikalustoa, koska runko voidaan kasata käsipelissä kattotuolien asennukseen asti. Kattotuolit voidaan asentaa kevyellä nosturikalustolla päivän aikana. Nostokalustoa voidaan tarvita myös vesikatteen asennuksen yhteydessä, riippuen kerroskorkeudesta ja vesikatteen materiaallivalinnasta. [1, 10-12]

Puu- ja paikallaan rakentamista on kehitetty julkaisemalla avoin puurakennusjärjestelmä kaikkien vapaaseen käyttöön. Sen tarkoitus on mahdollistaa erilaisten asiakastarpeiden toteuttaminen joustavasti ja kustannustehokkaasti puusta sekä samalla yhtenäistää puurakentamisen käytäntöjä. Vakioimalla puurakentamisen rakennusosia ja liitoksia saadaan parannettua rakentamisen laatua. Järjestelmän mukaiset ratkaisut takaavat oikein toteutettuna rakentamisen peruslaadun ja vaatimustenmukaisuuden. Samalla mahdollistetaan myös eri esivalmistusasteiden vertailu ja käyttäminen joko yhdessä tai erikseen. [1, 10-12]

8.5 Timber frame -rakentaminen

Timber frame ja ”palkki-pilari” ovat tuhansia vuosia vanhoja rakentamisen tapoja, joissa talojen runko kootaan massiivipuista pilareista ja palkeista liittämällä kappaleet toisiinsa puusepäntiitoksilla. Puun työstäminen on tapahtunut perinteisesti kirveillä, vuolimilla, höylillä ja käsikäyttöisillä porilla. Kokoaminen on tapahtunut hyvin pitkälti lihasvoimalla. [63]

Rakennustapa on tuhansia vuosia vanha ja ensimmäiset merkit siitä on neoliittiseltä ajalta. Sitä on käytetty eri puolilla maailmaa kuten Japanissa, Manner-Euroopassa ja neoliittisissä Tanskassa, Englannissa, Ranskassa, Saksassa, osassa Rooman valtakuntaa ja Skotlannissa. [61] Eurooppa on täynnä satoja vuosia vanhoja timber frame -menetelmällä rakennettuja rakennuksia kuten kartanoita, linnoja, yksityisiä omakotitaloja sekä kievareita. [62] Aasiassa on pystyssä temppeleitä, jotka on rakennettu vuosisatoja sitten. Vanhimmat Euroopassa pystyssä olevat rakennukset ovat Ranskassa 1100-luvulta. Timber frame -rakentaminen on ollut suosittua historian saatossa alueilla, jossa on paljon lehtimetsää, kuten esimerkiksi tammea. Baltian maat ja Etelä-Ruotsi ovat pohjoisimpia alueita, jossa rakentamista on esiintynyt. Tätä pohjoisemmalla on ollut suosiksi kasvavia havupuita kuten kuusta ja mäntyä runsaasti tarjolla. Tästä syystä timber frame -rakentaminen on ollut harvinaista Suomessa, Venäjällä, Pohjois-Ruotsissa ja Norjassa. Kyseisillä alueilla on suosittu hirsirakentamista. [63]

Timber Frame -tekniikalla on Suomessa kuitenkin rakennettu mm. kaksikerroksisen, 1800-neliöninen kauppakeskus Strand Inkooseen, 600-neliöninen pienkerrostalo Leville.

Biolan Oy:n pääkonttori Eurassa on Suomen suurin pilaripalkkitekniikalla toteutettu puurunkoinen talo. Rakennuksessa on myös pinta-alaltaan Pohjoismaiden suurin ruokokatto. [64]



Kuva 16 Biolan Oy pääkonttori. (Biolan Oy). [65]

Timber frame tai palkki-pilarirakentaminen tarkoittaa nimensä mukaisesti rakennuksen kantavan rakenteen rakentamista massiivipuurakenteista. Menetelmän avulla on ollut mahdollista rakentaa rakennuksia, jotka kestävät merkittäviä kuormia uhraamatta liikaa sisätiloja pilareille. Perinteisten massiivipuurakenteiden rakennusosien rinnalle ovat tulleet teollisesti valmistetut liimapuupalkit. Liimapuupalkkien käyttäminen on mahdollistanut vanhojen käsin veistettyjen liitokappaleiden mallinnuksen kolmiulotteisesti tietokoneohjelmien avulla. Tietokoneen avulla suunnitellun liitoksen geometria voidaan viedä suoraan työstökoneelle, jolloin mittatarkkuus parantuu. [63]

Timber frame -rakentaminen vaatii työmaavaiheessa nostokaluston, jotta palkit ja pilarit saadaan nostettua paikoilleen. Tämä lisää työmaavaiheen kustannuksia. Rakentamiseen kuluu myös huomattavasti enemmän puutavaraa, kuin sahatavarasta rakennettaessa, koska runko kasataan hirsistä tai liimapalkeista. Massiivipuu- ja liimapuurakenteet ovat

kalliimpia kuin tavallinen sahatavara. Timber frame -rakentaminen on materiaalin ja menetelmien takia suhteellisen kallista, jonka takia se ei ole vielä yleistynyt.

9 Puurakentamisen suunnittelu

Kappaleessa käsitellään puurakentamisen erilaisia suunnitteluohjeita ja -ohjelmia. Puurakentamisen tulee täyttää kaikki samat rakennusmääräykset kuin muidenkin rakennusmateriaalien. Puutuotteille tämän lisäksi on asetettu palonkestävyysvaatimuksia, joita ei muilla materiaaleilla ole. Suunnitteluohjeet on sovellettu euroalueen yhteisistä eurokoodista ja niitä on täydennetty kansallisilla liitteillä. Puurakentamisen tuotanto on nykyisin teollista ja esivalmistusaste korkea, minkä takia suunnittelu on jo hyvin pitkällä rakentamisen alkaessa. Tässä luvussa esitellään joitain puurakentamista ohjaavia standardeja ja suunnitteluohjeita.

9.1 RunkoPES

RunkoPES on avoin puuelementtistandardi, jossa on esitetty toteutusmenetelmiä puuelementtirakentamisen vakioimiseksi. Standardoimisen tarkoituksena on yhtenäistää tuotteita ja toimintatapoja eri palveluntarjoajien ja tuotteiden välillä. Tämä helpottaa tilaajien, suunnittelijoiden, tuottajien sekä toteuttajien keskinäistä kanssakäymistä. Standardoinnin ansiosta eri toimittajien tuotteet ovat keskenään yhteensopivia mikä tuo etuja rakentamisen eri vaiheisiin. Rakennus voidaan suunnitella yhteisien periaatteiden mukaisesti, jolloin ei ole merkitystä kuka toimittaa ja toteuttaa itse rakentamisen. Rakennusratkaisujen ollessa yhtenäiset eri puuelementtitoimittajat voidaan kilpailuttaa keskenään. Lopputuloskaan ei ole kiinni yhdestä toimittajasta, koska eri valmistajien tuotteet pystytään liittämään toisiinsa. [66, 1]

Standardia voidaan käyttää puurakentamiseen pientaloista kerrostaloihin voimassa olevien rakennusmääräysten mukaisesti. RunkoPES on ensisijaisesti suunniteltu suurelementeillä toteutettavaan asuntorakentamiseen, mutta siinä esitettyjä toteutustapoja voidaan soveltaa myös tilaelementeissä sekä ei-kantavissa rakenteissa. RunkoPES sisältää

periaatteellisia rakenneratkaisuja ja detaljeja sekä esimerkkejä molempien toteuttamiseen. Siinä vakioidaan mm. rakennepaksuudet, liittymien geometriat sekä moduulivii-vaston sijainti. Lisäksi siinä on esitetty vaaditut mittatarkkuudet, mallielementtikaavoi-ta sekä rakennetyyppi- ja liittymädetaljikirjastot. Standardi antaa yrityksille mahdolli-suuden kehittää omia yksityiskohtaisia rakenneratkaisuja, jotka toimivat yksin muiden standardia käyttävien yritysten kanssa. Rakenteiden mitoitus sekä rakenteiden palo-, ääni- ja kosteustekniset tarkastelut täytyy tehdä aina tapauskohtaisesti. [66, 1]

9.2 HalliPES

HalliPES on avoin puuelementtistandardi, joka määritelmillään vakioi suuren jännevälin erillisrunkoisten hallien sekä kantavaseinäisten rankarakenteisten hallien rungon ele-mentointia ja voimaliitoksia. Standardi käsittää tässä vaiheessa mm. teollisuushallit, kokoontumis- ja liikerakennukset sekä ratsastusmaneesit. Rakennukset voidaan toteuttaa standardin puitteissa erillisen rungon sisältävänä massiivipuurunkoisena hallina, jonka jänneväli on korkeintaan 32 metriä tai kantavalla rankarakennemallilla toteutettuna hal-lina, jonka jänneväli on korkeintaan 20 metriä. [67, 1]

HalliPES sisältää periaatteellisia rakenneratkaisuja ja detaljeja sekä esimerkkejä mo-lempien toteuttamiseen. Siinä vakioidaan mm. runkotyypit, elementtien liittymät, voi-maliitokset sekä moduulivii-vaston sijainti. Siinä on erilaiset rakennetyypit sekä liitty-mädetaljit. Voimaliitosten vakiointi antaa yrityksille mahdollisuuden kehittää omia yk-sityiskohtaisia rakenneratkaisuja, jotka voidaan yhdistää eri valmistajien elementtien kanssa. HalliPES antaa mahdollisuuden muuttaa esimerkiksi kannatintyyppejä, kehäja-koa ja rakennetyyppiä vapaasti, kunhan muutoksissa säilytetään vakioidut periaatteet. Rakenteiden mitoitus sekä rakenteiden palo-, ääni- ja kosteustekniset tarkastelut täytyy tehdä aina tapauskohtaisesti. [67, 1]

9.3 Liimapuukäsikirja

Ruotsalainen *Limträhandbok* julkaistiin ensimmäisen kerran vuonna 1979 ja siitä tuli nopeasti puurakentajien käyttämä suunnitteluopas, joka on käännetty myös suomeksi ja

norjaksi. Siitä muokattiin myös kansalliset versiot eri maiden määräyksiä varten. Vuonna 2003 julkaistiin ensimmäisen kerran suomenkielinen Liimapuukäsikirja. Vuonna 2011 käynnistettiin pohjoismainen yhteishanke, jossa Liimapuukäsikirjaa laajettiin ja sisältö päivitettiin vastaamaan eurokoodeja. Tuloksena oli kolme englanninkielistä käsikirjoitusta Liimapuukäsikirjasta, josta kukin osallistunut maa muokkasi ja julkaisi omat kansalliset teoksensa. Näissä käsikirjoissa huomioitiin kunkin maan eurokoodien kansallisten liitteiden määrittelemät parametrit. [67, 2–3]

Liimapuukäsikirja on kolmeosainen teos, josta ainoastaan ensimmäinen osa julkaistu myös painettuna versiona, muut on julkaistu ainoastaan sähköisesti. Ensimmäinen osa sisältää perustiedot liimapuun ominaisuuksista, valmistuksesta ja käytöstä rakentamisessa, jonka kohderyhmänä ovat pääasiassa rakennuttajat, suunnittelijat, rakentajat ja opiskelijat. Toisessa osassa annetaan perus- ja taustatiedot liimapuurakenteiden mitoitukselta, tämän teoksen pääasiallinen kohderyhmä ovat suunnittelijat ja opiskelijat. Kolmannessa osassa esitetään suppeasti mitoitusmenetelmät, joita selvennetään laskentaesimerkkien avulla. Tarkastelussa on erityisesti pitkien jännevälien rakenteet ja niiden liitosten suunnittelu. Lisäksi siinä käsitellään liimapuurakenteiden heikkojen kohtien vahvistamista. Liimapuukäsikirja on sisältää tietoa suunnittelijoille, viranomaisille sekä rakennusalan yrityksille. Sitä voidaan käyttää myös materiaalina rakennusalan opetuksessa eri oppiasteissa. [37, 2–3; 68, 2–3; 69, 2]

9.4 Eurokoodi 5 lyhennetty ohje

Lyhennetty puusuunnitteluohje on lyhennetty ja yksinkertaistettu Eurokoodi 5:stä. Suunnitteluohjeella voidaan mitoittaa tavanomaiset autotallit ja pientalot Suomessa. Sellaiset poikkileikkaukset, rakenneosat, liitokset, komponentit tai rakennejärjestelmät, joihin ei lyhennetyssä suunnitteluohjeessa ole esitetty suunnittelusääntöjä, noudatetaan suunnitteluohjetta RIL 205-2009 tai suunnittelustandardeja EN 1990, EN 1991 ja EN 1995. Eurokoodi 5:ssä tarkastellaan ainoastaan mekaanista kestävyyttä, käyttökelpoisuutta, säilyvyyttä sekä palonkestävyyttä. Muut vaatimukset kuten esimerkiksi lämmön- ja ääneneristävyys täytyy suunnitella erikseen. [70, 8-9]

Lyhennetyllä puusuunnitteluohjeen mitoitettaessa perusvaatimukset täytetään puurakenteiden osalta, kun rakenteet mitoitetaan rajatilan mukaan ja käytetään Eurokoodi 0:n sekä kansallisten liitteiden osavarmuuslukumenetelmää. Mitoituksessa käytetään kuormia sekä niiden yhdistelmät, jotka on määritelty Eurokoodi 1:ssä ja sen kansallisten liitteissä. Kestävyyksien, käyttökelpoisuuksien ja säilyvyyksien osalta tulee noudattaa Eurokoodi 5:ttä ja sen kansallista liitettä. [70; 8-9]

9.5 Rakentamismääräyskokoelma E1

Suomen rakentamismääräyskokoelma E1 Rakennusten paloturvallisuus luokittelee rakennukset kolmeen eri paloluokkaan P1, P2, ja P3, jossa P1-luokitellun rakennuksen vaatimukset ovat tiukimmat. Kantavat ja osastoivat rakennusosat jaetaan luokkiin niiden palonkeston perusteella. Vaatimuksia ovat kantavuus R, tiiviys E sekä tiiviys ja eristävyys EI. Merkintöjen jälkeen ilmoitetaan palonkestokestävyyksiaika yhdellä seuraavista luvuista: 15, 30, 60, 90, 120 tai 240. Tämä muodostaa rakennusosien paloluokan. Merkintää voidaan täydentää iskunkestävyydellä palotilanteessa M tunnuksella. [71, 5]

Suojaverhousluokkia kuvataan merkinnöillä: K₁ 10, K₂ 10, K₂ 30, K₂ 60. Määräyksissä suojaverhousluokkaa käytetään yleensä yhdessä rakennustarvikeluokkamerkinnän kanssa. Rakennusosat ja suojaverhoukset on tehtävä sellaisista rakennustarvikkeista, että ne kussakin käyttötilanteessa täyttävät tarvikkeille asetetut luokkavaatimukset. RakMK E1 määräyksissä käytetään luokkia K₂ 10 ja K₂ 30. [71, 5–6]

Rakennustarvikkeita lattiapäällysteitä lukuun ottamatta kuvataan merkinnöillä A1, A2, B, C, D, E ja F. Putkimaisille lämmöneristeille lisätään alaindeksiin numero 1 ja lattianpäällysteille kirjaimet FL. Savun tuotto ja palava pisarointi ilmaistaan lisämääreillä s ja d. Savun tuoton luokitus on s1, s2, s3 ja palavan pisaroinnin d0, d1, d2. Katteet jaetaan luokkiin sen mukaan, missä määrin niitä voidaan pitää ulkoisen syttymisvaaran suhteen vaikeasti syttyvinä ja hitaasti paloa levittävinä sekä miten ne suojaavat alustaansa syttymiseltä. RakMK E1 määräyksissä ja ohjeissa käytetään luokkaa B_{ROOF}(t2). [71, 5–6]

Puurakennuksille palomääräykset ovat samanlaiset kuin mistä tahansa muusta materiaalista rakennetulle. Tällä hetkellä kuitenkin puiset 3–8-kerroksiset asuinkerrostalot tulee

varustaa automaattisella sammutusjärjestelmällä. Näiden lisäksi rakennuksen ulkopuolisille osille annetaan vaatimuksia riippuen paloluokituksesta sekä kerroslukumäärästä. Helpotuksia vaatimukseen voidaan myös tietyin ehdoin myöntää, ja ne on kerrottu RakMK E1:ssä. [72]

Asuinrakennuksessa, jossa on 3–4 kerrosta, tulee automaattisen sammutusjärjestelmän täyttää SFS-5980 standardin 2-luokan vaatimustaso. Lisäksi huonetilojen seinä- ja kattopintojen suojaverhous tulla täyttää luokitus K₂ 10, A2-s1, d0. Jos kyseessä on 3–4 kerroksinen työpaikkarakennus tai 5–8-kerroksinen asuinrakennus, tulee automaattisen sammutusjärjestelmän täyttää SFS-EN 12845 standardin OH-luokan vaatimustaso ja sammutuskalusto tulee varustaa vähintään varmennetulla vesilähteellä. Lisäksi huonetilojen suojaverhous tulla täyttää luokitus K₂ 10, A2-s1, d0. [72]

9.6 Suunnitteluohjelmat

Ennen viivapiirto-ohjelmia rakennussuunnitelmat piirrettiin käsin. Piirtäminen oli aikaa vievää ja muutoksien tekeminen hankalaa. Helpotuksen tähän toi aikoinaan AutoCAD-tietokoneohjelma, jonka avulla oli mahdollista piirtää suunnitelmia tietokoneella. Nykyään suunnitelmat laaditaan jo yhä useammin kolmiulotteisilla suunnitteluohjelmilla. Suunnitteluohjelmista tietoa saadaan vietyä eteenpäin esimerkiksi tietomallina eri suunnittelualojen risteilykatselmuksia varten, jolloin mahdolliset ongelmat saadaan ratkaistua jo etukäteen, eikä niitä tarvitse ratkaista enää työmaalla. Ohjelmista saadaan myös geometriatietoa työstökoneita varten, jolloin ne voidaan viedä suoraan työstökoneille. Tuotantoprosesseja saadaan automatisoitua ja vähennettyä toistuvan työn määrää suunnittelussa ja toteutuksessa. Lisäksi on tarjolla monia mitoitusohjelmia, joita ei tässä opinnäytetyössä käsitellä.

9.6.1 AutoCAD

AutoCAD on Autodeskin kehittämä ja julkaisema tietokoneavusteisen suunnittelun ohjelmisto, jolla voidaan piirtää 2D- ja 3D-ympäristössä. Ohjelma piirtää vektorigrafiikkaa, jolloin sillä piirrettyjä viivoja ja objekteja voidaan skaalata helposti. AutoCADin

oma tiedostoformaatti on .dwg ja sen käyttämästä siirtoformaattista .dxf on tullut de facto-standardi usealla eri alalla. AutoCAD-ohjelmasta voidaan tuoda dataa ulos monessa muussa eri formaatissa. AutoCAD on ollut käytetyin tietokoneavusteinen suunnitteluohjelma maailmassa jo vuodesta 1986. [73]

AutoCAD on käännetty tällä hetkellä 13 eri kielelle, mutta käänntäso vaihtelee kielittäin. [74] AutoCAD-ohjelmaa voidaan yksilöidä ja automatisoida useiden eri API-pintojen avulla. AutoCAD-ohjelmalla on API-pinnat ainakin seuraavien kanssa: AutoLIPS, Visual LISP, VBA, .NET ja ObjectARX. AutoCAD-ohjelmaan on rakennettu juuri ObjectARX rajapinnan avulla AutoCAD Architecture ja AutoCAD Civil 3D, sisältävät valmiita objekteja ja työkaluja eri suunnittelijoille. Sen avulla voidaan myös luoda kolmannen osapuolen sovelluksia AutoCAD-ohjelman päälle ja jatkoksi. [73]

9.6.2 CADs

CADs on tietokoneavusteinen piirto-ohjelma, joka on suomalaisen Kyndata Oy:n kehittämä. Ohjelmassa on CADs-perusliittymä, jonka päälle on rakennettu erilaisia käyttöliittymiä eri suunnittelijoiden tarpeisiin kuten sähkö- ja automaatio, LVIA sekä arkkitehti- ja rakennesuunnittelu. Lisäksi ohjelmasta on tarjolla CADs Viewer, jolla voidaan pelkästään tarkastella dokumentteja. [75]

Rakennusalalle parhaiten sopii CADs tuoteperheestä CADs House. Ohjelmalla voidaan piirtää kaikki rakennusalalla tarvittavat piirustukset. Lupakuvia varten ohjelmalla piirretään rakennuksen pohjakuvat, joista sitten voidaan generoida tarvittavat leikkaukset ja julkisivukuvat, joiden yksityiskohtien viimeistely hoidetaan generoinnin jälkeen. Asemapiirroksen luomiseenkin löytyvät ohjelmasta erilliset työkalut ja CADs Rastan sovelluksen avulla voidaan esimerkiksi käyttää skannattua karttapohjaa, jolloin sitä ei tarvitse mallintaa erikseen. Jos kartta täytyy kuitenkin mallintaa, löytyy ohjelmasta kaikki yleisimmät karttamerkinnot. Rakennuksen suunnittelu tapahtuu ohjelmassa 2D:ssä, josta voidaan tarvittaessa muodostaa 3D-kuvanto. Ohjelma kerää tietoa suunnittelun aikana, ja käyttäjä voi lisätä haluamaansa tietoa, joita sitten voidaan listata järjestelmästä ulos myöhemmin. [76; 77]

CADS House toimii yleistyökaluna, kun tarvitaan tuottaa erilaisia rakennekuvia. Ohjelman avulla voidaan suunnitella kaikenlaisia rakenteita eri materiaaleista. Esimerkiksi puurunko voidaan määrittää automaattisesti arkkitehtipohjaan, mittamääriyksien avulla yksittäisinä linjoina tai yksittäisinä naamakuvantoina mittatietojen avulla. Pohjakuvassa olevat puurungot ovat käyttäjän muokattavissa ja niistä voidaan tehdä automaattisesti naamakuvannot sekä 3D-kuvanto. Hirsitalon suunnittelussa käytössä on dialogi, jonka avulla saadaan tarvittavat seinälinjat. Suunnitelmaan lisätään ikkunat ja ovet sekä pilarit, jonka jälkeen pohjakuva on valmis. Ohjelmisto huolehtii automaattisesti, että pohjakuvasiinä esitystapa vastaa seinän todellista geometriaa, hirsiyhtymiseen sekä aukkoineen. Puurunkojen sahatavarat ja hirret luetteloidut katkaisu- ja määräluetteloihin. Kattoristikoista on mahdollista tehdä esimerkiksi suoraan tilauslomake. [78; 79]

9.6.3 hsbCAD

hsbCAD on 3D-suunnitteluohjelmisto, joka on rakennettu AutoCAD-ohjelman lisäosaksi. Ohjelmassa on toimivat työstökeskuslinkit yleisimpiin puurakennusalan työstökeskuksiin. Ohjelmaa voidaan käyttää hirsitalojen, CLT-talojen, elementtitalojen, palkkipilaritalojen sekä kattorakenteiden suunnitteluun. [80]

Ohjelmalla pystytään mallintamaan kaikki yleisimmät palkit ja pilarit, joita rakennuksissa on. Ohjelmalla tuotetaan geometriatietoa, johon lisätään materiaaliominaisuudet. Rakennusosia voidaan lisätä malliin suoraan materiaalikirjastosta tai ne voidaan piirtää tarvittaessa itse. Ohjelma määrittelee rakennusosien liittokset automaattisesti tai ne voidaan muuttaa manuaalisesti halutun kaltaiseksi. Ohjelman materiaalikirjastosta löytyy valmiiksi erilaisia palkkeja, pilareita, liittoksia sekä rakennusmateriaalien ominaisuuksia. Käyttäjä voi myös laajentaa kirjastoa itse omilla rakennusosilla, materiaaleilla, liittoksilla sekä työkaluilla. [81]

Ohjelmassa on erilaisia dynaamisia komentoja, jotka helpottava suunnittelua ja mallin luomista. Rakenteita voidaan jakaa, liittää, venyttää tai luoda aukotuksia. Ohjelma huomioi automaattisesti muuttuneet rakenteet. Ohjelma ilmoittaa, jos jotkin rakenteet ovat risteilemässä keskenään. Rakennusosiin voidaan myös laskea nostopisteet sekä lisätä esimerkiksi läpiviennit ja eri tekniikoiden vaatimat aukotukset. Rakenteet voidaan nu-

meroita myöhempiä vaiheita varten, jotta rakennusosien tunnistaminen helpottuu. Rakennusosiin voidaan lisätä myös käyttäjän omaa tietoa, joka sitten voidaan tuoda ulos järjestelmästä eri formaateissa ja käsitellä erilaisissa ohjelmissa. Rakenteisiin voidaan myös lisätä erilaisia yksinkertaisia tekstuureja rakenteiden hahmottamisen helpottamiseksi. Ohjelmalla voidaan tuottaa BIM- ja IFC-dataa muita yhteensopivia järjestelmiä varten. [81]

Kun rakennusmalli on saatu valmiiksi, voidaan siitä tuoda ulos CNC-koneelle tarvittavat geometriatiedot työstöä varten. Rakennusosien tasokuvia voidaan tarvittaessa vielä erikseen muokata ennen niiden vientiä tuotantoon. Ohjelman avulla voidaan laskea kuinka materiaalit kannattaa työstää, jotta syntyy mahdollisimman vähän hukkamateriaalia. Seinä-, lattia- ja kattoelementeissä voi ohjelman avulla määrittää naulaukset, sahauset, jyrskinnät ja rei'itykset. Ohjelman avulla voidaan tuottaa myös yksittäisiä kappaleita, joita voidaan esimerkiksi kolottaa, jyrsiä ja sahata. [81]

Ohjelman avulla on mahdollista hallita myös tuotantoa. Tuotantoa voidaan optimoida muuttamalla työjärjestyksiä, jos havaitaan tuotannossa jokin pullonkaulan aiheuttava vaihe. Työstöjen järjestystäkin voidaan muuttaa, mikäli jotakin rakennusosaa tarvitaan aikaisemmin, kuin alun perin on suunniteltu. Näin tuotantoon saadaan joustavuutta. Ohjelma kerää ja tilastoi tietoa prosessin toiminnasta, jota analysoimalla voidaan parantaa linjastojen toimintaa ja tuottavuutta.

10 Puurakentamista edistäviä tekijöitä

Suomen väestö ikääntyy, mikä tarkoittaa, että suurempi osa ihmisistä muuttaa asumaan kerros- ja rivitaloihin. Lisäksi kaupunkilaistuminen on ollut trendi jo vuosien ajan, mikä myös lisää kerros- ja rivitaloasumista. Ihmisten vähentäessä pientaloasumista, mikä on ollut pitkään suurin puurakentamisen muoto, tulee puunkäyttö vähenemään rakentamisessa, ellei puurakentamista pyritä tietoisesti edistämään. Hallituksen 2016 kärkihankkeen *Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästä* yhtenä päätoimena on metsätietojärjestelmien ja sähköisten palveluiden kehittäminen, mikä luo perustaa puuteollisuuden ja rakentamisen edistämiseksi. Tässä luvussa käsitellään puurakentamisen edistämiskeinoja

ja sivutaan myös samalla puuteollisuuden edistämisen keinoja, koska alojen kehitys on vahvasti sidoksissa toisiinsa. [82; 83]

10.1 Puurakentamisen edistämishankkeet

Puurakentamista on lähihistoriassamme edistetty 1990-luvun alun Puurakentaminen 2000-ohjelmalla, Puurakentamisen teknologiaohjelmalla 1995–98, Puun vuodella 1996, Puun ajalla 1997–2000, Puu-Suomi toimintaohjelmalla 1998–2005, Puurakentamisen edistämishjelmalla 2004–2010 sekä Metsästrategisellä ohjelmalla 2011–2015. Näiden hankkeiden merkittävimpiä uudistuksia ovat olleet palomääräysvaatimusten keventäminen puurakentamisen osalta ja kahdeksan kerroksisen puukerrostalon rakentamisen mahdollistaminen. [84]

Tällä hetkellä voimassa olevalla hallituksen Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästäkärkihankkeella on tavoitteena monipuolistaa ja lisätä puun käyttöä sekä kasvattaa sen jalostusarvoa. Tavoitteet on tarkoitus saavuttaa lisäämällä puun tarjontaa sekä monipuolista käyttöä. Metsätilojen kokoja kasvatetaan, jotta saavutettaisiin yrittäjämäinen metsätalous sekä metsien hyvä hoito. Sukupolvenvaihdoksia on tarkoitus nopeuttaa sekä parantaa metsätilojen rakennetta verotuksellisilla keinoilla. Kehitetään metsätietopalvelua ja sähköisiä palveluita metsäteollisuuteen. Puurakentamisen säädöksiä puretaan, mikä edistää rakentamista. Edistetään investointeja metsäteollisuuteen ja mekaanista metsäteollisuutta. Lisäksi käynnistetään biotalouden tutkimus- ja innovaatiotoimintaa, joiden kokeiluja ja tuotteiden kaupallistumisia tuetaan pilotti- ja demo-ohjelmilla. [84]

Ympäristöministeriön alainen ARA eli Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus myöntää asumiseen ja rakentamiseen liittyviä avustuksia, tukia ja takauksia sekä ohjaa ja valvoo ARA-asuntokannan käyttöä. ARA on myös mukana asumisen kehittämiseen ja asuntomarkkinoiden asiantuntijuuteen liittyvissä hankkeissa ja tuottaa alan tietopalvelua. Suomessa puukerrostalorakentaminen on ollut paria poikkeusta lukuun ottamatta ARA-hankkeita. Hankkeiden avulla puurakentamisesta on saatu kokemusta ja osaamista rakennusurakoiden eri osapuolille. Osaamisen lisääntyessä puurakentamisen kustannukset alenevat ja materiaalin kilpailukyky muihin verrattuna paranee. [85]

Ympäristöministeriössä on ruvennut miettimään, kuinka rakennusmateriaalien ja -tuotteiden valmistuksesta aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä voitaisiin vähentää. Tällä hetkellä rakennusten hiilijalanjäljestä yli 60 prosenttia muodostuu käytön aikaisesta energian käytöstä ja vajaa 40 prosenttia elinkaaren muista vaiheista. Rakennusmateriaalien valmistaminen muodostaa neljänneksen rakennuksen hiilijalanjäljestä. Rakennuksien energiatehokkuuden parantuessa, rakennusmateriaali muodostaa yhä merkittävämman osan rakennuksen hiilijalanjäljestä. Tavoitteena on, että rakennusten hiilijalanjälki otetaan huomioon rakentamisen säädöksissä 2020-luvun puoliväliin mennessä. [86; 87, 94–95]

10.2 Suomeen sopiva puurakentaminen

Suomen väkiluku tulee kasvamaan vuoteen 2040 mennessä 5,8 miljoonaan asukkaaseen, mikä tarkoittaa, että Suomeen tulee rakentaa kaikkiaan 618 000 – 760 500 uutta asuntoa seuraavan 24 vuoden aikana. Arvioitua tarvetta voivat kuitenkin nostaa maahanmuuton synnyttämät tarpeet, jotka tulevat lisääntymään tulevaisuudessa yksinään jo ilmastonmuutoksen takia. Asuntorakentaminen ei pysy tällä hetkellä kaupunkilaistumisen tahdissa. Esimerkiksi Helsingissä vuosien 2012-2015 asuntotuoton tavoitteen 50 000 asunnon alarajasta jäätiin noin 5000 asunnon verran. Lisäksi Suomen kaupunkien keskustat alkavat olla rakennettu jo täyteen, joten kaupunkien asuintiheyttä voidaan nostaa joko purkamalla vanhoja rakennuksia ja rakentamalla suurempia tilalle tai rakentamalla mahdollisuuksien mukaan lisää kerroksia nykyisten päälle rakennuksissa. [88, 5–6, 15]

Suomessa puu on käytetyin materiaali tällä hetkellä omakotitalo- ja lomarakentamisessa, eikä näihin panostamalla saada puurakentamisen volyyymiä tai asuntotuotantoa enää kasvatettua suuria määriä. Rakentaminen näillä osa-alueilla tarvitsee uusia innovaatioita, koska etenkin omakotitalorakentaminen on menettänyt osuuksiaan tasaisesti muille materiaaleille 2000-luvulla. Puisten asuinkerrostalojen rakentaminen on lähtenyt 2010-luvun puolella välissä nousuun. Lisäksi liikerakennuksia on alettu rakentamaan yhä enemmän puusta.

Puukerrostalorakentaminen ei ole vielä lyönyt läpi asuntotuotannossa, mutta Suomessa on lähivuosien aikana mahdollisuus rakentaa tuhansia puukerrostaloasuntoja. Tällä hetkellä puukerrostalorakentamisen osuus on kuuden prosentin luokkaa [49]. Puuinfo suoritti elo-syyskuussa vuonna 2016 puukerrostalokyselyn, jolla haluttiin selvittää puukerrostalorakentamisen todellista tilaa ja konkreettisia keinoja hankkeiden käynnistymisen sujuvoittamiseksi. Kyselyn vastaukset olivat yhtenevät riippumatta rakennusurakan osapuolesta. Vastaajien mukaan tietoa ja kokemusta rakentamisesta on tällä hetkellä liian vähän. Puukerrostalorakentamisesta edistämiseksi kaivattaisiin lisää osaamisen urakan eri osapuolille sekä näyttöjä onnistuneita kohteista. Myös riskien ennakointiin ja hallintaan kaivataan lisää osaamista. Kohteista kaivataan lisää kustannustietoa ja niiden saatavuutta tulee parantaa. Puurakenteisiin kaivataan lisää standardoimista sekä kilpailua toimittajiin ja rakentajiin. Palomääräyksiä tulisi myös uudistaa nykyisestä, koska ne kasvattavat rakentamisen kustannuksia. [87]

Täydennys- ja lisäkerrosrakentaminen tarkoittaa nimensä mukaisesti jo olemassa olevien rakennuksien täydentämistä tai lisäkerroksien rakentamista niiden päälle. Näin voidaan hyödyntää jo olemassa olevaa infrastruktuuria, eikä kaupunkien tarvitse laajentaa asuinalueita. Tämän ansiosta etäisyydet palveluihin pysyvät lyhyinä, mikä vähentää liikennettä. Rakentamisen haittapuolena tulee samalla autopaikkojen vähyys, mikä kuitenkin ohjaa käyttämään enemmän ympäristöystävällisiä julkisia kulkuneuvoja. Puu sopii hyvin keveyden ja nopean rakennusajan ansiosta materiaaliksi lisärakentamiseen. Metsä Wood järjesti vuonna 2016 *The city above the city*-suunnittelukilpailun, jossa arkkitehtien oli tarkoitus suunnitella lisäkerrosrakentamista kaupunkeihin. [90; 91]

10.3 Puusuunnittelun kehittäminen

Suomessa on palanut historian aikana noin 260 kirkkoa. [92] Vuoden 1827 Turun palon seurauksena säädettiin vuonna 1856 kaupunkien yleinen rakennussääntö, joka salli kaupungeissa ainoastaan yksikerroksiset puurakennukset sekä suosi kivirakennuksien käyttöä niiden paloturvallisuuden vuoksi. Rakennusmääräykset olivat pitkään voimassa ja niiden purkaminen alkoi vasta 1990-luvulla, jolloin säädettiin uusi rakennuslaki sekä rakentamismääräyskokoelma E1 astui voimaan. Tämän jälkeen palomääräykset ovat uudistuneet jälleen 2010-luvulla tuoden lisää kevennyksiä puurakentamista koskeviin

rakennusmääräyksiin ja Rakennusmääräyskokoelman E1 Rakennusten paloturvallisuus on tarkoitus uudistua vuoden 2017 aikana. Ympäristöministeriö uudistaa kaikki rakennusmääräyskokoelmat vuoteen 2018 mennessä. [93, 12,17; 94]

Puuninfon puukerrostalokyselyssä tuli esille, että lisää tietoa ja osaamista kaivataan alalle. Tällä hetkellä Suomessa järjestetään toisen asteen puualan peruskoulutusta ammatillisissa oppilaitoksissa sekä aikuiskoulutusta useilla eri paikkakunnilla. Lisäksi Lappia ammattiopistolla on CLT-oppimisympäristö Kemissä. Ammattikorkeakouluissa puutekniikan insinööriksi voi opetella Lahdessa. Yliopistoissa puutekniikkaa opetetaan Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa sekä Lahden Aalto-yliopistossa. Lisäksi useissa ammattikorkeakouluissa ja yliopistoissa voi suorittaa vapaasti valittavia kursseja puuhun liittyen. [95; 96]

Vuonna 2015 Finnish Wood Researchin RunkoPES päivitettiin 2.0:ksi ja julkaistiin HalliPES 1.0. Molemmat ovat avoimia puuelementtistandardeja jotka vakioivat suunnittelua ja puuelementtirakentamista. Puusuunnittelu ja -rakentaminen kaipaavat lisää vakiointia, koska suunnittelu aiheuttaa tällä hetkellä kustannuksia, joita voidaan karsia yhtenäistämällä suunnittelua. Tällä hetkellä erityisesti ARA-rakentamisen kohteista saadaan kokemusta puusuunnitteluun, jolloin osataan kehittää toimivampia ratkaisuja.

10.4 Kustannussäästöjen luominen

Puukerrostalorakentamisessa kustannuksia syntyy mm. materiaalista, suunnittelusta, ääneneristyksestä, sääsuojauksesta sekä sprinklerijärjestelmästä. Myös kokemattomuus luo kustannuksia, koska rakentamisen prosessit eivät ole vielä, niin tehokkaita mitä muissa materiaaleissa. Kustannukset riippuvat myös rakennettavien kohteiden luonteesta, koska arkkitehtuuriset erikoiskohteet maksavat enemmän kuin perusasuntotuotanto. [97]

Suunnittelun kustannuksia on mahdollista alentaa kouluttamalla alalle lisää suunnittelijoita, koska se synnyttää kilpailua, joka taas alentaa markkinaehtoisesti kilpailua. Lisäksi koulutuksen lisääminen tuottaa lisää päteviä suunnittelijoita, jolloin puusuunnittelun harjoittelu ei tapahdu asiakkaan kustannuksella. Tämä kuitenkin edellyttää puu-

tekniikan koulutuksen sisällön olevan linjassa työelämän tarpeiden kanssa. Pätevistä puusuunnittelijoista ja suunnittelupalveluja tuottavista yrityksistä tulee laatia lista yhteen paikkaan. Kun toimijat ovat yhdessä paikassa, niin kilpailuttaminen on helpompaa, mikä luo yrityksille paineita tehostaa suunnittelua.

Puusta valmistettujen rakennusosien sekä elementtien täytyy olla sääsuojattuja niin pitkään, kunnes ne on asennettu paikoilleen ja suojattu vesikatteen alle sääsuojaan. Kuljetuksen aikana ne voidaan suojata muovilla, joka myös ansiosta ne ovat myös suojattuina työmaalla, jos jostain syystä syntyy tarve väliaikaiseen varastointiin ennen asentamista. Itse rakentaminen tapahtuu myös sääsuojassa, jolloin kosteuden pääsy rakenteisiin on epätodennäköistä. Kustannukset syntyvät rakentamisen aikaisen sääsuojan vuokratuista, mutta sen avulla ehkäistään rakentamisen aikaisten kosteusvaurioiden syntymistä. Sääsuojaus kuitenkin on kustannus, joka tulisi vaatia muiltakin rakennusmateriaaleilta, koska se parantaa rakentamisen laatua.

Suomen rakentamismääräyskokoelma E1:n vaatii tällä hetkellä käytännössä kipsilevyn ja sprinklerijärjestelmän 3-8 kerroksisiin rakennuksiin. Rakennusmääräyksiä keventämällä on mahdollista jättää CLT-rakenteisessa puukerrostalossa palomääräysten vaatimat kipsilevyt pois, koska massiivipuun hiiltyminen rajoittaa paloa tarpeeksi. Kipsilevyjen jättäminen asentamatta luo kustannussäästöjä. Määräyksien vaatima sprinklerijärjestelmä tekee rakennuksista muutenkin huomattavasti turvallisemmaksi verrattuna rakennukseen, jossa ei järjestelmää ole. Sprinklerijärjestelmän aiheuttamia kustannuksia on mahdollista alentaa keskittämällä puurakentaminen omalle alueelleen, kuten esimerkiksi Helsingin Jätkäsaaren Wood Cityssä on tehty. [98] Tällöin sprinklerijärjestelmävaatimuksen tuomia kustannuksia on mahdollista alentaa keskittämällä puukerrostalokorttelin sprinklerijärjestelmät yhden pumppaamon alle, joka tuottaa tarvittavan paineen kaikille rakennuksille kerralla. Näin säästöä syntyy pumppuhankinnoista sekä erityisesti huoltokustannuksista. [99]

10.5 Hukkamateriaalien hyödyntäminen

Riippumatta puurakentamisen tyypistä, voidaan puun hukkapalat käyttää hyväksi energiantuotannossa polttamalla. Esimerkiksi sahalla tukkien tilavuudesta saadaan noin puo-

let jalostettua sahatavaraksi ja lopusta muodostuu sivutuotteita kuten haketta, kuorta ja purua. Hakkeesta voidaan valmistaa sellumassaa sekä paperia samoin kuin purusta, jota voidaan käyttää lisäksi lastu- ja kuitulevyihin sekä energian tuotantoon. Puun kuori käytetään myös energian tuotantoon. Tällä hetkellä esimerkiksi Metsä Woodin Lohjalla sijaitseva saha on omavarainen bioenergian suhteen ja pystyy jopa myymään sitä ulospäin. [100, 18]

Puun hukkamateriaalien hyödyntämisessä tulee panostaa metsäjalostamoihin. Rakennusteollisuudelle materiaalia tuottavan sahatavateollisuuden yhteyteen liitetään eri toimijoita massa-, paperi-, kartonki- ja energiateollisuudesta. Lisäksi myös samaan klusteriin täytyy liittää erilaisia biojalostamoita sekä tutkijoita eri aloilta, jotta saadaan mahdollisimman hyvin keskitettyä alojen osaamista. Eri alojen keskinäiseen kanssakäymiseen ja tiedonvaihtoon täytyy panostaa, jotta voidaan luoda innovaatioiden syntymiselle mahdollisimman otolliset oltavat. Jalostamoiden avulla saadaan hyödynnettyä puu kokonaisvaltaisesti paremmin, jolloin Suomen metsistä saadaan enemmän irti. [101, 25–28]

Jos hukkaa halutaan minimoida, niin rakentaminen kannattaa toteuttaa elementeistä, koska tehtaissa puutavaran käyttö on yleensä pitkälle optimoitu. Jos kuitenkin rakennus halutaan rakentaa sahatavarasta, niin hukan syntyminen voidaan minimoida rakentamalla *precut*-rakennustarvikkeista. Sahatavaran ollessa valmiiksi oikeanmittaista syntyy hyvin vähän hukkaa, mutta tällöin suunnittelun ja toimituksen sisällön tärkeys korostuvat. Lisäksi kokoavan työporukan ammattitaito sekä keskittyminen ovat tärkeitä, jotta oikea sahatavaraa käytetään oikeaan paikkaan.

Elementtituotannosta syntyy myös hukkamateriaaleja, kuten esimerkiksi CLT-elementtien tuotannossa ovien ja ikkunoiden kohdista syntyy hukkal levyä. Tällä hetkellä hukkamateriaalista suuri osa murskataan ja hyödynnetään energian tuotannossa. Parempi jalostusaste saataisiin kuitenkin, jos levyt pyrittäisiin hyödyntämään paremmin. Levyistä pystyisi valmistamaan helposti kalusteita sisä- tai ulkokäyttöön kuten pöytiä ja tuoleja. Levyjen massiivisuus vaatii teollisen luokan työstökoneet, minkä takia materiaalia ei ole helppo käsitellä pienemmissä verstaissa. [102]

10.6 Puurakentamisen vienti

Suomen puutuotealan merkittävin vientituote ulkomaille on puutavara, joka on sahattu ja höylätty. Sen osuus on vuonna 2016 on noin 1,6 mrd. euroa eli 65 prosenttia koko puutavaratuotteiden viennistä. Lisäksi myös rakennuspuusepäntuotteita ja huonekaluja viedään jonkin verran ulkomaille. Suomalainen sahateollisuus on selvittämässä Kiinan ja Aasian markkinoita, jotka ovat olleet kasvussa. Sahatavaran viennin kasvu on välttämätöntä, jos Suomessa halutaan kasvattaa sellun ja biojalosteiden tuotantoa, koska sahateollisuus on merkittävä raaka-ainetoimittaja suomalaiselle selluteollisuudelle ja biojalostamoille. Sahatavaran myyntiä voisi suunnata enemmän suoraan loppukäyttäjille, esimerkiksi huonekalutehtaille maahantuojien sijaan. Suorien kontaktien kautta voisi löytää paremmin myös jalostettujen tuotteiden markkinoita, jolloin jalostusarvo Suomessa voitaisiin jonkin verran kasvattaa. [103, 22]

Jalostettujen puutuotteiden vientiä ei ole vielä saatu merkittäväksi, koska tuotteet ovat jääneet usein kilpailemaan kotimaahan keskenään. Rakennuspuusepän tuotteissa, jossa merkittävimmät vientituotteet ovat mm. ovet ja hirsitalot, vienti on kuitenkin tuontia suurempaa. Viennin arvo oli 161 miljoonaa euroa ja tuonti 48 miljoonaa euroa. Insinööripuutuotteista liimatut puutuotteet ovat saavuttaneet kuitenkin jo merkittäviä vientituloksia. Tuotteita viedään eniten Japaniin, jossa puurakentamisen määräyksiä ollaan uudistamassa. Liimattujen puutuotteiden vienti on logistisesti kannattavampaa kuin sahatavaran, koska samassa tilavuudessa voidaan kuljettaa enemmän tavaroita, joiden jalostusarvo on suurempi. Insinööripuutuotteissa veden osuus on pienempi, jolloin ulkomaille rahdattavan veden määrä on vähäisempi, mikä tarkoittaa kevyempiä rahteja [103, 22]

Puutuoteteollisuuden viennissä tulisi keskittyä suurempiin kokonaisuuksiin, jotta ulkomaille voidaan viedä kokonaisia rakennusprojekteja. Projektit voisivat olla esimerkiksi kokonaisia asuinalueita. Suomessa valmistettaisiin rakennusosat, jotka sitten ulkomalainen rakentaja pystyttäisi. Perusratkaisuja osataan tuottaa muissakin muissa, joten viennin täytyisi erikoistua ja vastata kohdemaan kysyntää. Valmistajien tulisi huomioida paikalliset tarpeet ja tottumukset suunnittelussa sekä yhteistyössä paikallisten rakennusyritysten ja kaavoittajien kanssa. Tuotteiden räätälöinnillä kohdemaan mukaan saavutetaan todennäköisesti parempi kilpailukyky. [103, 23]

11 Johtopäätökset

Opinnäytetyön yhteydessä materiaaliin perehtymisen perusteella puurakentamista on helpointa kasvattaa lisäämällä erityisesti CLT-valmisteisista tilaelementeistä rakennettujen puukerrostalojen määrää, koska ihmiset ovat tulevaisuudessa muuttamassa kaupunkeihin, jolloin tarvitaan paljon uutta asuntotuotantoa. Tulevaisuudessa puun suhteellinen osuus kaikesta rakentamisesta saattaa vähentyä, vaikka absoluuttisen rakentamisen määrä tuleekin todennäköisesti nousemaan. Tämä johtuu muun rakentamisen volyymin kasvamisesta verrattuna puurakentamisen määrän kasvuun. Tällä hetkellä suuri osa puukerrostalojen rakentamisesta on ollut ARA-rakentamista.

Puukerrostalojen ARA-rakentamisella kannattaa tuottaa osaamista niin pitkään, että markkinaehtoinen kilpailu jatkaa tuotekehittelyä. Puurakentaminenkin on samanlaista liiketoimintaa, kuin muukin rakentaminen, joten täytyy siitä saada aidosti kannattavaa. Kun markkinoille saadaan uusi vertainen materiaali, alentuu kaiken rakentamisen hintaa. Muiden materiaalien on pakko alkaa panostamaan tuotekehittelyyn, jos he haluavat pysyä mukana kilpailussa markkinaosuuksista. Tuotekehittely ja innovaatiot luovat myös työpaikkoja ja tehostavat rakentamista. Kun puurakentaminen on saatu markkinaehtoiseksi, kannattaa edistyshankkeiden painopiste siirtää puun jatkojalostustuotteiden kehitykseen.

Tulevaisuudessa päätöksenteossa ympäristötekijät tulevat korostumaan, jolloin hiilenva-
rastoituminen puurakenteisiin antaa puulle kilpailuedun muihin materiaaleihin verrattuna. Ei ole mahdotonta, että suuresta hiilijalanjäljestä voidaan alkaa periä maksua. Tämä tarvitsee kuitenkin taakseen määräyksiä, koska rakennusteollisuus rakentaa siitä, missä on paras kate. Kuluttajat alkavat luultavammin kiinnostumaan vähitellen ympäristöystävällisyydestä yhä enemmän, jolloin puukerrostaloille syntyy markkinoita myös hiilijalanjälkensä takia. Markkinoita olisi mahdollista edistää perustamalla esimerkiksi yhdistys tai palvelu, jonka avulla ympäristöystävällisyydestä kiinnostuneet ihmiset pystyisivät löytämään toisensa ja mahdollisesti jopa rakennuttamaan itselleen kerrostalon.

Julkinen puurakentaminen on tällä hetkellä keskittynyt arkkitehtisesti näyttäviin rakennuksiin, kuten museoihin ja kirjastoihin. Tällainen tuo suomalaiselle puurakentamiselle

ja sen suunnitelleelle arkkitehtitoimistolle näkyvyyttä. Paremmiin kuitenkin saadaan tuotettua rakennusteollisuudelle hyödyllistä tietoa ja kokemusta rakentamalla esimerkiksi puisia virasto- ja toimistotaloja. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskuskin toivoo hakijoiltaan tällä hetkellä ”maa- ja muistomerkkirakentamisen” sijasta perustuotantoa. Kun puurakentamiseen on saatu luotua tarpeeksi osaamista ja vakioituneita rakenneratkaisuja, voidaan puusta alkaa suunnitella monimutkaisempia rakennuksia. Ennen sitä kokeileva rakentaminen tulee jättää yksityisen puolen osaksi esimerkiksi erilaisiin yritysten päärakennuksiin.

Suomeen tulisi järjestää lisää puurakentamiseen liittyvää koulutusta kaikille oppisasteille. Aloituspaiikkojen lisäksi tarvitaan lisäkoulutusta jo työelämässä oleville suunnittelijoille ja työnjohtajille. Lahden ammattikorkeakoulun lisäksi olisi syytä kartoittaa tarvetta perustaa toinen puutekniikan insinööritutkintoon johtava koulutusohjelma pohjoisemmaksi. Koulutuksessa tulee panostaa laatuun eikä määrään. Täydennyskoulutuksesta saadaan suurempi hyöty irti, kun kurssit ja materiaalit keskitetään verkkoon suoritettavaksi itsenäisesti. Opetusmateriaalin sisältö tulee suunnitella yhteistyössä eri puuteollisuuden sekä opetuksen ammattilaisten kanssa yhdessä, jotta saadaan käytettyä hyväksi molempien osapuolien parhaat puolet. Opetuksen tulisi olla insinöörikoulutukseen tähtäävä tai -mallinen, jotta se konkretisoituu mahdollisimman hyvin käytäntöön.

Opetusmateriaalin kuvaaminen tulee toteuttaa nykytekniikalla ammattilaisten kuvaamana, jotta se saavuttaa tarvittavan uskottavuuden. Lähiopetuksen määrä voidaan jättää vähäiseksi, kun keskitytään laadukkaaseen sisältöön ja selkeään toteutukseen. Opintojakson läpi vieminen tapahtuisi valittuna ajanjaksona, jota tahdittaa videoiden esillä oleminen verkossa. Oppimateriaalin täytyy olla sähköisesti käytettävissä, kirjastosta tai ostettavissa esimerkiksi verkkokaupasta, jolloin se sisältyisi kurssin hintaan. Opetuksesta täytyy tehdä normaaliin tapaan muistiinpanoja ja harjoituksia, jotka voivat olla sähköisiä tai ne täytyy vähintään voida palauttaa sähköisesti. Asioiden oppiminen todennetaan kokeilla, jotka voi suorittaa ohjelmassa mukana olevien ammattikorkeakoulujen tai yliopistojen tiloissa valvonnan alla.

Puusuunnittelua on mahdollista kehittää ja tehostaa myös erilaisilla suunnitteluohjelmilla. Nykyaikaisilla suunnitteluohjelmilla voidaan suunnitella kolmiulotteisessa ympäristössä, jolloin rakenteet ovat koko ajan mahdollista hahmottaa visuaalisesti. Esimerkiksi

hsbCAD-ohjelmassa suunnittelun tukena on automatisoituja toimintoja käytettäväksi liitoksien ja rakenteiden suunnittelussa. Automatisoidut toiminnot vähentävät turhaa suunnittelua, kun ohjelma pystyy päivittämään automaattisesti muutokset. Lisäksi suunnittelussa tulisi panostaa eri alojen väliseen yhteistyöhön. Näin voidaan löytää toisiaan hyödyttäviä yhteistyökuvioita perinteisten sidosryhmien ulkopuolelta.

Tulevaisuudessa merkittäviä puusta saatavia tuotteita voivat olla esimerkiksi puun polymeereistä valmistettavat biohiilet, joiden avulla voitaisiin kehittää juomaveden ja teollisuuden päästöjen puhdistamiseen tarkoitettuja aktiivihiilisuodattimia. Tuohen väriaineesta betuliinista voidaan valmistaa biomuoveja sekä sen lääkinälliset ominaisuudet ovat lupaavat. Se on estänyt mikrobien ja syöpäsolujen kasvua sekä vaikuttaa malariaa aiheuttaviin loisiin kuin myös eräisiin viruksiin, kuten hi-virukseen. Tutkimustyö on kuitenkin vasta meneillään Selluloosasta kehitetyt kuidut pystyvät tulevaisuudessa mahdollisesti korvaamaan nykyiset tekokuidut. Puun kuoresta voidaan tuottaa tanniinia, jolla voidaan esimerkiksi korvata rakennusteollisuudessa käytettäviä eristevaahtojen öljypohjaisia aineksia. Nanomittaluokan sellun avulla on mahdollista kasvattaa kantasoluista solumalleja tutkimustarkoituksiin. Lisäksi siitä on mahdollista valmistaa terästä lujempaa kuitua ja komponentteja elektroniikkaan. [104, 24–27] Juuri eri alojen yhdistäminen yhden katon alle luo tulevaisuuden vientituotteita, koska tuotekehityksien perinteisiä rajoja saadaan rikottua.

Käyttämällä suomalaisia puumuotoilijoita ja -suunnittelijoita olisi tuotteista mahdollista saada luotua esimerkiksi design-tuotteita. Tällä hetkellä tuotteita, jotka on muotoiltu CLT-levyistä, ei ole hirveästi markkinoilla. Eri CLT-tuottajat voisivat järjestää keskenään kilpailuja, joissa aina palkitaan vuoden CLT-hukkalevyn innovaatio. Tämä edistäisi innovaatioiden syntymistä ja alan toimijoita lähemmäksi toisiaan. Yrityksen voivat luoda tuotteistaan prototyyppien avulla kuvaston, jonka avulla voidaan luoda verkko-kaupat. Tuotteet valmistetaan tilauksien perusteella, jolloin niitä ei tarvitse olla jatkuvasti saatavilla, mikä minimoi varastoinnin tarpeen. Erilaisia tuotteita voisivat olla juuri erilaiset kalusteet sekä tilataide.

12 Pohdinta

12.1 Tulosten tarkastelu suhteessa tavoitteisiin

Opinnäytetyön tekoprosessin aikana puurakentamisesta löydettiin ongelmakohtia kustannuksien muodostumisesta sekä kokemuksen ja osaamisen puutteesta. Puurakentamisesta ei ole vielä tarpeeksi kokemusta, että olisi syntynyt tarpeeksi kilpailua alentamaan puurakentamisen hintaa. Kunhan puurakentamisesta saadaan lisää kokemusta ja onnistuneita kohteita, alkaa alalle syntyään kilpailua, jolloin se alkaa kehittymään vertaiseksi muiden materiaalien kanssa ja tarjouksiin voidaan esittää myös puurakentamista.

Opinnäytetyötä tehdessä saatiin kartoitettua puun erilaisia haasteita sekä mahdollisuuksia ja käyttökohteita. Opinnäytetyön johtopäätöksenä puurakentamista on järkevintä lisätä CLT-tilaelementeistä valmistetuilla kerrostaloilla, koska tulevaisuudessa niille tulee olemaan eniten kysyntää, jolloin myös puukerrostalorakentamisen kehittäminen on järkevää. Puurakentamisen avulla on mahdollista tulevaisuudessa sitoa rakennuksiin hiilidioksidia huomattavasti enemmän ja vähentää rakennusaineiden käyttöä, joiden valmistaminen tuottaa sitä paljon. Rakentamisen edistäminen on kannattavaa myös suuren kotimaisuusasteen takia, jolloin sen taloudelliset vaikutukset kohdistuvat juuri Suomen talouteen.

12.2 Tutkimusetiikka

Opinnäytetyössä on käytetty lähinnä sähköisistä lähteistä löydettyjä teoksia, joten kirjalliset lähteet ovat hyvin rajalliset. Toisaalta mielestäni sähköinen julkaiseminen on tulevaisuutta, joten nykyaikaisten menetelmien käyttäminen harjaannutti opinnäytetyön aikana käyttämään erilaisia hakutyökaluja tiedon etsimiseen. Lähteitä on vuosilta 1971 – 2016, joten opinnäytetyössä ei ole käytetty pelkästään uusimpia julkaisuja.

Opinnäytetyöprosessi kesti huomattavan pitkän ajan eli kaksi vuotta. Opinnäytetyön merkittävyyttä vähentävät tuona aikana julkaistut teokset, joten se ei tuo hyvin paljoa uutta sisältöä. Varsinkin loppuvuoden 2016 julkaisut ovat myrkyä opinnäytetyön sisäl-

lölle. Kuitenkin suurin hyöty siitä on ollut kirjoittajalle kasvukokemuksena ja sen aikana saatiin monta hyvää ideaa.

12.3 Oppimisprosessi

Opinnäytetyön tekoprosessin aikana aihe todettiin liian laajaksi opinnäytetyötä varten. Paljon suppeampi aihe olisi toiminut paljon paremmin, mutta tämä opinnäyte antaa laaja-alaisen katsauksen puurakentamiseen. Suppeammassa opinnäytetyössä olisi kuitenkin voinut pureutua syvällisemmin aiheeseen, jolloin se olisi tuottanut teknillisempää tietoa. Lisäksi opinnäytetyön tekemisen aikana julkaistiin raportteja ja tutkimuksia, jotka ovat lähellä opinnäytetyön aihetta. Opinnäytetyön aikana kuitenkin opittiin todella paljon kirjoittamisesta, lähteiden etsimisestä sekä merkitsemisestä.

12.4 Käytettävyys ja kehitysehdotukset

Opinnäytetyön ymmärtäminen voi vaatia pientä perehtyneisyyttä rakennusalaan, jotta opinnäytetyössä kaikki käytetyt termit aukeavat oikealla tavalla lukijalle. Työssä on kuitenkin pyritty kertomaan kaikki tarpeellinen mahdollisimman selkeästi, jotta mahdollisimman moni ihminen voisi käyttää sitä hyödykseen. Parhaiten opinnäytetyöstä saadaan hyöty irti, kun alaa opiskelevan täytyy saada yleiskuva puurakentamisesta.

Opinnäytetyön aikana vastaan tuli hyvin monesta eri lähteestä, että puurakenteisten kerrostalojen sisäilma on miellyttävämpi puun kosteuden sitomiskyvyn takia. Lähteitä tälle väitteelle on niukasti tarjolla laboratorion ulkopuolelta, joten asiaa täytyy tutkia dataloggereiden avulla erilaisissa valmistuneissa kohteissa. Todellinen vaikutus sisäilmaan ei luultavasti ole kovin merkittävä, koska puupinta-alaa ei ole rakennuksissa tarpeeksi sitomaan kosteutta riittävästi.

Puurakentamisen yhdistystoiminnan tulisi ottaa näkyvämpi rooli puurakentamisen edistämässä esimerkiksi teettämällä puolueettomia tutkimuksia puurakentamisen eri ominaisuuksista ja antamalla lausuntoja mediaan, jotta ala saisi lisää näkyvyyttä ja näin enemmän mielikuiva. Kaikissa ulostuloissa tulee kuitenkin välttää eri materiaalien vastakkain asettelua, koska se ei edistä rakennusalaan millään tavalla.

Lähteet

1. Puuinfo. Puurakentaminen ja ekologinen kestävyys. Puuinfo Oy. 2016. <http://www.puuinfo.fi/node/1505>. 7.12.2016.
2. Viljakainen M., Alppi A. & Valkama A-M. Avoin puurakennusjärjestelmä – Paikallaan rakentaminen. Wood Focus Oy. 2005. <http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/avoin-puurakennusjarjestelma-suunnitteluperusteet/suunnitteluperusteetkokooohje.pdf>. 7.12.2016.
3. Purdy S. Suomalainen moderni puuasuntorakentaminen 1990 - ja 2000 -lukujen vaihteessa. Tapausesimerkinä Niiralan Kulma Oy:n modernit puuvuokratat Kuopiossa. Jyväskylän yliopisto. Humanistinen tiedekunta. Pro Gradu - tutkielma. 2010. <https://jyx.jyu.fi/dspace/bitstream/handle/123456789/25316/URN:NBN:fi:jyu-201010012828.pdf?sequence=1>. 7.12.2016.
4. Luonnonvarakeskus (Luke). Valtakunnan metsien inventointi: Puuvarat mahdollistavat hakkuiden lisäyksen. Luonnonvarakeskus (Luke). 2015. <https://www.luke.fi/uutiset/valtakunnan-metsien-inventointi-puuvarat-mahdollistavat-hakkuiden-lisayksen/>. 21.11.2016.
5. Wood Products. Puurakenteiden pitkäaikaiskestävyys. Puuinfo Oy. 2016. <http://www.woodproducts.fi/fi/content/puusta-rakentaminen-3>. 11.11.2016.
6. Perinnemestari. Kattojen historia kivikaudelta peltikattoon. Mediatehdas Dakar Oy. 2016. <http://www.perinnemestari.fi/index.php?id=65&id2=102&id3=172>. 7.12.2016.
7. Pakkanen E. & Leikola M. Puu perille ja käyttöön. Hämeenlinna: Karisto. 2011.
8. Rakentajan Tietokirjat. Hirsitalon rakentaminen - Talonrakentajan käsikirja 3. Saarijärvi: Rakentajan Tietokirjat Oy. 2006.
9. Metsäteollisuus. Terva oli ensimmäinen metsästä saatu menestystuote. Metsäteollisuus ry. 2013. <https://www.metsateollisuus.fi/tietoa-alasta/metsateollisuus-suomessa/historia/Terva-oli-ensimmainen-metsasta-saatu-menestystuote-1201.html>. 7.12.2016.
10. Arkistojen portti. Teema: Sahateollisuus. Arkistolaitos. 2016. http://wiki.narc.fi/portti/index.php/Teema:_Sahateollisuus. 19.11.2016.
11. Luonnonvarakeskus (Luke). Luotettavia metsävaratietoja 1920-luvulta lähtien. Luonnonvarakeskus (Luke). 2015. <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/info.htm>. 7.12.2016.
12. Luonnonvarakeskus (Luke). Metsätilastollinen vuosikirja 2014. Tampere: Tammerprint Oy. 2014.
13. Tilastokeskus. Suomi lukuina 2016. Helsinki: Grano Oy. 2016.
14. Luonnonvarakeskus (Luke). Liitteet tiedotteeseen 18.3.2015. Luonnonvarakeskus (Luke). 2015. <https://www.luke.fi/wp-content/uploads/2015/03/Taulukkoliite.pdf>. 7.12.2016.
15. Puuinfo. Puurakenteissa hiili säilyy pitkään. Puuinfo Oy. 2016. <http://www.puuinfo.fi/puutieto/ymp%C3%A4rist%C3%B6-ja-resurssitehokkuus/puurakenteissa-hiili-s%C3%A4ilyy-pitk%C3%A4n>. 7.12.2016.
16. Wood Products. Story of wood. Puuinfo Oy. 2015. http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/Story-of-wood_EN-06022015-v1_lowres-100dpi-700px-wide.pdf. 29.10.2016.

17. Sakuragawa, S., Kaneko, T. & Miyazaki, Y. Effects of contact with wood on blood pressure and subjective evaluation. The Japan Wood Research Society. *Journal of Wood Science* 54(2). Japan. Springer Japan. 107-113. 2008.
18. Sakuragawa, S., Miyazaki, Y., Kaneko, T. & Makita, T. Influence of wood wall panels on physiological and psychological responses. The Japan Wood Research Society. *Journal of Wood Science* 51(2). Japan. Springer Japan. 136-140. 2005.
19. Muilu-Mäkelä R., Haavisto M. & Uusitalo J. Puumateriaalien terveysvaikutukset sisäkäytössä -kirjallisuuskatsaus. Metsäntutkimuslaitos. 2014. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp320.htm>. 30.10.2016.
20. Nyrud, A., Bringlismark, T. Bysheim, K. Benefits from wood interior in a hospital room: a preference study. Dean, Faculty of Architecture, Design & Planning. *Architectural Science Review* 57(2). Sydney: The University of Sydney. 125—131. 2014.
21. Grote, V., Lackner, H., Muhry, F., Trapp, M. & Moser, M. Evaluation der Auswirkungen eines Zirbenholzumfeldes auf Kreislauf, Schlaf, Befinden und vegetative Regulation. Joanneum research Institut für Nichtinvasive Diagnostik. 2003. <http://www.4betterdays.com/media/pdf/Joanneum-Forschungsbericht-Langfassung.pdf>. 7.12.2016
22. Lääkärilehti. Sykeväliden mittaus on helppoa, tulkinta vaikeaa. Lääkärilehti. 2012. <http://www.laakarilehti.fi/ajassa/ajankohtaista/sykevalien-mittaus-8232-on-helppoa-tulkinta-vaikeaa/>. 7.12.2016.
23. Puuinfo. Kosteusteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo Oy. 2016. <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/kosteusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. 30.10.2016.
24. Puuproffa. Puutieto: Puun rakenne - Lujuus. Pro Puu ry. 2012. http://www.puuproffa.fi/PuuProffa_2012/7/puun-rakenne/lujuus. 30.10.2016.
25. Puuinfo. Lujuusteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo Oy. 2016. <http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/lujuusteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. 30.10.2016.
26. Salonvaara M., Ojanen T., Holm A., Künzel H. M. & Karagiozis A. N. Moisture Buffering Effects on Indoor Air Quality— Experimental and Simulation Results. ASHRAE. 2004. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.470.7518&rep=rep1&type=pdf>. 30.10.2016.
27. Rakennustieto. Ohjekortti RT 82-11168 Hirsitalon suunnitteluperusteet. Rakennustieto Oy. 2014. <https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5guoZSPW8%3A%2447%2411168%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-111356/11168.pd>. 29.10.2016.
28. Wood Products. Puun kosteusteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo Oy. 2016. <http://www.woodproducts.fi/fi/content/puu-materiaalina-2>. 1.11.2016.
29. Rakennustieto. Ohjekortti RT 82-11168 Puutavara: Sahattu, höylätty ja jatkojalosteet. Rakennustieto Oy. 2009. <https://www.rakennustieto.fi/bin/get/id/5guoZSPW8%3A%2447%2410978%2446%24pdf.0.0.5gunJ4yOi%3A%2447%24handlers%2447%24net%2447%24statistics%2495%24download%2495%24pdf%2446%24stato.5gv06pzjY%3AC1-103553/10978.pdf>. 31.10.2016.
30. Wood Products. Puun lämpötekniisiä ominaisuuksia. Puuinfo Oy. 2016. <http://www.woodproducts.fi/fi/content/puu-materiaalina-5>. 30.10.2016.

31. Peda.net. Fysiikka taulukot. Peda.net. 2016.
<https://peda.net/sonkajarvi/lkl/fysiikka-ja-kemia/8a-fysiikka/efysiikka-82/taulukot>. 30.10.2016.
32. Puuinfo. Paloteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo Oy. 2016.
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/puu-materiaalina/paloteknisi%C3%A4-ominaisuuksia>. 30.10.2016.
33. Wood Focus. Ääneneristys puutalossa. Puuinfo Oy. 2004.
<http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/aaneneristys-puutalossa/koko-ohje.pdf>. 30.10.2016.
34. Puuinfo. Ääniteknisiä ominaisuuksia. Puuinfo Oy. 2016.
<http://www.puuinfo.fi/node/1501>. 30.10.2016.
35. Suomen Metsäyhdistys ry. Puun monet mahdollisuudet. Erweko: gravision. 2011.
36. Puuinfo. Sahatavara: Kuivaus. Puuinfo Oy. 2016.
<http://www.puuinfo.fi/puutieto/sahatavara/kuivaus>. 30.10.2016.
37. Suomen Liimapuuyhdistys & Puuinfo. 2014. Liimapuukäsikirja osa 1. Helsinki: Libris Oy
38. Hirsitaloteollisuus. Hirsitalon laatuvaatimukset. Hirsitaloteollisuus HTT Ry. 2011.
http://www.hirsikoti.fi/assets/images/HTT_standardit/Laatuvaatimukset_HTT/HIRSITALON_LAATUVAATIMUKSET_4_2011.pdf. 7.12.2016.
39. Hirsitaloteollisuus. Hirsirakentamisen perusteet. Hirsitaloteollisuus HTT Ry. 2012.
http://www.hirsikoti.fi/assets/images/Koulutusmateriaali/Hirsirakentamisen_perusteet.pdf. 7.12.2016.
40. EDU.fi. Tekniikan sanastoa. EDU.fi. 2016.
<http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/nctekniikka/sanasto.html>. 7.12.2016.
41. Wikipedia. Jyrsin. Wikipedia Foundation. 2016.
<https://fi.wikipedia.org/wiki/Jyrsin#Puujyrsin>. 7.12.2016.
42. Crosslam. CNC-työstöt. Crosslam Oy. 2015.
http://www.crosslam.fi/media/pdf/osa-2_cnc-tyostot-korjattu.pdf. 7.12.2016.
43. Wikipedia. Höylä. Wikipedia Foundation. 2013.
<https://fi.wikipedia.org/wiki/H%C3%B6yl%C3%A4>. 7.12.2016.
44. Omatalo. Elementtien valmistus. Omatalo Oy. 2016.
<https://www.youtube.com/watch?v=-vxhOxsKs5Y>. 11.11.2016.
45. Turtiainen H. Tilaelementtitehtaan tuotantolinjan kehittäminen. Kymenlaakson ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma / rakennustuotanto. Opinnäytetyö. 2014.
<https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/78188/Henri%20Turtiainen.pdf?sequence=1>. 14.11.2016
46. LapWall. LapWall elementtitehdas. 2013.
<https://www.youtube.com/watch?v=TCs1DzsyZug>. 11.11.2016
47. Manninen J. Vauhdilla valmiiksi. Stora Enso Oyj. 2014.
http://2014.puupaiva.com/sites/default/files/Sali%20Janne%20Manninen_Vauhdilla%20valmiiksi_Puup%C3%A4iv%C3%A4%202014.pdf. 14.11.2016.
48. Puuinfo. Puurakentamisen asema ja mahdollisuudet Suomessa. Puuinfo Oy. 2016. <http://www.puuinfo.fi/node/1652>. 14.11.2016.
49. Korhonen A. Puurakentamiselle taas uusi toimintaohjelma. Rakennuslehti Oy. 2016. <http://www.rakennuslehti.fi/2016/09/puurakentamiselle-taas-uusi-toimintaohjelma/>. 14.11.2016.

50. Suomen virallinen tilasto (SVT). Rakennus- ja asuntotuotanto muuttujina Vuosi, Kuukausi, Käyttötarkoitus, Tieto ja Rakennusvaihe. Tilastokeskus. 2016.
http://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin__rak__ras/009_ras_tau_105.px/table/tableViewLayout1/?rxid=9ff862c4-6dea-4cd4-992f-21376c044e9c. 18.11.2016.
51. Suomen virallinen tilasto (SVT). Rakennus- ja asuntotuotanto [verkkajulkaisu]. Tilastokeskus. 2016. <http://www.stat.fi/til/ras/kas.html>. 18.11.2016.
52. Tilastokeskus. Erillinen tiedustelu: Asuntotuotanto 2000-2015 rakennusmateriaalin mukaan. 2016. [sähköpostin liite]. 18.11.2016.
53. Suomen virallinen tilasto (SVT): Asunnot ja asuinolot [verkkajulkaisu]. Yleiskatsaus 2015, 1. Asuntokanta. Tilastokeskus. 2015.
http://www.stat.fi/til/asas/2015/01/asas_2015_01_2016-10-13_kat_001_fi.html. 18.11.2016.
54. Suomen virallinen tilasto (SVT). Rakennusluokitus: C. Tilastokeskus. 1994.
<http://www.stat.fi/meta/luokitukset/rakennus/001-1994/c.html>. 18.11.2016.
55. Crosslam. CLT-tuote. Crosslam Oy. 2014. <http://www.crosslam.fi/tuote.html>. 12.9.2016.
56. FPInnovations. CLT Handbook. Kanada, Quebec: FPInnovations Institute. 2011.
57. StructureCraft. Framework. StructureCraft Builders Inc. 2016.
<http://www.structurecraft.com/projects/framework>. 8.9.2016.
58. Stora Enso. Joensuun Elli - Noljakka, Joensuu, Finland. Stora Enso Oyj. 2013.
<http://www.clt.info/en/projekte/detail/?slideId=5240&category>. 8.9.2016.
59. Stora Enso. Haltia Nature Centre - Nuuksio, Finland. Stora Enso Oyj. 2013.
<http://www.clt.info/en/projekte/detail/?slideId=2569&category>. 8.9.2016.
60. Kilpeläinen M., Ukonmaanaho A. & Kivimäki M. Avoin puurakennusjärjestelmä: Elementtirakenteet. Vammala: Wood Focus Oy. 2001.
61. Williams J. H. Roman Building-Materials in South-East England. Society for the Promotion of Roman Studies. Britannia Vol. 2. United Kingdom: Society for the Promotion of Roman Studies. 166-195. 1971.
62. Woodhouse. Timber Frame History. Woodhouse PLC. 2016.
<http://www.timberframe1.com/timber-frame-resources/history>. 8.10.2016.
63. Wikipedia. Timber framing. Wikipedia Foundation. 2016.
https://en.wikipedia.org/wiki/Timber_framing. 8.10.2016.
64. Biolan Oy. Pääkonttori. 2017. <http://www.biolan.fi/suomi/yritysesittely/uusi-paeakonttori/tekniset-tiedot>. 4.1.2017.
65. Biolan Oy. Pääkonttori. 2017. <http://www.biolan.fi/suomi/yritysesittely/uusi-paeakonttori/kuvat>. 4.1.2017.
66. Finnish Wood Research. RunkoPES 2.0. Finnish Wood Research Oy. 2013.
http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/runkopes-20/runkopes_2.0_osa_0_sisalto.pdf. 11.10.2016.
67. Finnish Wood Research. HalliPES 1.0. Finnish Wood Research Oy. 2013.
http://www.puuinfo.fi/sites/default/files/content/rakentaminen/suunnitteluohjeet/hallipes-10/hallipes_1.0_osa_0_yleista.pdf. 8.10.2016.
68. Suomen Liimapuuyhdistys & Puuinfo. Liimapuukäsikirja osa 2. Helsinki: Libris Oy. 2014.
69. Suomen Liimapuuyhdistys & Puuinfo. Liimapuukäsikirja osa 3. Helsinki: Libris Oy. 2014.
70. Kevarinmäki A. Puurakenteiden suunnittelu - Lyhennetty suunnitteluohje Kolmas painos Eurokoodi 5. Helsinki: Puuinfo Oy. 2011.

71. Puuinfo. Puukerrostalo - palomääräykset 2011. Puuinfo Oy. 2011.
<http://www.puuinfo.fi/rakentamism%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset/puukerrostalo-palom%C3%A4%C3%A4r%C3%A4ykset-2011>. 6.11.2016.
72. Ympäristöministeriö. Rakennusten paloturvallisuus - Määräykset ja ohjeet 2011. E1 Suomen rakentamismääräyskokoelma. Helsinki: Ympäristöministeriö. 2011.
73. Wikipedia. AutoCAD. Wikipedia Foundation. 2016.
<https://en.wikipedia.org/wiki/AutoCAD>. 6.11.2016.
74. Autodesk. Autodesk Plc. 2016.
<https://knowledge.autodesk.com/support/autocad/downloads/caas/downloads/content/autocad-2016-language-packs.html>. 6.11.2016.
75. CADs. Tuotteet. Kymdata Oy. 2016. <http://www.cads.fi/fi/Tuotteet/>. 7.11.2016.
76. CADs. CADs House. Kymdata Oy. 2016.
<http://www.cads.fi/fi/Tuotteet/Arkkitehti-%20ja%20rakennesuunnittelu/>. 7.11.2016.
77. CADs. Lupakuvat helposti. Kymdata Oy. 2016.
<http://www.cads.fi/fi/Tuotteet/Arkkitehti-%20ja%20rakennesuunnittelu/K%C3%A4ytt%C3%B6tarkoitus/Lupakuvat/>. 7.11.2016.
78. CADs. Tehokasta rakennesuunnittelua. Kymdata Oy. 2016.
<http://www.cads.fi/fi/Tuotteet/Arkkitehti-%20ja%20rakennesuunnittelu/K%C3%A4ytt%C3%B6tarkoitus/Yleinen%20rakennesuunnittelu/>. 7.11.2016.
79. CADs. Helppoutta hirsitalosuunnitteluun. Kymdata Oy. 2016.
<http://www.cads.fi/fi/Tuotteet/Arkkitehti-%20ja%20rakennesuunnittelu/K%C3%A4ytt%C3%A4j%C3%A4t/Hirsitalosuunnittelijat/>. 7.11.2016.
80. Timber Bros. Palvelut. Timber Bros Oy. 2016.
<http://www.timberbros.fi/palvelut>. 7.11.2016.
81. hsbCAD. 3D CAD/CAM. HSBCAD GmbH. 2016.
<http://www.hsbcad.com/#construction>. 6.11.2016.
82. Luonnonvarakeskus (Luke). Puurakentaminen vihdoin kasvu-uralle. Luonnonvarakeskus (Luke). 2014. <http://www.metla.fi/tiedotteet/2014/2014-11-04-puurakentaminen.htm>. 7.12.2016.
83. Valtioneuvosto. Biotalous ja puhtaat ratkaisut. Valtioneuvosto. 2016.
<http://valtioneuvosto.fi/hallitusohjelman-toteutus/biotalous>. 7.12.2016.
84. Vapaavuori J. Puurakentaminen on ekoteko –seminaari, Turku. Jan Vapaavuori. 2011. <http://vapaavuori.net/tag/puurakentaminen>. 7.12.2016.
85. ARA. ARA toimeenpanee valtion asuntopolitiikkaa. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus. 2013. http://www.ara.fi/fi-FI/ARAn_esittely. 7.12.2016.
86. Ympäristöministeriö. Tiekartta rakennusmateriaalien hiilijalanjäljen vähentämiseksi valmisteilla. Ympäristöministeriö. 2016. [http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Tiekartta_rakennusmateriaalien_hiilijala\(40813\)](http://www.ym.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Tiedotteet/Tiekartta_rakennusmateriaalien_hiilijala(40813)). 7.12.2016.
87. Ruuska. A & Häkkinen T. Rakennusmateriaalien ympäristövaikutukset - Taustaraportti. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2013.
http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2013/YM_Taustaraportti.pdf. 7.12.2016.
88. Vainio T. Asuntotuotantotarve 2015-2040. Espoo: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. 2016.
89. Viljakainen M. Suuri kerrostalokysely - Rakennuttajat. Puuinfo Oy. 2016.
<http://puupaiva.com/sites/default/files/Suuri%20puukerrostalokysely.pdf>. 7.12.2016.

90. Voigtländer L. & Song S. B. Tammelan Kruunu. puupäivä.com. 2016
http://puupaiva.com/sites/default/files/Sali%20F_Voigtl%C3%A4nder%20Lisa_Tammelan%20kruunu.pdf. 7.12.2016.
91. Metsä Wood. Plan B. Metsä Wood Oy. 2016.
<http://www.metsawood.com/global/Campaigns/planb/Pages/default.aspx>.
 7.12.2016.
92. Wikipedia. Luettelo Suomen kirkkopaloista. Wikipedia Foundation. 2016.
https://fi.wikipedia.org/wiki/Luettelo_Suomen_kirkkopaloista. 7.12.2016.
93. Heikkilä-Kauppinen M. & Kauppinen T. Rakennusten paloturvallisuus & paloturvallisuus korjausrakentamisessa. Helsingin yliopiston kirjasto. 2003.
<https://helda.helsinki.fi/handle/10138/40357>. 7.12.2016.
94. Ympäristöministeriö. Puuta kerrostaloihin - rakentamismääräyksistä puretaan puurakentamisen esteitä. Ympäristöministeriö. 2016. [http://www.ymp.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset/Puuta_kerrostaloihin__rakentamismaarayks\(40849\)](http://www.ymp.fi/fi-FI/Ajankohtaista/Uutiset/Puuta_kerrostaloihin__rakentamismaarayks(40849)).
 7.12.2016.
95. LAMK. Oppilaitokset. Lahden ammattikorkeakoulu. 2016.
<http://www.puutekniikka.info/koulutus/oppilaitokset/>. 29.11.2016.
96. Lappia. CLT-oppimisympäristö. Lapin ammattikorkeakoulu. 2016.
<http://www.lappia.fi/koulutusalat-lappia/clt-lappia>. 29.11.2016.
97. Mölsä S. Puukerrostalo oli nopea tehdä mutta kallis suunnitella ja rakentaa. Rakennuslehti Oy. <http://www.rakennuslehti.fi/2015/06/puukerrostalo-oli-nopea-tehda-mutta-kallis-suunnitella-ja-rakentaa/>. 18.1.2017.
98. Wood City. WOOD CITY. Woodcity.fi. 2016. <http://www.woodcity.fi/>.
 30.11.2016.
99. Kääriäinen J. Sprinklaus osaksi kunnallistekniikkaa. Marioff Corporation. 2016.
<http://puupaiva.com/sites/default/files/Sprinklaus%20osaksi%20kunnallistekniikka.pdf>. 30.11.2016.
100. Metsä Wood. Metsä. Metsä Wood Oy. 2016.
<http://puupaiva.com/sites/default/files/Sali%20D%20Kaikkonen%20Esa%20Tehokas%20teollinen%20puurakentaminen%20FastLightGreen.pdf>.
 30.11.2016.
101. Hetemäki L. Bioeconomy: What drives the development?. Finnish forest research institute. 2011.
http://www.metla.fi/hanke/50168/pdf/hetemaki_espoo_150411.pdf. 7.12.2016.
102. Hartikainen A. Master cabinetmaker and researcher. Nikari Oy. 1.12.2016.
103. Lounasmäki P. Puutuoteteollisuus. Helsinki : Työ- ja elinkeinoministeriö. 2016.
104. Telkänranta H. Puusta kasvaa biosampo. Puttonen M. TIEDE. Printall Tal- linna: Sanoma media Finland Oy. 22-29. 2015

Tilastoyosi	Käyttötarkoitus	Rakennusaine	Myönnetty/Luvat/kpl	Myönnetty/Tilavuus/m ³	Myönnetty/Kerrosala/m ²	Valmistunut/Luvat/kpl	Valmistunut/Tilavuus/m ³	Valmistunut/Kerrosala/m ²
2000	Liikerakennukset	Puu	619	475668	120339	615	528178	123296
2001	Liikerakennukset	Puu	519	480370	106967	629	356987	88537
2002	Liikerakennukset	Puu	564	566572	127421	549	531741	119582
2003	Liikerakennukset	Puu	582	545785	123123	467	456071	102682
2004	Liikerakennukset	Puu	646	606043	135419	582	591292	133463
2005	Liikerakennukset	Puu	609	674688	148264	572	611387	136953
2006	Liikerakennukset	Puu	602	785837	163528	517	633460	130312
2007	Liikerakennukset	Puu	811	1279410	257197	686	869572	184598
2008	Liikerakennukset	Puu	697	946524	195819	671	1135777	224263
2009	Liikerakennukset	Puu	453	639053	129323	441	731137	148350
2010	Liikerakennukset	Puu	450	587564	119257	417	481208	102562
2011	Liikerakennukset	Puu	529	643613	127319	404	547407	103003
2012	Liikerakennukset	Puu	479	628896	137130	395	584908	111755
2013	Liikerakennukset	Puu	465	607531	128181	423	589758	118933
2014	Liikerakennukset	Puu	341	503174	102896	394	470061	101805
2015	Liikerakennukset	Puu	304	600236	110725	330	522158	110781
2000	Erilliset pientalot	Puu	16045	6444137	2004961	14578	5939027	1853109
2000	Asuinkerrostalot	Puu	65	94200	27909	82	129293	36248
2001	Erilliset pientalot	Puu	14750	5709474	1780866	14218	5750610	1789559
2001	Asuinkerrostalot	Puu	63	81572	23024	64	83194	25691
2002	Erilliset pientalot	Puu	15977	6303902	1969118	14388	5714927	1782743
2002	Asuinkerrostalot	Puu	58	86014	24283	54	56792	17159
2003	Erilliset pientalot	Puu	18172	7519917	2322152	14520	5904046	1840805
2003	Asuinkerrostalot	Puu	59	80708	22439	42	70148	19282
2004	Erilliset pientalot	Puu	18338	7843353	2427307	16603	6997710	2171296
2004	Asuinkerrostalot	Puu	46	86185	20857	51	63422	19028
2005	Erilliset pientalot	Puu	19537	8615653	2646547	16971	7387965	2282504
2005	Asuinkerrostalot	Puu	64	84678	24958	40	77034	18617
2006	Erilliset pientalot	Puu	18827	8408718	2575650	17263	7762075	2389680
2006	Asuinkerrostalot	Puu	46	71645	20253	56	78270	22648
2007	Erilliset pientalot	Puu	16930	7611017	2315222	17618	8007240	2455493
2007	Asuinkerrostalot	Puu	51	74469	22157	44	75303	19825
2008	Erilliset pientalot	Puu	14005	5806910	1761851	16327	7256004	2211024
2008	Asuinkerrostalot	Puu	46	66651	17117	44	59743	18625
2009	Erilliset pientalot	Puu	12418	5158002	1548727	12983	5543694	1679451
2009	Asuinkerrostalot	Puu	45	47910	14606	48	63684	17476
2010	Erilliset pientalot	Puu	14204	6543472	1907496	12887	5580189	1668431
2010	Asuinkerrostalot	Puu	58	81198	20944	42	60355	16443
2011	Erilliset pientalot	Puu	13196	6187339	1790586	13620	6266366	1842316
2011	Asuinkerrostalot	Puu	67	124247	32659	47	64264	17583
2012	Erilliset pientalot	Puu	11568	5310000	1532009	12438	5792781	1686490
2012	Asuinkerrostalot	Puu	73	122581	29896	60	101404	26946
2013	Erilliset pientalot	Puu	9365	4207987	1205497	11421	5167121	1501666
2013	Asuinkerrostalot	Puu	82	214826	56636	66	146098	34141
2014	Erilliset pientalot	Puu	7993	3549417	1015112	10046	4480517	1290046
2014	Asuinkerrostalot	Puu	60	197679	52617	72	167711	45123
2015	Erilliset pientalot	Puu	6233	2739614	778615	8202	3909365	1121525
2015	Asuinkerrostalot	Puu	92	203949	55139	62	197283	53175