



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

# **Modulaarinen puurakentaminen**

Juho Leivo

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Kandidaatintyö  
Maaliskuu 2024

# TIIVISTELMÄ

Modulaarinen puurakentaminen

Juho Leivo

Oulun yliopisto, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Työn ohjaaja: Hannu Lahtinen

Tutkimus käsittelee modulaarista puurakentamista. Moduulit valmistetaan massiivipuulevyistä (esimerkiksi CLT-levyistä), jotka koostuvat vähintään kolmeen kerrokseen ristiin liimatuista laudoista tai rimoista. Tutkielmassa käsitellään modulaarista puurakentamista aihekokonaisuutena sekä tutustutaan moduulivalmisteisen rakenteen elinkaareen tehtaalta aina asennukseen asti. Lisäksi pohditaan moduulien jäykkyyttä ja lujuutta, moduulirakentamisen haasteita, hyötyjä sekä tulevaisuutta. Aihetta rajataan puukerrostalorakentamiseen sekä esitellään yksi esimerkki moduulivalmisteisesta puukerrostalosta.

Tutkimuksen tarkoitus on avata modulaarista puurakentamista käsitteenä, sekä pohtia sen tulevaisuutta, haittoja sekä hyötyjä. Tutkielma toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Modulaarinen puurakentaminen ei ole vielä kovin yleistä Suomessa, mutta se on selkeästi lisääntymässä. Modulaarisessa puurakentamisessa on paljon hyviä puolia verrattuna betonirakentamiseen, mutta koska ilmiö on Suomessa vielä uusi, on tutkimuksessa paneuduttava huolellisesti myös moduulirakentamisen synnyttämiin haasteisiin.

*Avainsanat: puu, moduuli, moduuli rakentaminen, kerrostalo rakentaminen*

# ABSTRACT

Modular wood building

Juho Leivo

University of Oulu, Civil engineering

Supervisor at the university: Hannu Lahtinen

The study addresses modular wooden construction. Modules are manufactured from massive wood panels (for example CLT panels), which consist of at least three layers of boards or battens glued crosswise. The thesis discusses modular wood construction as a whole topic, as well as explores the lifecycle of a module-made structure from the factory to installation. Additionally, it considers rigidity and strength of modules, challenges, benefits, and future of modular construction. The subject is limited to the construction of wooden apartment buildings and one example of a module-made wooden apartment building is presented.

The purpose of the research is to illustrate the concept of modular wooden construction, as well as to contemplate its future, disadvantages, and benefits. The thesis is conducted as a literature review. Modular wood construction is not yet very common in Finland, but it is clearly on the rise. Modular wood construction has many advantages compared to concrete construction, but since the phenomenon is still new in Finland, research must also carefully address the challenges generated by modular construction.

*Keywords: wood, module, modular building, apartment building*

# SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO .....	7
2 Modulaarinen puurakentaminen.....	8
2.1 Rakennusmateriaalit.....	8
2.2 Suunnittelu ja valmistusprosessi .....	10
2.3 Logistiikka.....	11
2.4 Asennus ja työmaa .....	12
2.5 Jäykkyys ja lujuus .....	13
3 Puukerrostalot suomessa .....	15
3.1 Yleisyys.....	15
3.2 Hyödyt.....	16
3.3 Esimerkkitapaus .....	17
4 Moduulirakentamisen haasteet.....	18
4.1 Kustannukset ja liiketoimintamallit .....	18
4.2 Osaaminen ja asenteet.....	19
4.3 Vakiointi.....	20
5 Tulevaisuuden näkymät .....	22
5.1 Ympäristön ja toiminnan luomat muutokset.....	22
5.2 Kysyntä .....	24
5.3 Puurakentamisen kehitys.....	25
6 Yhteenveto .....	27
LÄHDELUETTELO.....	29

# 1 JOHDANTO

Tutkielman aihe on modulaarinen puurakentaminen ja sitä tarkastellaan puukerrostalorakentamisen näkökulmasta. Tutkimuksessa käsitellään aihepiiriä yleisellä tasolla sekä pohditaan haasteita, hyötyjä sekä tulevaisuuden näkymiä. Modulaarinen puurakentaminen perustuu tehtaalla valmistettujen puisten tilaelementtien hyödyntämiseen. Tilaelementit valmistetaan tehtaalla esimerkiksi massiivipuulevyistä, kuljetetaan työmaalle ja asennetaan esimerkiksi pinoamalla moduuleja päällekkäin. Tämä nopeuttaa rakennusprojektia huomattavasti, lisää turvallisuutta sekä säästää luontoa, sillä puu on myös uusiutuva materiaali.

Tutkimus on tarpeen, koska aiheesta ei löydy Suomessa vielä paljoakaan julkista tutkimusaineistoa. Lisäksi puukerrostalorakentaminen on uusi trendi Suomessa, joka on tulevaisuudessa hyvä haastaja perinteiselle betonikerrostalolle. Työn tavoite on antaa kattava perustieto modulaarisesta puurakentamisesta, pohtia sekä tehdä yhteenveto aihepiiristä.

Tutkimuksessa esitellään lisäksi konkreettinen esimerkki moduuli valmisteisesta puukerrostalosta. Kohde sijaitsee Turussa Linnanfältin kaupunginosassa ja on valmistunut vuonna 2020. Kohde valikoitui tutkimukseen, koska se hahmottaa hyvin aihetta, sekä antaa hyvän kuvan puukerrostalorakentamisen hyvistä puolista.

## 2 MODULAARINEN PUURAKENTAMINEN

Tämä luku kertoo yleisesti modulaarisesta puurakentamisesta. Luvussa käydään läpi erilaiset puurakennusmateriaalit, joista moduuleja valmistetaan. Lisäksi käydään läpi moduulin elinkaari valmistuksesta aina asennukseen asti. Lopuksi käsitellään moduulien kestävyyttä puukerrostalojen jäykistävänä rakenteena.

### 2.1 Rakennusmateriaalit

Modulaarisessa puurakentamisessa hyödynnetään paljon massiivipuulevyjä, jotka ovat niin sanottuja ”insinööripuutuotteita”. CLT (Cross Laminated Timber) on massiivipuulevy, jota hyödynnetään rakennuksen kantavana rakenteena. CLT-levy valmistetaan toisiinsa päällekkäin liimatuista lautalevykerroksista, jotka ovat toisiinsa nähden kohtisuorassa. Raaka-aineena käytetään C24 lujuusluokan kuusi- tai mäntysahatavaraa. CLT-levy voi olla syrjäliimattua valmistajasta riippuen. Tämä tarkoittaa sitä, että lamellit ovat liimattu ensin rinnakkain lamellien syrjistä ja vasta tämän jälkeen lautalevykerrokset liimataan päällekkäin. CLT-levyn pintalamellien välisten saumojen rakoilu voidaan poistaa tällä tavalla. CLT-levyjen lamellipaksuuksien yleiset mitat ovat yleensä 20 mm, 30 mm tai 40 mm, joista valmistajat kokoavat levypaksuudet. Valmistajasta riippuen CLT-levyn mitat vaihtelevat, mutta paksuus on tavallisesti 60...400 mm, leveys 2450...3500 mm ja pituus 12...24 m. Myös laatuluokkia levyrakenteen pinnalle on kolme, jotka ovat hiottu näkyvälaatu, teollinen näkyvä laatu sekä ei näkyvä laatu. Pinnan laatuluokitus on kuitenkin valmistajakohtaista. (Puuinfo, 2020b)

Toinen hyödynnettävä massiivipuulevyrakente on viilupuu, joka jakaantuu GLVL-P ja GLVL-C viilupuuksi. Tämä on kerrannaisliimattua viilupuuta (glued), joissa viilu on joko samaan suuntaan (parallel) tai osa viiluista on liimattu ristiin (cross). GLVL-P ja GLVL-C ovat lujuusluokiteltuja tuotteita, ja niitä hyödynnetään kantavissa rakenteissa. GLVL-P koostuu päällekkäisistä toisiinsa liimatuista LVL-P-tuotteista. GLVL-C koostuu vastaavasti GLVL-C tuotteesta. Tuotteista valmistetaan poikkileikkaukseltaan vähintään 75 mm leveitä palkkeja ja pilareita sekä 75 mm paksumpia levyjä. Tuotteiden vakiopaksuudet ovat 84 mm, 90 mm, 96 mm, 108 mm, 120 mm, 133 mm ja 144 mm, mutta tuotteen leveys, paksuus ja pituus vaihtelevat valmistajakohtaisesti. (Puuinfo, 2023b)

Myös ilman liimaa voidaan valmistaa massiivipuulevyrakenteita. Nämä massiivipuulevyt kiinnitetään toisiinsa nauloilla ja puutapeilla. Massiivipuulevyjä voidaan koota nauloilla yhteen kahdella eri tavalla. Laudat pinotaan joko vierekkäin yhdensuuntaisesti syrjälankkutekniikalla (NLT) tai laudat pinotaan ristiin päällekkäin (MHM). NLT-levy (Nail Laminated Timber) voidaan valmistaa joko tehtaalla tai työmaalla. Valmistuksessa laudat naulataan yhdensuuntaisesti kiinni toisiinsa kerros kerrokselta. Levyn pintaprofiilia on mahdollista muunnella vaihtelemalla puutavaran paksuuksia sekä näkyvän syrjän profiilia. Jäykistys levyille tapahtuu tarvittaessa vaneri- tai lastulevyllä. Levyä voidaan käyttää raskaissa seinä-, katto- ja lattiarakenteissa. (Puuinfo, 2020a)

MHM (Massiv-Holz-Mauer) koostuu lautakerroksista, jotka ovat pinottu poikittain toisiinsa nähden. Kerrokset kiinnitetään toisiinsa alumiininauloilla. MHM-elementti sopii kantavaksi sekä ei kantavaksi seinärakenteeksi, mutta se ei sovellu palkiksi tai laataksi väli- ja yläpohjiin. Yleensä elementin leveys on noin 3...4 m, pituus enintään 6 m ja paksuus 11,5...34 cm. MHM-elementtejä valmistetaan havupuusta. MHM-rakenteen sisäpuolelle jää ilmataskuja lautojen urituksen vuoksi. Tämä parantaa levyn lämmöneristävyysominaisuuksia. Valmistuksessa lujuusluokitellut laudat, jotka ovat kuivattuja, uritetaan pituussuuntaisesti sekä niihin jyrksitään sivusuuntainen puolipontti. Puolipontti takaa paremman sivuttaisen yhteensopivuuden laudoille. Varsinainen elementti valmistetaan automatisoidusti. Laudat puristetaan yhteen sekä pituus että poikittaissuunnassa, jonka jälkeen naulataan lautakerrokset yhteen kerros kerrokselta. Viimeisessä vaiheessa levy viimeistellään valmiiksi elementiksi, ja siihen toteutetaan CNC-työstöt sekä tarvittavat rei'itykset. MHM-elementeillä seinäpaksuutta voidaan muunnella lautakerrosten lukumäärällä, joka on 5–15. Rakennepaksuudet tuotetaan aina parittomalla lukumäärällä, jotta ulko- ja sisäkerrokset laudat ovat samansuuntaisia. (Puuinfo, 2020a)

Massiivipuulevyjä valmistetaan myös kokoamalla tuotteet puutapeilla. DLT-levyt (Dowel Laminated Timber) jakaantuvat kahteen ryhmään: samansuuntainen DLT sekä ristiin ladottu DLT. Levyt vastaavat rakenteellisesti NLT-levyjä, mutta alumiininaulojen sijasta käytetään lehtipuutappeja. Elementit saadaan valmistettua määrämittaen CNC-koneella. DLT-levyjä käytetään sekä seinä- että laattarakenteissa levytyypistä riippuen. Samansuuntaisen DLT:n valmistuksessa käytetään hyväksi puulajien kosteuspitoisuuksien vaihtelua. Laudat kuivataan 12...15 % kosteuteen ja tapit vain 8 % kosteuteen, jolloin kuivemmat tapit asennettuna kosteampiin lautoihin imevät

ympäriltään kosteutta itseensä ja turpoavat. Tämä synnyttää lujan liitoksen laudan ja tapin välille. DLT-levyjen toinen valmistustapa on latoa lautakerrokset ristiin ja kiinnittää ne toisiinsa puuvaarnoilla. Elementin mitat ovat seuraavanlaiset: Pituus enintään 8 m, korkeus 3,05 m sekä paksuus 120...364 mm. Käyttökohteen mukaan tuotteessa vaihtelee lautakerrosten lukumäärä. Valmistuksessa ladotaan laudat ristikkäin kolmessa eri kulmassa. Lautakerroksista osa on vaakasuoraan, osa pystysuoraan sekä osa diagonaalisti 45° kulmassa. Levyt kuitenkin suunnitellaan, mitoitetaan ja valmistetaan käyttökohteen mukaan, jotta saadaan paras ratkaisu tapauskohtaisesti. (Puuinfo, 2020a)

## 2.2 Suunnittelu ja valmistusprosessi

Modulaarinen rakentamistapa on prosessi, jossa rakennus kootaan erillisistä tilayksiköistä, jotka valmistetaan tehtaalla. Moduuli koostuu kantavasta rungosta ja rajaavista pinnoista (seinät, lattia ja katto). Tehtaalla tilaelementteihin asennetaan valmiiksi ikkunat, LVIS-varustus sekä kalusteet. Yleensä moduulin kantava rakenne toteutetaan laattamaisilla suurelementeillä, pilari-palkkitekniikalla tai kehärakenteella. Tekniikalla saavutetaan hyvä ääneneristys kaksoisrakenteen vuoksi. Tyypilliset enimmäismitat moduulille ovat 12 x 4,2 x 3,2 m, mutta myös suurempia voidaan valmistaa. Moduuleja suunniteltaessa pitää huomioida myös kuljetusten ja nostojen asettamat rajoitukset painolle ja enimmäismitoille. Moduuli on kannattavaa valmistaa mahdollisimman pitkälle tehtaalla, sillä se on säänsuojassa, häiriöherkkyys on huomattavasti pienempi sekä työmaalla tehtävän työn määrä vähenee. Moduulien asennus ja liitokset tehdään työmaalla, mikä nopeuttaa työmaavaihetta huomattavasti. Suomessa toimivista tilaelementtitehtaista esimerkiksi Promodules Oy tuottaa massiivipuulevelementtisiä asennusvalmiita tilaelementtejä, joista rakennetaan kerrostalokoteja. Yrityksen tehtaat sijaitsevat Torniossa, Kangasniemellä sekä Kauhajoella. (Puuinfo, 2020g; Promodules, 2024)

Suunnittelun merkitys korostuu modulaarisessa rakentamisessa, sillä moduulit valmistetaan useita kuukausia aiemmin tehtaalla ennen työmaavaihetta. Tilaelementit suunnitellaan millintarkasti ja etupainotteisesti, jotta työmaa aika saataisiin minimoitua. Tilaelementteihin myös suunnitellaan talotekniikka ja talotekniikan läpiviennit hyvin aikaisessa vaiheessa. Rakenne- ja arkkitehtisuunnitelmien välillä yhteensovitetaan suunnitelmia sijoittelusta ja talotekniikan reiteistä koko suunnitteluprosessin ajan tietomallia apuna käyttäen. Modulaarisen rakennustekniikan vuoksi syntyy myös



enemmän putkiliitoksia. Putki vedetään tehtaalla tilaelementin rajapintaan, jonka jälkeen ne liitetään vasta työmaalla toisen elementin putkeen kiinni. Myös puulle ominaiset painumat, kutistumat sekä taipumat tulee huomioida suunnittelussa. Suunnittelua helpottaa vakioidut ratkaisut, joista saadaan rakennettua kustannustehokas kokonaisuus. Esimerkiksi yritys Promodules Oy tuottaa vakioituja huoneistopohjia ja rakennedetaljeja, mikä helpottaa suunnittelijan työtä. (Talotekniikka-lehti, Anne Soininen, 2022; Promodules, 2024)

Puutuotealan yritykset ovat kehittäneet yhtenäiset suunnitteluperusteet puurakenteille, joiden nimi on RunkoPes. Suunnittelija löytää RunkoPes:sta suositukset rakennepaksuuksista, kerroskorkeuksista, jännemitoista sekä erilaisista rakenneratkaisuista. Puukerrostaloissa pätevät pääosin samat rakentamismääräykset suunnittelun osalta kuin muissakin kerrostaloasunnoissa, mutta poikkeuksena puukerrostalot sijoitetaan paloluokkaan P2. Rakenteita puukerrostaloissa koskee 60 minuutin palonkestovaatimus. Lisäksi kaikki tilat on varustettava automaattisella sammutuslaitteistolla. Rakennuksen korkeudesta riippuen puurakenteet suojaverhoillaan 10 minuutin tai 30 minuutin palamattomalla suojaverhouksella, ja eristeenä käytetään A-luokan palamattomia materiaaleja. Lisäksi kaikista huoneistoista tulee olla vähintään kaksi poistumistietä. (Puuinfo, 2020h; Puuinfo, 2020g)

### **2.3 Logistiikka**

Logistiikka on keskeisessä roolissa modulaarisessa puurakentamisessa. Kuljetuksiin liittyy kustannusvaikutuksia, rajoitteita sekä haasteita, jotka ovat huomioitava teollisessa rakentamisessa. Moduulin päämitat vaikuttavat paljon kustannusten muodostumiseen. Tärkeää on tarkistaa, että moduulin käytetylle maksimileveydelle löytyy kuljetusreitti määränpäähään saakka. Lisäksi on huomioitava kuljetusauton ominaisuudet. Yleensä etuautoon mahtuu maksimissaan noin 8,5 metriä pitkä tilaelementti. Pitkiä tilaelementtejä kuljetettaessa saadaan kuljetettua vain puolikkaita kuljetuksia, mikä vaikuttaa suoraan kustannusten nousemiseen. Puumoduulien paino ei aseta kuljetukselle rajoituksia, vaan se vaikuttaa enemmänkin työmaan nostopaikkojen ja nostimien suunnitteluun. (Puuinfo, 2022b, s.49)

Puumoduulit ovat yleensä erikoiskuljetuksia, eli ne ylittävät normaaliliikenteelle sallitut mitta- ja massarajat. Suomen tieliikennelaki ei ota kantaa kuljetuksen maksimipituuteen,

mutta se rajoittaa kuitenkin kuljetuksen korkeutta ja leveyttä. Suurimmat tilaelementit ovat taas luvanvaraisia erikoiskuljetuksia. Lainsäädännössä on asetettu mittarajat erikoiskuljetuksille, jotka eivät vaadi erityistä kuljetuslupaa. Jos kuljetus on alle 4 metriä leveä ja alle 4,4 metriä korkea, niin se ei tarvitse erityistä kuljetuslupaa. Suurimmat tilaelementit, jotka ylittävät nämä ohjearvot, ovat luvanvaraisia erikoiskuljetuksia. Lupa on maksullinen ja sen myöntää liikenne- ja viestintäministeriö. Kuljetus tulee myös merkitä huomioväreillä sekä varoitusautoilla, jotka sijoittuvat kuljetuksen etu- ja takapuolelle. Luvanvaraisiin erikoiskuljetuksiin liittyy myös kuljetuksen ajankohtaan liittyviä rajoituksia. (Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, 2023)

## 2.4 Asennus ja työmaa

Laadittaessa työmaan laatu- ja työmaasuunnitelmia on tiedettävä, miten tilaelementti tullaan asentamaan kohteeseen. Tehtaan ja kuljetusliikkeen kanssa suunnitellaan asennus ja kuljetus hyvissä ajoin, jonka takia yhteistyö on tiivistä. Tilaelementtien asennus suoritetaan aina tietyssä järjestyksessä, joten kuljetusten suorittaminen oikeassa järjestyksessä on tärkeää. Purkujärjestys on myös etukäteen suunniteltava ja sovittava. Tehtaan vastuulle jää asennusta helpottavien yksityiskohtien kiinnittäminen, kuten esimerkiksi valjaiden tai putoamissuojien kiinnittäminen. Kuljetuksen aikana kiinnitetään huomiota kuljetusten aikaisten suojien kuntoon. Yleensä tilaelementtien asennuksessa käytetään mobiilinostinta. Tilaelementtien nostopaikat sekä nostoetäisyydet tulee suunnitella hyvin, sillä tilaelementit voivat olla hyvin painavia. Asennusjärjestyksen määrittelee tavanomaisesti elementtien kiinnitysjärjestelmä. Nostimet täytyy mitoittaa nostoa varten, ja mobiilinostimelle sekä tilaelementeille tulee laatia nosto- ja varastointipaikat. Apunostimet täytyy suunnitella myös noston ajaksi sekä varata niille tilaa työmaalta. (RT 103546, 2023, s.21)

Puisten tilaelementtien asennussuunnitelmassa keskeisessä roolissa on myös kosteudenhallintasuunnitelma. Tilaelementtien asennukseen vaikuttaa sääolosuhteet ja esimerkiksi kovalla sateella tai tuulella ei tilaelementtejä pystytä asentamaan turvallisesti. Siksi asennusaikatauluun täytyy myös huomioida tulevat sadepäivät. Sääsuojusta on joissakin toteutusmalleissa hyötyä asennuksen kannalta. Asennuksessa kiinnitetään erityistä huomiota myös akustisten rakenteiden toimintaan. Tavallisesti on syytä tarkistaa tärinävaimentimien sijainnit sekä varmistaa asennusvälien toteutuminen. Lisäksi kerroksittain tarkistetaan tilaelementtien lähtökorot. Rakennesuunnittelijan tai

valmistajan ohjeita pitää noudattaa tilaelementtien kiinnityksessä. Asennusta seuraavaan kerrokseen tulee jatkaa vasta vaadittujen kiinnitystöiden loputtua. (RT 103546, 2023, s.22)

Asennustoleranssit ovat keskeinen osa asennustyön ja detajjiikan suunnittelua, joten materiaalien väliset toleranssierot täytyy huomioida. Esimerkiksi julkisivun ollessa tehdasasenteinen, se pitää asentaa oikean mittaan, jolloin asennustoleranssit päätyvät häivyttäväksi käytävän puolelle. Työmaakohteissa hyödynnetään tyypillisesti projektikohtaisia liittimiä ja kiinnikkeitä, ja näitä ei saa vaihtaa ilman suunnittelijan lupaa hankkeen aikana. Jätemuovit ovat huomioitava työmaavaiheessa. Jätemuovia syntyy hyvin paljon esimerkiksi tilaelementtien pakkausmuoveista, ja näiden kerääminen sekä loppusijoittelu tulee suunnitella kohteessa huolellisesti. Rakennuskohteesta vastaavat kokonaisuutena kohteen pääurakoitsija sekä vastaava mestari, vaikka tilaelementit valmistetaan pitkälle tehtaassa. Tilaelementtityömaalla ei ole tyypillisesti tarvetta työnjohdolle, ja työmaavaihe kestää hyvin lyhyen aikaa. (RT 103546, 2023, s.22)

## 2.5 Jäykkyys ja lujuus

Jäykkyyden ja lujuutensa ansiosta Massiivipuulevyrakenteet soveltuvat hyvin korkeisiin rakennuksiin. Massiivipuulevyrakenteet ovat myös erinomaisia sen kannalta, että niihin pystytään toteuttamaan lujia ja jäykkiä voimaliitoksia. Massiivipuulevyt ovat tasonsa suunnassa kosteusteknisesti stabiileja, sillä ne ovat ristiin laminoituja. Tämän ansiosta hyvällä rakennusosien liittymien suunnittelulla voidaan toteuttaa painumaton puurunko. Massiivipuulevyistä valmistetuissa tilaelementeissä suunnitellaan kantavat seinät välittämään pystysuunnassa vaikuttavat kuormitukset perustuksille. Massiivipuulevyrungossa nurjahduskestävyys rajoittaa seinän pystykuorman kantokykyä, mutta levyn paksuutta lisäämällä voidaan kasvattaa nurjahduskestävyyttä. Kantavat seinät suunnitellaan myös jäykistäviksi rakennusosiksi, sillä ne ovat lujia ja jäykkiä. Kantavien seinien tulisi sijaita eri kerroksissa samoilla kohdilla, jotta jäykistys toimisi tehokkaasti. (Puuinfo, 2020e; Puuinfo, 2020f)

Puukerrostalo jäykistetään aina myös vaakakuormitusta vastaan, eli Suomessa tuulikuormaa vastaan. Jäykistäminen on haasteellisempaa mitä korkeampi ja hoikempi puukerrostalo on. Jäykistämässä tarkastellaan rakennuksen vaakasuuntaista siirtymää. Moduuli, joka on valmistettu massiivipuulevyistä, on erinomainen jäykiste, sillä

massiivipuulevyt ovat lujia ja jäykkiä. Niihin saadaan myös kiinnitettyä helposti järeitä liitoselimiä. Haasteena puurakennuksessa on yleensä kerrosten ankkurointi sekä ankkurointi perustukseen. Syynä tähän on massiivipuulevyrunгон pieni omapaino, ja tämän takia ankkurointivoimia ei saada kumottua. (Puuinfo, 2020d)

Levyjäykisteinen runko kootaan jäykistävästä seinistä ja vaakarakenteista. Kuormituspolussa vaakarakenteet siirtävät vaakasuuntaisen kuormituksen seinille. Puusta valmistetuissa vaakarakenteissa hyvä ominaisuus on niiden joustavuus. Joustavuus selittyy materiaaliominaisuuksista ja liitoksissa käytettävistä mekaanisista puikkoliittimistä. Vaakarakenne joudutaan yleensä katkaisemaan huoneistojen välillä ääni- ja värähtelyteknisistä syistä, joten koko rakennuksen yhtenäistä vaakarakennetta ei ole olemassa. Kyseessä olevassa joustavassa rungossa vaakarakenne jakaa kuorman jäykistäville seinille kuormitusleveyyteen perustuen. Massiivipuulevy seinien pystyyn asennuksessa jäykkyyteen huomioidaan myös saumojen jäykkyydet (ruuviliitokset). Vinoruuviliitokset saumassa kasvattavat lujuutta ja jäykkyyttä. Massiivipuulevystä toteutettu vaakarakenne toimii samalla periaatteella kuin seinä. Levyjen saumoissa leikkausvoima otetaan vastaan ruuviliitoksilla. Tässäkin tapauksessa lujuutta ja jäykkyyttä voidaan kasvattaa vinoruuviliitoksilla. (Puuinfo, 2020d)

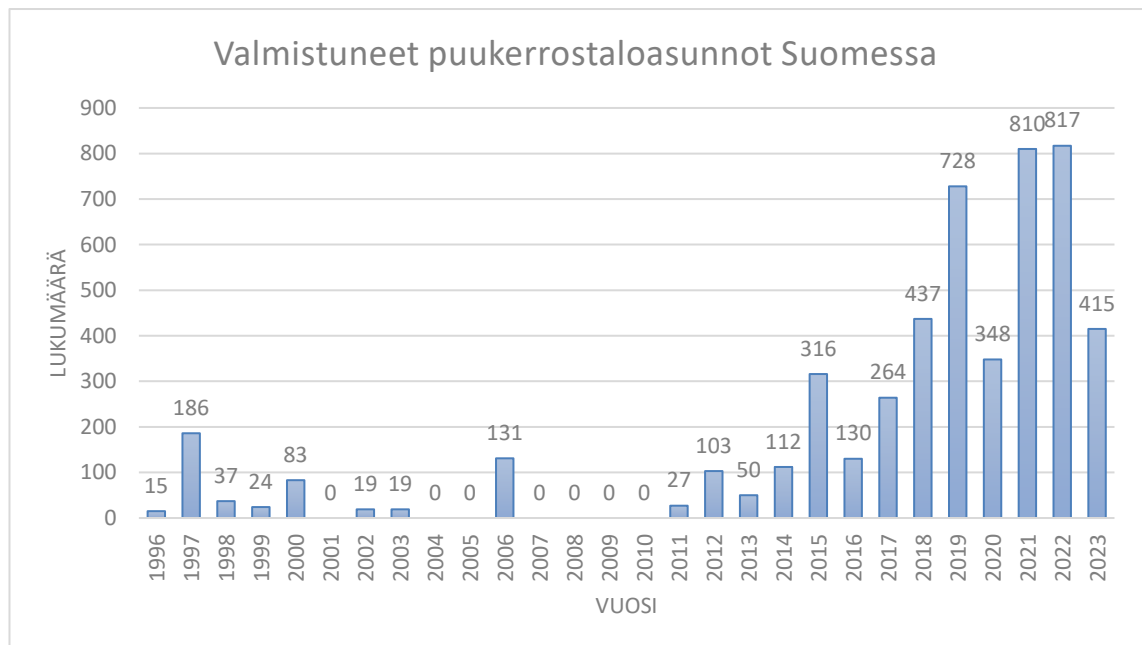
Massiivipuulevyrunko synnyttää viivamaisen kuormituksen perustuksille, joka tarkoittaa että rakennuksessa tulee käyttää jatkuvaa perustusrakennetta. Perustuksina hyödynnetään tavanomaisia betoni- ja teräsrakenteisia perustustyyppisiä. Perustuksen alapinnassa puurunkoisten seinien alla pitää olla ns. tasausvalu, että saadaan toteutettua puurungon asennuksen mittatarkkuusvaatimukset. Käytettäessä palkkirakenteisia perustuksia, palkki pitää valita siten että sen jäykkyys on suurempi kuin sen päällä olevan seinän jäykkyys. Massiivipuulevyissä jäykkyys on suuri, mikä mahdollistaa tarvittaessa niiden toiminnan myös seinämäisenä palkkina. (Puuinfo, 2020c)

### 3 PUUKERROSTALOT SUOMESSA

Suomessa puukerrostalot ovat yleistymässä. Puukerrostalo rakentamisessa on monia hyötyjä verrattuna betonirakentamiseen, ja niitä käydään läpi tässä luvussa. Lisäksi esitellään esimerkkitapaus modulaarisesta puukerrostalosta.

#### 3.1 Yleisyys

Suomessa on rakennettu puukerrostaloja 146 kappaletta, jotka tarjoavat asuntoja 5024 kappaletta. Tilastotieto on julkaistu 10/2023. Tilastossa mukana oli vähintään kolmekerroksiset asuinkerrostalot, joissa kantava runko oli pääosin puinen. Eniten puukerrostaloja on valmistettu rankarunkoisina tasoelementteinä. Muita esiintyviä runkoratkaisuja ovat pilari-palkkirunko, massiivipuutilaelementti, massiivipuutasoelementti, rankarunkoinen tilaelementti sekä hirsi/hirsihybridi. Puukerrostaloja esiintyy tilaston mukaan eniten 4 kerroksisina. Puukerrostalot ovat suomessa uusi trendi ja ne ovat yleistyneet huomattavasti viime vuosina. Rakennusmaailman huono taloustilanne on toisin saanut rakentamisen laskuun vuoden 2022 jälkeen. (Puuinfo, 2023a)



Kuva 1. Kaavio valmistuneista puukerrostaloasunnoista (Mukaihen Puuinfo 2023a).

Puukerrostalorakentamisen hitaaseen yleistymiseen Suomessa on monia tekijöitä. Yhdeksi syistä on osoittautunut korkeaksi koetut kustannukset sekä laatuun liittyvät ennakkoluulot. Moni rakennusliike ei omaa vielä suurta osaamista puukerrostalorakentamisesta. Sen sijaan useammalle rakentajalle on helpompaa rakentaa kerrostalo betonista tuttuun ja turvalliseen tapaan. Puurakentamisen kustannuksia on pyritty alentamaan moduulitekniikalla. Modulaarisen puurakentamisen saaminen kustannustehokkaaksi vaatii sen sijaan vielä työtä, koska isoon volyyymiin puurakentamisessa ei ole vielä Suomessa päästy. (Yle, Aliisa Uusitalo ja Tuomo Rintamaa, 2022)

### 3.2 Hyödyt

Moduulien valmistus tapahtuu tehdashalleissa sisätiloissa. Ne ovat siis koko valmistuksen ajan sääsuojassa. Rakenteet pysyvät kuivina koko valmistamisen ajan, jolloin saadaan estettyä kosteus- ja sisäilmaongelmien syntymistä. Kuivista oloista on myös etua työntekijöille. Tehokkuus, työturvallisuus sekä viihtyvyys nousevat huomattavasti, kun ei tarvitse työskennellä työmaalla sään armoilla. Moduuleihin saadaan tehtaalla tehtyä LVI- ja sähkötyöt, jolloin ne täytyy vain enää kytkeä lopullisessa sijoituspaikassa. Automaatio korostuu moduulien valmistuksessa tehtaalla, jolloin moduulien rakentaminen on hyvin nopeaa sekä rakennusjätteen määrä minimoituu. Myös virheiden määrä alenee automatisoitujen toimintojen ansiosta. (OC-System, 2020)

Modulaarinen rakentaminen on hyvin ympäristöystävällistä. Puu on uusiutuva rakennusmateriaali, jonka ansiosta sitä kannattaa ehdottomasti hyödyntää rakentamisessa. Modulaarinen puurakentaminen noudattaa kiertotalouden periaatteita ja elementtejä pystytään jalostamaan ja parantamaan tekemättä koko tuotetta uusiksi. Koska rakentaminen tapahtuu tehdasoloissa, syntyvä jäte pystytään lajittelemaan sekä hyödyntämään. Hiilijalanjälki on myös pienempi puurakentamisessa. Puu varastoi hiilidioksidia ja auttaa ilmastonmuutoksen torjumisessa. Kestävää kehitystä voi edistää käyttämällä puumoduuleissa kierrätyspuuta. Lisäksi puu rakennusmateriaalina tarjoaa energiatehokkaan eristyksen. (Elementit, 2023; OC-System, 2020)

Rakentaminen puumoduuleista on taloudellista. Nopeasti valmistuva moduuli on edullinen ylläpitää, ja sen remontointiin tai ylläpitoon ei tarvitse sitoutua vuosikymmeniksi. Puumoduuleja voidaan myös siirtää muihin käyttökohteisiin.

Modulaarinen puurakentaminen on siis hyvin muokattava rakennustapa. Valmistettaessa moduuli viimeisen päälle tehdasolosuhteissa kallis rakentamisaika minimoituu työmaalla. Taloudellisemman rakentamistavan modulaarisesta puurakentamisesta tekee myös tehdasvalmistuksen myötä tuleva mittatarkkuus. Se nopeuttaa työmaa-asennusta ja vähentää mahdollisia korjaustöitä, jotka omalta osaltaan saattavat lisätä kustannuksia. (OC-System, 2020; Fm-haus, 2024)

### 3.3 Esimerkkitapaus

Kohde sijaitsee Turun Linnanfältin puutaloalueella Fleminginkadulla. Kyseessä on As Oy Turun Puubygyeli, joka valmistui syksyllä 2020. Linnanfältin alue on Suomen yksi suurimmista puukerrostalohankkeista. Taloihin tuli yhteensä 70 huoneistoa. Puubygyeli koostuu A ja B rakennuksesta, josta A on nelikerroksinen ja B rakennus on kolmikerroksinen. Huoneistot ovat 25,5–46 m<sup>2</sup> yksiöitä ja kaksioita. Tontilla on myös talousrakennus, 15 autopaikkaa tontilla olevasta autokatoksesta sekä 15 autopaikkaa viereisten tonttien KOY Päivänsäde 3:n ja 4:n maanalaisesta pysäköintihallista. Projektin rakennuttaja toimi Ahti Invest Oy. Rakennesuunnittelusta vastasi Sweco Rakennetekniikka Oy, arkkitehtisuunnittelusta Schauman Arkkitehdit Oy, LVI- ja sähkösuunnittelusta Sitowise Oy sekä pääurakoitsijana toimi NCC Suomi Oy. (NCC, 2024)

Puukerrostalot rakennettiin puumoduuleina, joiden lattia, seinät ja sisäkatto asennettiin valmiiksi jo tehtaalla. Sen jälkeen moduulit kuljetettiin rakennuspaikalle, jossa ne yhdistettiin kokonaisuudeksi. Etuna oli, että moduulit pystyttiin asentamaan hyvin lyhyessä ajassa, jolloin rakentaminen vaihtelevissa Suomen sääolosuhteissa jäi lyhyemmäksi. Rakennustöistä jäi myös huomattavasti vähemmän haittaa ympäristölle, kun työmaalla tapahtuva melu jäi vähäiseksi ja rakennusjätettä syntyi vähemmän. Astel Modular on valmistanut moduulit kohteeseen. Yritys valmistaa moduulitaloja myös mm. kouluille, päiväkodeille sekä hotelleille. (NCC, 2024; Kirvesmiehet, 2024)

## 4 MODUULIRAKENTAMISEN HAASTEET

Moduulirakentamiseen liittyy myös haasteita, joita käsitellään tarkemmin tässä luvussa. Haasteita on tärkeä nostaa esiin aiheesta, sillä modulaarinen puukerrostalo rakentaminen on vasta yleistyvää ilmiö Suomessa. Kun haasteisiin kiinnitetään aikaisessa vaiheessa huomiota, saadaan myös ratkaisuja aikaiseksi opittaessa uutta aiheesta.

### 4.1 Kustannukset ja liiketoimintamallit

Liiketoimintamalleihin sovittaminen on yksi suurin modulaarisen puurakentamisen tämänhetkisistä ongelmista. Rakennusyhtiöt kokevat tilanteen, jossa suurin osa rakennuksesta tehdään muualla, haasteelliseksi. Sen sovittaminen liiketoimintamalleihin ja rakennustyömaalle on haastavaa. Kun rakennus valmistetaan tehtaalla suurimmaksi osaksi valmiiksi, vie tämä rakennusliikkeiltä liikevaihtoa ja katetta. Myös tehtaiden tulisi sitoutua kustannuksiin jo paljon aikaisemmassa vaiheessa, joka tarkoittaa tuotteiden standardisointia ja vakiointia enemmissä määrin. Toinen ongelmakohta on modulaariseen puurakentamiseen liittyvät puutteellinen kustannustietoisuus. Yrityksille on epävarmaa projektien tuottamat kustannukset, joka vaikeuttaa hankkeiden aloittamista ja vaikeuttaa sitoumuksia. Lisäksi puutavaran hinnan raju nousu on vaikuttanut osaltaan rakentamiseen. (Rakennuslehti, Hannu Lättilä, 2021)

Puurakentamista on yritetty edistää valtiotasolla 90-luvulta lähtien. Puun käyttö oli tarkoitus jopa kaksinkertaistaa lähivuosina julkisessa rakentamisessa, mutta tavoitteisiin ei olla päästy. Toisin kuin esimerkiksi Ruotsissa, jossa puukerrostalo rakentaminen on hyvin suosittua, Suomessa on rakennettu vain noin 150 puukerrostaloa 90-luvun jälkeen. Syitä tähän ovat kustannukset, ennakkoluulot sekä osaamisen puute. Puukerrostaloista ei ole paljon kokemuksia, joten myös suunnittelu poikkeaa ja on osaltaan haastavampaa. Rakentajat myös kokevat helpommaksi turvautua tuttuihin betonisiin rakennuksiin, koska niissä kustannukset ja toteutus ovat helpommin ennustettavissa. Vaikka modulaarinen puurakentaminen alentaa kustannuksia etupainotteisen valmistuksen ansiosta, niin sen saaminen kustannustehokkaalle tasolle on vielä haastavaa, koska valmistusmäärät ovat pieniä. Tilannetta varjostaa myös se, että puukerrostalo rakentamiseen liittyen alalla ei ole tarpeeksi toimijoita, ja lähivuosien kriisit ovat ajaneet joitakin yrityksiä konkurssiin. (Yle, Aliisa Uusitalo ja Tuomo Rintamaa, 2022)



Puurakentaminen uudisrakentamisessa tunnistetaan potentiaaliseksi haastajaksi perinteiselle betonirakentamiselle, mutta rakennusteollisuuden tulee muuttaa merkittävästi nykyisiä käytäntöjään. Kaupungeilla ja kunnilla on myös suuri kynnys kaavoittaa puurakentamista, koska on olemassa pelko siitä, että riittävätkö toteuttajat. Asuntotuotantotavoitteet eivät tämän takia täyty, ja asuntutuotannon hintataso nousee sekä hankkeiden toteutukset venyvät. Kaavoituksen pieni määrä johtaa myös siihen, että kysyntää ei löydy. Tämän takia tehtaiden tuotantokapasiteetin lisääminen on tuntunut teollisuuden näkökulmasta turhalta taloudelliselta riskiltä. (Demos Helsinki 2022, s. 16)

## 4.2 Osaaminen ja asenteet

Puurakentamisessa on osaamispulaa. Osaamisen jakaminen toimijoiden välillä on haastavaa. Tämä johtuu siitä, että rakennusala on projektivetoista sekä toimijoiden välinen kilpailu on syväälle juurtunutta. Lisäksi puurakentamiseen perehtyneitä toteuttajia ja suunnittelijoita on vähemmän kuin esimerkiksi betonirakentamisen puolella. Korkeakoulujen opetussuunnitelmissa on puurakentaminen ollut vähemmällä, ja harva työntekijä rakennusosalalla on saanut tarpeeksi puurakentamisen opetusta. Nykyinen puurakentamiseen liittyvä perustietämys on heikkoa sekä keskusteluyhteys tutkijoiden ja tekijöiden välillä on vähäistä. Tästä syystä oikean tiedon leviäminen on hidasta. Rakentamisen korkeakoulujärjestelmän olisi siis lisättävä puurakentamisen opintoja, mikä turvataan tulevaisuudessa riittävä suunnittelijoiden ja rakentajien määrä. Tämä edistäisi myös prosessien, teknologioiden ja toimintatapojen laajempaa leviämistä. Korkeakoulujen avulla edistettäisiin dialogia, ja tutkimusprojekteja rahoittamalla saadaan lisättyä oikeaa tietoa ja osaamista. (Demos Helsinki 2022, s.14; Demos Helsinki 2022, s.47–48)

Suunnittelukäytännöissä on tällä hetkellä puutteita puurakentamisessa ja tarkat suuntaviivat puuttuvat. Eurocode 8:sta puuttuu esimerkiksi riittävän tarkat ohjeistukset puurakennusten suunnitteluun maanjäristysalueille, joka on erittäin tärkeää missä tahansa rakenteessa. Rakennuksen kykyä vastustaa romahtamista kutsutaan vankkuudeksi. Osaaminen ja kestävyden tutkiminen keskittyy tällä hetkellä pääosin teräsbetoni- ja betonirakenteisiin. Rakennusmääräyksistä myös puuttuu joltakin osin tarkat ohjeet kestävyden suunnitteluun puurakenteiden osalta. Suunnittelijalle tulee vastaan myös haasteita jäykistyksestä, paloturvallisuudesta, äänieristyksestä sekä julkisivujen kestävydestä sekä kunnossapidosta. (Puuinfo, 2022a)

Puurakentamista leimaavia uhkakuvia ovat tällä hetkellä mielikuvat kalleudesta sekä rakennusprosessin riskit. Usein puurakentamista vastaan käytettyjä vasta-argumentteja ovat paloturvallisuus, energiatehokkuuskysymykset sekä akustiikkaongelmat. Betonirakentaminen mielletään helpommaksi vaihtoehdoksi, koska siinä on jo entuudestaan vahvat yhteistyösuhteet rakennuttajien ja elementtiteollisuuden välillä, mikä lisää luotettavuutta ja ennustettavuutta. Puun potentiaalia rakennusmateriaalina tulisi tuoda esille enemmän kuluttajille, sijoittajille, kaavoittajille sekä rakentajille. Ymmärrystä pitäisi myös lisätä puurakentamisen merkityksestä rakentamisen hiilineutraaliuden saavuttamiseksi. Näkemyksinä puun hyödyllisyyteen rakennusmateriaalina käytetään myös ekologisia ja fysio-tekniisiä ominaisuuksia sekä estetiikkaa ja hyvinvointivaikutuksia. Puurakennus synnyttää rakennukseen tunnelmaa, vaikuttaa positiivisesti mielialaan ja terveyteen sekä voi parantaa ilmanlaatua. Konkreettiset esimerkit voivat myös muuttaa myönteisesti suhtautumista puuhun rakennusmateriaalina. (Demos Helsinki, 2022, s.52–53)

### **4.3 Vakiointi**

Modulaarisessa puurakentamisessa rakennusosien, liitosten ja prosessivaiheiden vakiointi on tärkeää, jotta saataisiin edistettyä sen suosiota. Tämä tarkoittaa esimerkiksi puuelementtien, liitosten, prosessivaiheiden sekä moduulin mittojen yhtenäistämistä. Yhtenäistämisen positiivisena vaikutuksena on se, että tilaajien, suunnittelijoiden ja toteuttajien ei tarvitsisi nähdä liian suurta vaivaa eri rakenneratkaisujen pohtimisessa. Tällä hetkellä puutoimittajien käytäntöjen huomioon ottaminen vaatii kattavaa ymmärrystä osista, liitoksista sekä prosesseista. Lisäksi täytyy ymmärtää niiden eriävyydet. Vakiointi helpottaisi ja vähentäisi siis huomattavasti suunnittelijalle kertyvää työmäärää. Se myös edistäisi tilaajien ja tuottajien yhteistyötä, helpottaisi tilaajien työtä sekä varmistaisi tuottavuuskehityksen ja tuotantovarmuuden. Vakioinnin edistämiseksi tulisi jatkaa vakiointi- ja yhteensovittamistyötä, kehittää tietomallinnusta sekä kehittää yhteisiä referenssipankkeja, jotka tukevat tilaajaosaamisen kehittymistä. Vuoden 2022 aikana syntyi puuteollisuuden puurakentamisen tuotettavuusloikkahankkeessa 14 vakioitavan kohdan lista sekä avoin vakiointikirjasto. (Demos Helsinki 2022, s.35–36)

Suurimmat ongelmat etenkin rakennesuunnittelussa löytyvät asioista, joista ei ole yleispätevää ohjeistusta tai näkemystä. Näitä ovat esimerkiksi kerrostalon jäykistämisen suunnittelu ja mitoitus, elementti- ja kohdesuunnittelijan liitosratkaisut rajapinnassa sekä näiden liitosten mitoittaminen. Puukerrostalojen suunnittelu on muilta osin insinööritoimistoissa rutiininomaista. Suunnittelua voidaan tehostaa, kun käyttöön tuotetaan ennalta vakioituja rakenneratkaisuja. Tässä tapauksessa suunnittelija mitoittaa vain vakioitujen ratkaisujen parametrit vastaamaan rakennuskohteen vaatimuksia. Modulaarinen puurakentaminen tarjoaa hyvät edellytykset vakioinnille. Tilaelementtirakentamisessa voidaan vakioida koko moduuli sekä sen kaikki rakenneratkaisut. Optimaalisessa tapauksessa suunnittelija löytää suunnitteluohjelmistosta valmiin tilaelementtiobjektin, jonka parametrit säädetään kohteeseen sopivaksi. Vakioinnin avulla suunnittelusta tulee myös yhteensopivaa ja läpinäkyvämpää. Verrattuna nykyhetkeen, rakenneratkaisujen tiedot mallinnuksesta ja suunnittelusta ei ole yleisesti tiedossa. Se riippuu tuotteen valmistajasta ja suunnittelijasta. Vakiointi tarkoittaa rakennusprojektin kustannusarvioita olennaisesti, koska suunnitteluprosessin epävarmuudet ja riskit häviävät suurilta osin. (Puuinfo, 2022b, s.25)

## 5 TULEVAISUUDEN NÄKYMÄT

Modulaarinen puurakentaminen on selkeästi tulevaisuuden trendi ja varteenotettava haastaja betonirakentamiselle. Tässä luvussa käsitellään miltä modulaarinen puurakentaminen näyttää tulevaisuuden Suomessa.

### 5.1 Ympäristön ja toiminnan luomat muutokset

Toimintaympäristön muutokset ovat muuttaneet rakennusalaa viime vuosina. Rakennusalaa ovat ravistelleet mm. koronakriisin aiheuttama taloustaantuma vuonna 2020, jonka jälkeen asuntorakentaminen vaihtui jyrkkään nousuun, toimitilarakentamisen kärsiessä samanaikaisesti epävarmuudesta. Lisäksi Venäjän hyökkäys Ukrainaan alkukevästä 2022 aiheutti taantumaa rakennusalalle. Kriisit ovat yhdessä aiheuttaneet epävarmuutta rakennusalalle painaen rakentamisen määriä alaspäin. Rakennusalan näkymät ovat sumentuneet lähitulevaisuudessa, koska rakentamiseen on vaikuttanut vahvasti inflaatio, korkomäärien nousu sekä toimijoiden irtisanomiset. Tämä uhka taloustaantumasta ja rakentamisen hyytymisestä pakottaa toimijoita keskittymään perusrakentamiseen. Tämä tarkoittaa sitä, että on hyvin riskialtista ja epävarmaa lähteä mukaan uuden kehittämiseen. Matalasuhdanne vaikuttaa myös puutuoteyritysten mahdollisuuteen saada rahoituksensa kasvuun. Matalasuhdanteen ansiosta toisaalta julkisen rakentamisen osuus rakentamisen kokonaisuudessa kasvaa. Julkisilla toimijoilla on siis mahdollisuus ajaa puurakentamista eteenpäin hankkeissaan. Rakentamisen hiljaisena aikana on myös mahdollisuus kunnilla ja kaupungeilla miettiä kaavoitusta ja tonttipolitiikkaa vähäpäästäisempään suuntaan ja mahdollisuutta puurakentamiseen. (Demos Helsinki, 2023, s.3–4)

Rakentaminen on keskittynyt viimeiset 15 vuotta suurimpien kaupunkiseutujen uudisrakentamisen alueille, jotka ovat hyvillä sijainneilla ja alueen koolta suhteellisen suuria alueita. Tämä tarkoittaa suuria, tuottoisia ja tehokkaita kohteita rakennuttajille. Esimerkiksi Helsingissä, Turussa, Espoossa, Tampereella ja Vantaalla uudisalueiden rakentaminen jatkuu vielä koko 2020-luvun ajan. Tällä hetkellä ei kuitenkaan voida varmasti ennustaa jatkuuko samankaltainen kaupunkirakentaminen tulevaisuudessa vai muuttuuko se jollain tavalla. Koronapandemia suuntasi hetkellisesti ihmisten kiinnostusta asua kaupunkiseutujen reuna-alueilla, joten puurakentamisen kasvu voi siis kohdistua tiiviiden kaupunkimaisten alueiden puukerrostalorakentamiseen. Tähän kuitenkin

vaikuttaa osaltaan kaupunkirakentamisen ja suunnittelun kehitys. (Demos Helsinki, 2023, s.4)

Rakennuskustannukset ovat olleet jyrkässä nousussa vuoden 2020 jälkeen. Siihen vaikutti korona-elvytyksen rakentamisinvestoinnit sekä myöhemmin vielä Ukrainan sota, joka aiheutti saatavuusongelmia rakennusaineille sekä energiakriisin. Puurakentamisen kustannusten ennakoitavuus on kärsinyt pahasti puutavaran ja rakennusmateriaalien hintojen rajusta heittelystä. Tämän vuoksi myös puurakennushankkeiden eteneminen on vaikeutunut. Suoraan puutuotteiden hintaan Suomessa on vaikuttanut puutavaran tuonnin loppuminen Venäjältä. Tästä syystä kasvuedellytykset puurakentamiselle ovat kaventuneet. Tällä hetkellä sota Ukrainassa jatkuu ja ei voida ennustaa tulevaisuuden kaupankäynnistä Venäjän kanssa, joten rakennusmateriaalien ja tuotantokustannuksien hinta tulee pysymään korkealla. Lisäksi on odotettavissa hinnan vaihteluita hintakilpailun takia riippuen kyseisen raaka-aineen sen hetkisestä saatavuudesta (Demos Helsinki, 2023, s.4)

Suomella on tavoite olla hiilineutraali vuoteen 2035 mennessä. Rakennusalan on siis vähennettävä nopealla ajalla merkittävästi päästöjään, sillä rakennukset ja rakentaminen aiheuttavat noin kolmanneksen kasvihuonepäästöistä Suomessa. Rakentamislaiissa on ohjauksena rakennuksen elinkaaren aikainen hiilijalanjälki, mikä pakottaa kunnat viemään rakentamista kohti ympäristöystävällisempiä rakennusmateriaaleja. Lisäämällä puurakentamista saataisiin konkreettisesti madallettua rakentamisen hiilipiikkiä ja sitoa hiiltä. Tulevina vuosina Euroopan unionin ulkopuolelta tulevien betoni- ja sementtituotteiden hintaa nostetaan päästökaupan vaikutuksia vastaavalle tasolle. Tämä johtuu eurooppalaisen päästökauppajärjestelmän uudistumisesta. Tästä syystä puu rakennusmateriaalina kasvattaa kilpailukykyään toistaiseksi. Eurooppalainen ilmastopolitiikka ja European Green Deal -politiikka tukevat vahvasti puun ja vähäpäästöisten raaka-aineiden käyttöä rakentamisessa tulevaisuudessa. Puurakentamisen lisääntyminen ei voi kuitenkaan tapahtua lisäämällä nykyisiä hakkuumääriä. Suomen kyky täyttää kansainvälisiä ja eurooppalaisia veloitteitaan ja hiilineutraalisuustavoitteita vaikeutuisi. Rakentamiskäytön puusta pitäisi siis syrjäyttää muita puunkäytön muotoja. Lisäksi sen on tarjottava markkinoille korkea-arvoisempia ja pitkäaikaisemmin hiiltä sitovia tuotteita. (Demos Helsinki, 2023, s.5)

## 5.2 Kysyntä

Puukerrostaloasuntoja on toteutumassa mahdollisesti tällä hetkellä 14 340 kappaletta. Ympäristöministeriön tilaaman selvityksen mukaan puukerrostalojen määrä on siis pienessä kasvussa. Syitä kiinnostukseen puuhun rakennusmateriaalina ovat esimerkiksi sen uusiutuvuus sekä hiilen varastointi. Päästö vähenevät, ja puulla pystytään luomaan kaunista arkkitehtuuria. Keväällä 2022 tehdyn selvityksen mukaan Suomeen on rakenteilla tai suunnitteilla noin 61 eri puukerrostalohanketta. Hankkeista 26 kappaletta toteutuu varmasti. Tilastoarvoihin on vain huomioitu vähintään kolmikerroksiset hankkeet. Hankkeet keskittyvät suurilta osin Uudellemaalle ja Pirkanmaalle, mutta niitä on myös suunnitteilla tasaisesti ympäri Suomea kolmeentoista maakuntaan. Kasvukeskuksissa ollaan hyvin kiinnostuneita puun käytöstä rakentamisessa, jossa keskitytään asumisen lisäksi myös toimistorakentamiseen puusta. (Ympäristöministeriö, 2022)

Puurakentamisen imagon parantamisessa ja valtavirtaistamisessa julkiset rakennuttajat voivat näyttää suuntaa ja esimerkkiä. Puurakentamisella kunnat pääsevät myös lähemmäksi ilmastotavoitteitaan. Tämä tekee puurakentamisesta houkuttelevampaa myös yksityisellä puolella sijoittajien ja kuluttajien näkökulmasta. Esimerkiksi sijoittajille on tärkeää saada paras mahdollinen tuotto pääomalleen huomioiden samalla kestävyys- ja hiilineutraalisuustavoitteet. Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus (ARA) on kuluvalle hallituskaudella maksanut käynnistysavustusta puurunkoisille kerrostaloille. Tulevaisuudessa ARA-kriteeristö voisi laajemminkin toimia ohjauskeinona puurakentamisen edistämiseksi. Asunnon sijainti ja hinta ohjaavat ensisijaisesti kuluttajien päätöksiä asuntomarkkinoilla. Tulevaisuudessa etenkin laatu-, kestävyys- ja terveystekijät voivat kasvattaa kuluttajien maksuhalua puukerrostaloasuntoihin. Puurakentamisen kasvaminen ja yleistyminen tulevaisuudessa voivat myös kasvattaa osaltaan kuluttajien luottamusta. Pienkerrostaloasuntojen houkuttelevuudesta on myös viitteitä tällä hetkellä pääkaupunkiseudulla. Esimerkiksi puukerrostalojen huoneistoista Helsingissä ollaan valmiita maksamaan 9 % korkeampaa hintaa kuin normaalista kerrostaloasunnosta. Tämä ilmiö voi myös tulevaisuudessa levitä muihinkin Suomen suurimpiin kaupunkeihin. (Demos Helsinki, 2023, s.8–10)

### 5.3 Puurakentamisen kehitys

VTT (Valtion teknillinen tutkimuslaitos) toteaa teollisen puurakentamisen olevan murrosvaiheessa kohti siirtymistä rakentamisen normaaliksi käytännöksi massiivipuulevytuotteiden ja elementtirakenteiden avulla. Hankemalleista, vaiheista, prosesseista sekä toteutusmuodoista on syntynyt yleistä ymmärrystä kehityshankkeiden kautta, erityisesti puukerrostalojen ja julkisten rakennushankkeiden pohjalta. Useat toimialan tuottajat ovat kehittäneet omia puutalokonsepteja, minkä avulla yritetään saada markkinat kasvuun kotimaassa. Lähitulevaisuudessa puurakentamisen osuuden uusien kerrostalon aloituksista odotetaan kasvavan nykyisestä viidestä prosentista jonkun verran. (Demos Helsinki, 2023, s.6)

Keskeisenä haasteena puurakentamisen edistämiseen on kysynnän ja tarjonnan epävarmuudet. Tahtotilaa kunnilta löytyy sen edistämiseen, mutta tuotantokapasiteetin riittävyyden epävarmuus hillitsee puurakentamisen velvoittamista esimerkiksi asemakaavoituksella. Vaikka monet puurakentamisen toimijat ovat pieniä ja niitä on vähän, on huomattava, että toimittajien kapasiteetti riittäisi kattamaan kotimaan markkinat hyvin. Haasteellista rakentajille ja tuottajille on liian vähäinen ja vaihteleva tilauskanta. Sen takia tuottajat ja rakentajat eivät pysty tekemään investointeja tuotantokapasiteetin nostoon ilman varmuutta riittävästä kysynnästä. Vuoteen 2025 mennessä hallitusohjelma tavoittelee puurakentamisen markkinaosuudeksi 45 prosenttia. Puurakentamisen kehityksen ohessa on tärkeää myös, että siihen liittyvää digitalisaatiota ja kiertotaloutta kehitettäisiin. (Demos Helsinki, 2023, s.6–7)

Puurakentamisen painopiste tulevaisuudessa siirtyy yhä enemmän ja enemmän teolliseen esivalmistukseen, kuten tilaelementteihin. Tilaelementit valmistetaan tehtaissa, ja ne helpottavat prosessin hallintaa edistäen samalla rakennustuotannon laadukkaampaa lopputulosta. Kilpailuvaltti puurakentamisessa on sen keveydessä, mikä tekee elementtien kuljettamisesta helppoa. Kuitenkin suuremmassa mittakaavassa esivalmisteinen rakentaminen vaatii liiketoiminta- ja toteutusmallien muuttamista kaikessa kokonaisuudessaan, joten tulevaisuudessa riittää vielä työtä prosessien omaksumisessa sekä osajien kouluttamisessa. Avainasemassa teollisen esivalmistuksen ja alan tuottavuuden kasvattamisessa on rakennusosien ja niiden tuotannon vakiointi. Vaikka alalla on jo saatavissa myös vakioituja avoimessa käytössä olevia ratkaisuja, on niitä kuitenkin yleisessä käytössä hyvin vähän ja valmistajat kehittävät ennemmin omia

ratkaisujaan. Vakiointi on tilaajan näkökulmasta myös edullinen, sillä ratkaisut olisivat tarjolla suunnitteluohjelmissa ja rakennusprosessin riskit vähenisivät. (Demos Helsinki, 2023, s.7)



## 6 YHTEENVETO

Kandidaatintyön tarkoituksena oli perehtyä yleiskatsauksellisesti modulaariseen puurakentamiseen Suomessa. Aihetta tarkasteltiin puukerrostalorakentamisen näkökulmasta. Kandidaatintyö perehtyi puisten tilaelementtien yleisimpiin rakennusmateriaaleihin, valmistusketjuun suunnittelusta aina asennukseen saakka sekä tilaelementtien lujuuteen ja jäykkyyteen. Tämän lisäksi perehdyttiin puukerrostalorakentamiseen Suomessa, esiteltiin esimerkki tapaus modulaarisesta puukerrostaloista, pohdittiin valmistustavan hyötyjä ja haittoja sekä pohdittiin tulevaisuuden näkymiä.

Moduulivalmisteiset puukerrostalot ovat erinomainen ja varsin varteenotettava haastaja perinteiselle betonikerrostalorakentamiselle. Puukerrostalorakentamisesta löytyy paljon hyötyjä. Isoin hyöty liittyy suoraan hiilijalanjälkeen. Rakentaminen aiheuttaa hyvin suuret hiilidioksidi päästöt maailman mittakaavassa. Puu on uusiutuva materiaali, joka on erinomainen valmistusmateriaali matkalla kohti ympäristöystävällisempää rakentamista. Modulaarisen valmistustavan korkea esivalmistusaste nopeuttaa myös rakennusprojektia, sekä takaa laadukkaamman lopputuloksen rakennustuotteelle. Moduuli voidaan valmistaa kokonaiseksi tehtaalla, jonka jälkeen se voidaan suoraan kuljettaa työmaalle asennettavaksi. Tehdasvalmistus takaa myös sen, että moduuli on sääsuojassa koko valmistusprosessin ajan sekä työ on millintarkkaa. Puumoduulit valmistetaan yleensä massiivipuulevytuotteista.

Suurimmat epävarmuudet modulaarisessa puurakentamisessa kohdistuvat tällä hetkellä siihen, kuinka ne istuvat yritysten liiketoimintamalleihin. Puukerrostalo rakentaminen on Suomessa uusi trendi ja markkinoilla vallitsee epävarmuus sen kannattavuudesta. Korkea esivalmistusaste vie yrityksiltä liikevaihtoa ja katetta. Puutteellinen kustannustietoisuus vaikeuttaa yrityksiä projektien kustannusten arvioinnissa sekä vaikeuttaa sitoutumista projekteihin. Muita haasteita modulaarisen puurakentamisen saralla ovat rakennustuotteiden ja tilaelementtien vakiointi sekä osaaminen puurakentamisen saralla. Vakiointia pitäisi kasvattaa rakennustuotteissa ja tilaelementeissä, jotta tilaajan ja suunnittelijan työ helpottuisi sekä epävarmuus erilaisista rakenneratkaisuista vähenisi. Lisäksi osaamista puurakentamisesta tulisi kasvattaa, jotta turvataan alan ammattilaisten riittävyys myös tulevaisuudessa.

Suomessa puukerrostalorakentaminen on vielä hyvin vähäistä, mutta sillä on potentiaalia kasvattaa asemaansa markkinoilla tulevaisuudessa. Puurakentamista tuetaan valtion ja Euroopan tasolla huomattavasti, mikä antaa toivoa tulevaisuuden puurakentamisen osalta. Rakennusala varjostaa tällä hetkellä lähimenneisyydessä tapahtuneet kriisit, jotka ovat kasvattaneet rakennustuotteiden hintoja, lisänneet korko tasoja sekä vähentäneet asuntojen ostamista. Tällä hetkellä tilanteen kestosta ei pystytä sanomaan mitään, mutta rakentamisen elpyessä yritykset uskaltavat laittaa käytäntöön uusia liiketoimintamalleja, jotka voivat edistää puurakentamista Suomessa merkittävästi.

## LÄHDELUETTELO

Demos Helsinki, 2022. Nöyrä Puu, Puurakentamisen Peruskirja [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://demoshelsinki.fi/wp-content/uploads/2022/11/No%CC%88yra%CC%88-Puu-Puurakentamisen-peruskirja.pdf> [viitattu 04.03.2024]

Demos Helsinki, 2023. Puurakentamisen tulevaisuus-loppuraportti [verkkodokumentti]. Saatavissa [https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/c6a6a9dc-0592-494e-82cd-00ec8d20065e/ab767032-1b60-4f24-be97-3bfe1b8c7f56/RAPORTTI\\_20230308111645.pdf](https://api.hankeikkuna.fi/asiakirjat/c6a6a9dc-0592-494e-82cd-00ec8d20065e/ab767032-1b60-4f24-be97-3bfe1b8c7f56/RAPORTTI_20230308111645.pdf) [viitattu 04.03.2024]

Elementit, 2023. Puukoulu-Puurakentamisella kohti vähähiilisempää huomista [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://elementit.fi/puukoulu-puurakentamisella-kohti-vahahiilisempaa-huomista/> [viitattu 29.01.2024]

Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus, 2023. Erikoiskuljetukset [verkkodokumentti]. Saatavissa [https://www.ely-keskus.fi/erikoiskuljetukset?p\\_p\\_id=56\\_INSTANCE\\_K4sDRpIC65zk&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-8&p\\_p\\_col\\_pos=1&p\\_p\\_col\\_count=2#Milloin](https://www.ely-keskus.fi/erikoiskuljetukset?p_p_id=56_INSTANCE_K4sDRpIC65zk&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-8&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2#Milloin) [viitattu 16.10.2023]

Fm-haus, 2024. Moduuli mullistaa rakentamisen [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://fm-haus.fi/toimintatapa/moduulirakentaminen/> [viitattu 29.01.2024]

Kirvesmiehet, 2024. Työnäyte: Moduulitalo Puubygeli-70 asunnon kirvesmiestyöt [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://kirvesmiehet.com/tyonayte/moduulitalo-puubygeli-70-asunnon-kirvesmiestyot/> [viitattu 30.01.2024]

NCC, 2024. Projektit: Puubygeli-Turku [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://www.ncc.fi/projektit/puubygeli-turku/> [viitattu 29.01.2024]

OC-System, 2020. Artikkelit, Moduulirakentaminen on nopeaa ja myös ympäristömyötäistä [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://www.oc-system.fi/artikkelit/moduulirakentaminen-on-nopeaa-ja-myos-ymparistomyotaista/> [viitattu 29.01.2024]

Promodules, 2024. Tilaelementtitehtaat [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://www.promodules.fi/tilaelementtitehtaat/> [viitattu 03.03.2024]

Puuinfo, 2023a. Arkkitehtuuri: Asuinkerrostalot, Suomessa toteutetut puukerrostalot [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://puuinfo.fi/arkkitehtuuri/asuinkerrostalot/suomessa-toteutetut-puukerrostalot/> [viitattu 13.01.2024]

Puuinfo, 2022a. Korkeat puurakennukset: mahdollisuudet, edut, haasteet ja näkymät [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/2022/10/21/korkeat-puurakennukset-mahdollisuudet-edut-haasteet-ja-nakymat/> [viitattu 04.03.2024]

Puuinfo, 2023b. Massiivipuulevyrakenteet: Materiaalivaihtoehdot. Saatavissa: <https://epuu.fi/jarjestelmat> [viitattu 16.10.2023].

Puuinfo, 2020a. Puutieto: Insinööri tuotteet, Liittimillä kootut massiivipuulevyt (NLT, MHM, DLT) [verkkodokumentti] Saatavissa: <https://puuinfo.fi/puutieto/insinoorituotteet/olet-taalla-liittimilla-kootut-massiivipuulevyt-nlt-mhm-dlt/> [viitattu 16.10.2023].

Puuinfo, 2020b. Rakenteet: Massiivipuulevyrakenteet, Materiaalivaihtoehdot [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/materiaalivaihtoehdot/> [viitattu 16.10.2023].

Puuinfo, 2020c. Rakenteet: Massiivipuulevyrakenteet, Perustukset [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/perustukset/> [viitattu 29.10.2023]

Puuinfo, 2020d. Rakenteet: Massiivipuulevyrakenteet, Rakennuksen jäykistys [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/rakennuksen-jaykistys/> [viitattu 29.10.2023]

Puuinfo, 2020e. Rakenteet: Massiivipuulevyrakenteet, Rungon toimintaperiaate [verkkodokumentti]. Saatavissa:

<https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/rungon-toimintaperiaate/> [viitattu 29.10.2023]

Puuinfo, 2020f. Rakenteet: Massiivipuulevyrakenteet, Soveltuvuus kantavana runkona [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://puuinfo.fi/rakenteet/massiivipuulevyrakenteet/soveltuvuus-kantavana-runkona/> [viitattu 03.03.2024]

Puuinfo, 2020g. Rakenteet: Puukerrostalot, Runkojärjestelmät [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/puukerrostalon-runkojarjestelmat/> [viitattu 29.10.2023]

Puuinfo, 2020h. Rakenteet: Puukerrostalot, Suunnittelu [verkkodokumentti]. <https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/> [viitattu 03.03.2024]

Puuinfo, 2022b. Teollisen puurakentamisen tuottavuusloikka [verkkodokumentti]. Saatavissa [https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2022/08/Teollisen-puurakentamisen-tuottavuusloikka\\_Puu-lehden-erikoisnumero-2022.pdf](https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2022/08/Teollisen-puurakentamisen-tuottavuusloikka_Puu-lehden-erikoisnumero-2022.pdf) [viitattu 04.03.2024]

Rakennus-lehti, 2021. Hannu Lättilä. Toas: Modulaarinen puurakentaminen istuu huonosti rakennusliikkeiden liiketoimintamalleihin [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.rakennuslehti.fi/2021/10/toas-modulaarinen-puurakentaminen-istuu-huonosti-rakennusliikkeiden-liiketoimintamalleihin/> [viitattu 03.03.2024]

RT 103546, 2023. Puukerrostalohankkeen erityispiirteet [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://kortistot.rakennustieto.fi/api/content/27012#page=1> [viitattu 14.03.2024]

Talotekniikka-lehti, 2022. Anne Soininen. Puurakentamisessa suunnittelun merkitys korostuu – Tilaelementtien talotekniikka tehdään tehtaalla kuukausia ennen työmaavaihetta [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://talotekniikka-lehti.fi/puurakentamisessa-suunnittelun-merkitys-korostuu-tilaelementtien-talotekniikka-tehdaan-tehtaalla-kuukausia-ennen-tyomaavaihetta/> [viitattu 16.10.2023]

Yle, 2022. Aliisa Uusitalo ja Tuomo Rintamaa. Rakennukset, Puukerrostaloista ei ole tullut Suomen rakentamisen lippulaivaa, vaikka valtio toivoo toisin – hidasta vauhtia

selittävät raha ja tottumukset [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://yle.fi/a/74-20005941> [viitattu 13.01.2024]

Ympäristöministeriö, 2022. Selvitys: Puurakentaminen hienoisessa kasvussa asuinkerrostaloissa [verkkodokumentti]. Saatavissa <https://ym.fi/-/selvitys-puurakentaminen-hienoisessa-kasvussa-asuinkerrostaloissa> [viitattu 04.03.2024]