Tampereen yliopisto

Topias Vuorinen

PUUKERROSTALOJEN TUOTANTOTEKNIIKAN ERITYISPIIRTEET

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Juha-Matti Junnonen
05/2022

TIIVISTELMÄ

Topias Vuorinen: Puukerrostalojen tuotantotekniikan erityispiirteet
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka
Toukokuu 2022

Puukerrostalorakentaminen on Suomessa vielä vähäistä, mutta alaa tutkitaan jatkuvasti enemmän ja rakentamisen määrä on kasvussa. Puukerrostaloja voidaan rakentaa monella eri menetelmällä ja näin ollen tuotantotekniset erityispiirteetkin vaihtelevat kohteen perusteella. Puurakenteiset kerrostalot ovat nostamassa markkinaosuuttaan Suomessa reilusti tulevien vuosien aikana. Tätä voidaan selittää puukerrostalohankkeiden käynnistysavustuksilla ja ekologisuudella markkinoimalla.

Tässä työssä on analysoitu puukerrostalon rakentamisen tuotantotekniikan erityispiirteitä ja vertailtu näitä betonikerrostalon rakentamisen piirteisiin. Työn tavoitteena on selvittää nämä erityispiirteet ja selvittää, miten ne eroavat betonikerrostalosta ja vaikuttavat esimerkiksi kustannuksiin ja aikatauluihin. Tavoitteen saavuttamiseksi on muodostettu tutkimuskysymyksiä, jotka ovat: 1) Mitä ovat puukerrostalon rakentamisen tuotantotekniikan erityispiirteet? 2) Miten nämä erityispiirteet eroavat betonikerrostalon piirteistä? 3) Miten erityispiirteet vaikuttavat kohteeseen esimerkiksi aikatauluun ja kustannuksiin? Puukerrostalorakentamisen ollessa erilaista kuin betonirakentamisen, on eroja oleellista tutkia miettien odotettua markkinaosuuden kasvua.

Rakentamisen tuotantotekniikka kätkee käsitteenä alleen monia osatekijöitä. Nämä osatekijät muodostavat yhden kohteen tuotantotekniset piirteet ja kertovat, miten kohde valmistuu. Tuotantotekninen osaaminen on tärkeässä roolissa tekniikan aloilla ja varsinkin rakentamisessa. Työssä on löydetty useita eroja puu- ja betonirakentamisen tuotantotekniikoiden välille ja niitä on tutkittu. Merkittäviä eroja olivat nostokalusto, rakennusaikainen kosteudenhallinta, paloturvallisuus, ääneneristys ja näistä johtuvat kustannukset.

Suomessa puukerrostaloja pidetään kalliina rakentaa, mutta kustannukset betonikerrostaloon verrattuna ovat tasaantumassa. Puurakenteisten kerrostalojen kustannukset kasvavat erilaisten määräysten ja työmenetelmien seurauksena ja sitä on työssä analysoitu.

Avainsanat: Puurakentaminen, betonirakentaminen, kerrostalo, tuotantotekniikka

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO 1
1.1 Tausta 1
1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset 1
2. RAKENTAMISEN TUOTANTOTEKNIIKKA 3
2.1 Tuotantotekniikan osatekijät 3
2.2 Rakennustyön aloitus 4
2.3 Perustustyöt 4
2.4 Runkotyöt 4
2.4.1 Betonirunkotyöt 5
2.4.2 Teräsrunkotyöt 5
2.4.3 Puurunkotyöt 6
2.5 Vesikattotyöt 6
2.6 Talotekniikka 7
2.7 Rakennuskoneet 7
2.8 Jätehuolto 7
3. ERITYISPIIRTEIDEN VERTAILU BETONIKERROSTALOON 9
3.1 Nostokalusto ja asennus 9
3.2 Rakennusaikainen kosteudenhallinta 10
3.3 Paloturvallisuus 12
3.4 Äänneristys 12
3.5 Kustannustarkastelu 14
4. YHTEENVETO 16
LÄHTEET 18

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Vuonna 2021 Suomeen aloitettiin 32 000 kerrostaloasunnon rakentaminen (Rakennusteollisuus 2021). Kerrostaloksi määritellään rakennus, jossa on vähintään kolme asuntoa ja kaksi niistä päällekkäin. Jotta kerrostalo saa puu-etuliitteen, tulee sen kantavien rakenteiden olla pääosin puuta. Puukerrostalojen määrä on lisääntynyt viime vuosikymmenellä paljon. Puukerrostaloilla yleisimpiä rakennustapoja ovat rankarakenteiset puuelementit, rankarakenteiset tasoelementit, massiivipuulevyrakenteiset tasoelementit sekä massiivipuurakenteiset tilaelementit. (Puuinfo 2020) Suuri tekijä puurakentamisen nousulle on ollut energiatehokkuustavoitteet.
Suomen kerrostalotuotannosta suurin osa on betonirakenteista. Vuonna 2019 Suomeen rakennetuista asuinkerrostaloista 3 % oli puurakenteisia. Vuonna 2022 puun markkinaosuuden odotetaan olevan 22 % ja vuonna 2025 46 %. Markkinaosuuden nousua selittää esimerkiksi se, että Asumisen rahoitus- ja kehittämiskeskus ARA antaa korotettua käynnistysavustusta puurakenteisten vuokra-asuntojen rakentamiseen. (Ympäristöministeriö 2020)

Hiilijalanjäljen pienentäminen on yksi näkökanta puurakentamiselle. Kun tarkastellaan koko puurakennuksen elinkaarta valmistuksesta materiaalien kierrätykseen, on hiilijalanjälki pienempi kuin betonirakentamisessa. Kansallisen energia- ja ilmastostrategian mukaiset energia- ja ilmastotavoitteet ovat saavutettavissa rakentamisen osalta lisäämällä puuta rakennusmateriaalina. (Maa- ja metsätalousministeriö 2021) Ympäristöministeriön puurakentamisen ohjelmassa esitetään puurakentamisen tavoitteet ja tuodaan ilmi, miksi puurakentamista tulisi lisätä. Rakennukset ovat suuria hiilivarastoja ja puurakenteinen kerrostalo pystyy varastoimaan tehokkaasti hiiltä. Puukerrostalo on noin 10–40 % vähähiilisempi koko elinkaaren ajalla kuin betonikerrostalo.

1.2 Tavoite ja tutkimuskysymykset

Puukerrostalolla ja betonikerrostalolla on monia tuotantoteknisiä eroavaisuuksia. Koska elementit ovat erilaisia, on nostokalustoissa ja rakennustöiden aikatauluttamisessa

eroja. Tutkimuksen tavoitteena on tuoda esille näitä eroja tuotantoteknisissä erityispiirteissä. Tutkimuksen tavoitteeseen pääsemiseksi muodostettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Mitä ovat puukerrostalon rakentamisen tuotantotekniikan erityispiirteet?
2. Miten nämä erityispiirteet eroavat betonikerrostalon piirteistä?
3. Miten erityispiirteet vaikuttavat kohteeseen esimerkiksi aikatauluun ja kustannuksiin?

2. RAKENTAMISEN TUOTANTOTEKNIIKKA

2.1 Tuotantotekniikan osatekijät

Tuotantotekninen osaaminen on rakennushankkeessa tärkeää. Tuotantotekniikan tunteminen vaikuttaa rakennusprosessissa jokaiseen asiaan suunnittelusta logistiikkaratkaisuihin ja työturvallisuuteen. Työmailla on rajatut mahdollisuudet valmistaa tuotteita, jolloin suuri osa pitää tilata ja tällöin tuotantotekninen osaamisesta tulee olennaista. (Koski 2010)

Tuotantoa tulee suunnitella ja ohjata koko hankkeen läpi. Tavoitteena on valmistaa tuote valmiiksi määrätyssä ajassa, ja tätä varten tarvitaan suunnittelua ja ohjausta. Hankkeen kokonaisuuteen sisältyy monia pieniä projekteja, jotka jokainen tulee suunnitella ja toteuttaa erikseen. Suunnitelmat voidaan jakaa projektitason suunnitelmiin, yksittäisen tehtävän suunnitteluun tai aikajärjestyksessä suunnitteluun. (Koski 2010 s. 14–16) Näillä huolellisilla suunnitelmilla pystytään pitämään hanke aikataulullisesti ja taloudellisesti sovituissa rajoissa. Huolellinen suunnittelu ja ohjaus ovat myös laadunvarmistuksen kannalta tärkeitä.

Rakennustyön aikana laadunvarmistuksen varmistamiseksi tulee tehdä erilaisia tarkastuksia ja mittauksia. Eri rakennusvaiheista tehtyjä tarkastuksia ja mittauksia tulee dokumentoida työn aikana. On tärkeää, että kaikkien piiloon jäävien työvaiheiden dokumentointi on tehty, jotta voidaan varmistua niiden olevan kunnossa. Myös näkyviin jäävien töiden dokumentointi on tärkeää. (Koski 2010 s. 18) Kohteen tilaajan ja käyttäjän on saatava tietoonsa, että rakennustyöt on tehty huolella.

Työturvallisuus on tärkeä osa tuotantotekniikkaa. Lait määräävät ja velvoittavat yritykset huolehtimaan turvallisuudesta. Työturvallisuus vaikuttaa aina hankkeiden budjetointiin asti. Tapaturmat aiheuttavat paljon kustannuksia, ja niitä välttämällä pystytään alentamaan rakennushakkeen kustannuksia. Tapaturmat vaikuttavat myös työympäristöön ja henkilöstön moraaliin. Työturvallisuutta on tärkeä johtaa, ja sen johtaminen alkaa jo yrityksen johtotasolta. Loppujen lopuksi vastuu omasta tekemisestä on tekijällä itsellään, mutta työmailla turvallisuuden valvominen on tärkeää. Työturvallisuuden riskejä tulee arvioida ja hallita. Tähän kuuluu erilainen suunnittelu ja työnaikaisten riskien minimoiminen valvonnalla ja mittauksia tekemällä. (Koski 2010 s. 20–28)

2.2 Rakennustyön aloitus

Suunnittelun ja alkuhankintojen jälkeen ajankohtaisena aiheena on työmaan perustaminen. Työmaalle pitää rajata alue, järjestää varastoalueet ja kulkutiet. Työmaalle tarvitsee tilata sähkö- ja vesiliittymät, toimistot, pukuhuoneet, pesu- ja WC-tilat. Näissä sosiaalitiloissa täytyy olla tarpeeksi tilaa jokaiselle työntekijälle. Rakennustyön alkaessa täytyy työmaalla olla vakuutusasiat kunnossa niin työmaalla kuin sen työntekijöilläkin. (Koski 2010 s. 29–31)

Ensimmäinen varsinainen rakennusvaihe on maanrakennus. Sen aikana saadaan työmaa-alueen maa oikeaan korkeuteensa sekä suunnitelmien mukaiseksi. Maanrakennuksen avulla saadaan kulkutiet ja ajoväylät tehtyä, jolloin tavaraa ja työkoneita saadaan saatettua työmaalle suunnitelmien mukaisesti.

Maanrakennukseen kuuluu monia eri työlajeja, varsinkin kerrostaloa rakennettaessa. Joskus maan kantokykyä täytyy kasvattaa, mikä tuottaa paljon lisätyötä. (Koski 2010 s. 32) Kyseessä ei ole vain rakennushankkeen ensimmäinen työvaihe, vaan maanrakennus jatkuu läpi hankkeen aina lopulliseen pihan viherrakentamiseen ja viimeistelyyn asti.

2.3 Perustustyöt

Rakennusten perustamisella siirretään rakenteiden kuormat maapohjille. Perustustyöt on suunniteltava huolellisesti, jotta kuormista johtuvat rakenteiden muodonmuutokset sekä painumat pysyvät sallituissa rajoissa.

Perustamistapoja on monia, joista tavallisimpia ovat anturat, pilarit, paalut, kantava alapohja ja maanvarainen lattia (Koski 2010 s. 47). Kohteelle valitaan aina useiden laskelmien ja mittausten jälkeen sopivin ratkaisu.

2.4 Runkotyöt

Rungon tarkoituksena rakennuksessa on siirtää kuormia kantavista ja muista rakenteista perustuksille, jotka siirtävät ne maaperään. Rungoilla on vaatimuksia, joilla sille taataan riittävä rakenteellinen lujuus ja jäykkyys. Näiden avulla sen tulee kestää kuormia ja rasituksia. Normaalien kuormien lisäksi rungon tulee kestää epänormaaleja rasituksia,

kuten esimerkiksi tulipaloa. Tällaisille epänormaaleille rasituksille on omat säädöksensä. (Koski 2010 s. 61)

Runko voidaan rakentaa monella eri tavalla. Sen voi rakentaa paikalla, osaelementteinä, täyselementteinä tai tilaelementteinä. Runkotyypin valinnassa yksi suurimmista vaikuttavista tekijöistä on taloudellisuus.

2.4.1 Betonirunkotyöt

Betonirunkoisen rakennuksen päärakenneosia ovat seinät, laatat, pilarit ja palkit. Seinät voivat olla kantavia ja ei-kantavia. Mukana on myös kevyitä väliseiniä, jotka menevät ei-kantavien joukkoon. Seinät voidaan rakentaa paikallavalettuina tai ne voivat tulla valmiina elementteinä.

Laattoja voidaan myös valaa paikan päällä, tai ne voidaan tuoda tehtaalta valmiina elementteinä. Paikallavaletuista laatoista yleisin on massiivinen jännittämätön laatta. Elementteinä käytetään usein ontelolaattoja, jotka on todettu edullisiksi ja hyviksi vaihtoehdoiksi betonirakentamisessa. Pilarit ja palkit ovat usein elementtejä, mutta paikalla valmistaminen on myös mahdollista. (Koski 2010 s. 61–63)

2.4.2 Teräsrunkotyöt

Teräs on hyvä runkomateriaali, jolla on hyvä lujuus ja rasituksenkesto. Teräsrakenteilla saadaan usein suurempi lattian nettopinta-ala ja teräsrunko painaa vain noin 60 % betonirungon painosta. Teräs on korroosioherkkää, eikä sen palonkesto ole hyvää. (Koski 2010 s. 121) Näitä pystytään kuitenkin parantamaan erilaisilla pinnoitteilla.

Teräs on todella harvoin käytettävä runkomateriaali asuinkerrostalojen rakentamisessa Suomessa. Näitäkin hankkeita on Suomessa nähty kuten TM Rakennusmaailma (2012) artikkelissa kerrotaan, että suomalaisella innovaatiolla on tuotu markkinoille uudenlaisia teräsmoduulikerrostaloja. Nämä moduulit valmistetaan tehtaalla valmiiksi ja kuljetetaan työmaalle vain asennettaviksi paikoilleen. Tampereella on myös esimerkiksi Asunto Oy Terästammela, joka valmistuessaan vuonna 1990 edusti kokeilevaa asuntorakentamista, koska oli teräsrakenteinen asuinkerrostalo. (Sirén 2018)

2.4.3 Puurunkotyöt

Maailman mittapuulla puuta käytetään Suomessa asukaslukuun suhteutettuna eniten rakennusmateriaalina. Rakentamisessa käytettävä puutavara jaetaan neljään ryhmään, jotka ovat sahattu puutavara, halkaistu puutavara, mitallistettu puutavara sekä hienosahattu puutavara. Yleisimmin Suomessa käytetään rakentamisessa mäntyä, kuusta ja koivua. Näistä puulajeista eniten käytetään mäntyä. Puurakentamista on erityisesti käytetty pientalorakentamisessa, mutta nykyään sen käyttö kerrostalorakentamisessa on yleistynyt. (Koski 2010 s. 140)

Puukerrostalorakentamisessa yleisimmät runkotyylit ovat erilaiset elementit. Näitä elementtitapoja ovat rankarakenteiset puuelementit, rankarakenteiset tasoelementit, massiivipuulevyrakenteiset tasoelementit ja massiivipuurakenteiset tilaelementit. Rankarakenteiset rakennusjärjestelmät perustuvat kantaviin seiniin, joiden päälle kiinnitetään vaakarakenteet. Rakenteiden kuormat on suunniteltu kulkeutuvat seiniä pitkin perustuksille. Kantavat seinät suunnitellaan tavallisesti myös rakennuksen jäykistäviksi rakennusosiksi. Jäykistys suoritetaan yleensä levyttämällä rankarunko, jolloin tuetaan rankoja myös nurjahduksilta ja kiepahduksilta. (Puuinfo 2020)

Massiivipuurakenteet ovat yleisimmin rakennettu CLT:stä eli Cross Laminated Timber. Massiivipuurakenteisen rakennuksen ulkoseinässä CLT levy asetetaan rakenteen sisäpuolelle ja sen ulkopuolelle tulee lämmöneriste sekä ulkoverhous. Välipohjarakenteissa massiivipuulevyä voidaan käyttää kantavana elementtinä tai palkkirakenteen kantena. Massiivipuulevy joudutaan palomääräysten taulukkomitoituksen mukaan kerrostaloissa suojaamaan. (Puuinfo 2020)

Tilaelementit muodostuvat kantavasta rungosta sekä valmiista seinistä, lattioista ja katosta. Elementtien valmistus tapahtuu säältä suojassa tehtaissa ja niihin valmistetaan ikkunat, kalusteet sekä talotekniikkaa valmiiksi. Valmiit elementit kuljetetaan työmaalle ja asennetaan paikoilleen. Asentaminen on erittäin nopeaa verrattuna muihin runkorakennetyyleihin. (Puuinfo 2020)

2.5 Vesikattotyöt

Rungon rakentamisen jälkeen rakennetaan vesikatto. Vesikatolla on tärkeä tarkoitus rakennuksessa. Se estää sade- ja sulamisveden pääsyn rakenteisiin. Vesikaton rakenne voidaan jakaa kolmeen osaan, jotka ovat alusrakenne, lämmöneriste sekä vedeneriste.

Aluskate on yleisimmin puurakenteinen, mutta eristeet voidaan myös rakentaa esimerkiksi teräsbetonilaatalle ilman erillistä aluskatetta. Lämmöneristeen materiaalina voidaan käyttää muun muassa kevytsoraa, polystyreeniä tai erilaisia mineraalivilloja. Vedeneristyksessä käytetyimmät materiaalit ovat pelti, kattotiilet ja bitumihuopa. (Koski 2010 s. 147–148)

2.6 Talotekniikka

Rakennusten taloteknisiin järjestelmiin kuuluvat lämmitysjärjestelmät, vesi- ja viemärijärjestelmät, ilmastointijärjestelmät, jäähdytysjärjestelmät, automaatiojärjestelmät, sähköistysjärjestelmät sekä tele- ja tietoliikennejärjestelmät. Näiden järjestelmien asentamisella on suuri vaikutus itse rakentamistyöhön.

Rakennusten talotekniikkajärjestelmiä rakennetaan läpi koko hankkeen rakentamisvaiheen perustusvaiheesta aina luovutukseen asti. Tämä johtaa työvaiheiden tarkkaan suunnitteluun ja organisointiin. Työmaan loppuvaiheilla järjestetään toimintakokeet, jossa varmistetaan kaikkien näiden järjestelmien toimiminen ennen kohteen luovuttamista. (Koski 2010 s. 198–205)

2.7 Rakennuskoneet

Rakentamisessa käytetään nykyaikana paljon erilaisia koneita. Näihin lukeutuvat muun muassa nosto- ja siirtokalusto, henkilönostimet sekä lämmityskalusto. Rakennuskoneet nopeuttavat rakennustyötä ja lisäävät tuottavuutta. Rakentamisen kustannusten katsotaan laskeneen työmaille tulleiden koneiden myötä. (Koski 2010 s. 261)

Nostokalustona työmailla toimii pääsääntöisesti torninosturit ja ajoneuvonosturit. Nosturien avulla saadaan elementtinostot ja elementtien asennukset suoritettua. Nostureita tarvitaan työmailla normaalisti vain runkovaiheen ajan. Muita nostokoneita työmailla on erilaiset hissit sekä telinenostimet. Telinenostimet ovat muun muassa kattorakenteisiin tai telineisiin kiinnitettäviä vinssejä. (Koski 2010 s. 261)

2.8 Jätehuolto

Rakentamisesta aiheutuu suuri määrä jätettä. Jätehuolto on olennainen osa rakentamisen tuotantotekniikkaa nykypäivänä. Jätettä voi syntyä vanhan rakennuksen purkamisesta tai uudisrakennuksessa niin sanottuna hävikkinä ja pakkausjätteenä. Tavanomaisella uudiskerrostalon rakennustyömaalla jätettä syntyy 20–60 tonnia. Jätteistä ja jätehuollosta syntyy rakennustyömaille myös kustannuksia. Asuinkerrostalotyömaalla jätehuollosta aiheutuvat kustannukset ovat monia kymmeniä

tuhansia. Jätteistä aiheutuvia kustannuksia pystytään pienentämään huolellisella lajittelulla. (Koski 2010 s. 269)

Jätteiden käsittelystä määrätään Jätelaissa, Valtioneuvoston päätöksessä rakennusjätteistä sekä Jäteasetuksessa. Kunnilla voi olla myös omia määräyksiä ja tavoitteita jätehuollon suhteen. Jätteet lajitellaan maa-aines-, kiviaines- ja ruoppausjätteisiin, metallijätteisiin, betoni-, tiili, kipsijätteisiin, ongelmajätteisiin ja puujätteisiin. Puujätteet lajitellaan vielä kyllästettyihin ja kyllästämättömiin. Rakennusjätteiden määrää tulee pyrkiä vähentämään ja hyödyntämistä lisäämään. (Koski 2010 s. 269–270)

3. ERITYISPIIRTEIDEN VERTAILU BETONIKERROSTALOON

3.1 Nostokalusto ja asennus

Runkotyövaiheen nostokalustoon lukeutuvat torninosturit ja ajoneuvonosturit. Ajoneuvonosturit ovat näistä kahdesta kevyempiä, mikä tarkoittaa niiden nostokapasiteetin olevan pienempi. (Koski 2010 s. 261) Torninosturin käyttöönotto vaatii enemmän aikaa kuin ajoneuvonosturin, sillä torninosturi pitää koota ajoneuvonosturilla käyttökuntoon. Käyttökunnon saavuttamiseksi ajoneuvonosturilla ajetaan paikalle.

Puu on rakennusmateriaalina huomattavasti betonia kevyempää. Yleisimmät rakennuspuulajit ovat kuusi ja mänty. Kuusen tiheys on 300–470 kg/m^3 ja männyn on 370–550 kg/m^3. (Puuinfo 2020) Betonin tiheys on noin 2400 kg/m^3 ja raudoitettuna noin 2500 kg/m^3 (Betoni 2015).

Elementtien asennuksesta tulee aina tehdä huolelliset suunnitelmat. Suunnitelmissa käydään läpi kaikki asennustyön eri vaiheet ja niihin vaikuttavat asiat. Kirjalliset ohjeet asentamista varten tulee olla työmaalla asennusvaiheessa. (RunkoRYL 2010 s. 243) Kun valitaan nostokalustoa työmaalle, on kyettävä arvioimaan nostoresurssin ajallista tarvetta sekä nostokaluston käyttöastetta. Lisäksi on pystyttävä arvioimaan, suoriudutaanko työstä yhdellä nostokoneella, vai tarvitaanko useampia. (RatuTT 06-01113 2014) Puuelementtien ollessa kevyempiä, niitä on helpompi käsitellä ja asentaa. Kevyempiin puuelementteihin ei tarvitse raskasta torninosturia, vaan selvitään kevyemmällä nostokalustolla.

Nosturin valinta vaikuttaa työmaan aikatauluun paljon. Oikealla nosturivalinnalla voidaan säästää huomattavia määriä aikaa. Pienemmän kapasiteetin nostojen suorittamisessa tarvitaan pienempää nosturia, jolloin ei suurta torninosturia tarvita. Ajoneuvonosturia käyttämällä säästetään asennusajassa sekä kustannuksissa. Oikean nostokaluston valinta takaa työn sujuvuuden. Kokonaiskustannuksia tarkasteltaessa suorat kustannukset ovat vähemmän määrittäviä kuin työn sujuvuus ja nopeus. (Nosturitarvike 2022)

Puun ollessa materiaalina kevyempää kuin betonin, ovat myös rakenteet kevyempiä. Tällöin nostokaluston ei tarvitse puukerrostaloja rakentaessa olla yhtä raskasta kuin betonikerrostaloja rakentaessa. Puukerrostalorakentaminen on modulaarista ja sen rakennettavuus on hyvä. Tehtaalta tulevien valmiiden elementtien ja moduulien

asentaminen on tehty helpoksi ja nopeaksi. (Kryssi 2013, s. 42) Näin ollen puurunkoista kerrostaloa voidaan pitää nopeammin rakennettavana kuin samanlaista betonikerrostaloa. Myös Mangrove Oy:n (2022) artikkelin mukaan puurunkoinen kerrostalo on nopeampi rakentaa, sillä puuelementtien käsittely on kevyempää ja kiinnittäminen on helpompaa.

Henkilönostimia tarvitaan puukerrostalossa enemmän, koska pitää asentaa smyygilautoja ja ulkopaneeleita. Näitä ei tarvitse betonikerrostalossa asentaa. Tämä nostaa puukerrostalossa kustannuksia. Usein henkilönostimet vuokrataan työmaille, jolloin kustannukset ovat jatkuvia koko vuokrauksen ajan, vaikka nostin ei olisi aktiivisessa käytössä. Tehokas työsuunnittelu auttaa parantaa nostimien käyttöastetta ja vähentää kustannuksia. (Niinimäki 2022 s. 41)

3.2 Rakennusaikainen kosteudenhallinta

Rakentamisenaikainen kosteudenhallinta täytyy suunnitella huolella. Vuodenajalla on suuri merkitys sääsuojaukseen. Rakennuksille tulee monia erilaisia kosteusriskejä. On tärkeää ottaa huomioon vuodenajasta riippuen veden jokainen olomuoto. Rakenteisiin voi kulkeutua kosteutta sateesta, ilmasta vesihöyrynä, kapillaarisesti maaperästä tai vesivahingosta. Suurin kosteusuhka rakentamisen aikana on sateet. (Ratu S-1232 2013)

Puulla on kyky sitoa ja luovuttaa kosteutta ilman suhteellisen kosteuden vaihtelun mukaan. Tämän hygroskooppisuuden takia puu asettuu aina tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Puu elää kosteuden vaihteluiden seurauksena ja se voi kutistua, turvota ja muuttaa muotoaan. Puurakentamisessa täytyy kiinnittää erityistä huomiota rakennusaikaisten olosuhteiden hallintaan. (Puuinfo 2020)

Puukerrostalorakentamisessa suuri pakollinen kuluerä on sääsuojaukset. Puurunkoinen kerrostalo täytyy rakentaa sääsuojahupun alla. Tämän täyshuputuksen voi suorittaa kahdella tavalla. Rakennuksen ympärille voidaan rakentaa suuret telineet ja huputtaa koko kerrostalon korkeudelta. Tällöin elementtinostoja varten sääsuojan katto täytyy aina avata ja nostot suorittaa sitä kautta. Toinen vaihtoehto on rakentaa kerrosten mukaan nouseva huppu. Huppu asetetaan kerrostalon ympärille rakennettujen teräspilarien varaan ja se nousee pilareita pitkin. Tähän tyyliin saadaan lisäksi rakennettua pilareiden varaan kiskoilla kulkeva nosturi. Tällä kiskoilla kulkevalla nosturilla voidaan suorittaa elementtien nostot sääsuojauksen alla ilman, että kattoa joudutaan avaamaan. (Kryssi 2013 s. 66) Alla olevassa kuvassa 1 on esitettynä kerrosten mukana nouseva sääsuoja. Puurakenteiset elementit asennetaan suoraan paikoilleen ilman välivarastointia, jos se

on mahdollista. Jos välivarastointi tarvitaan, tulee elementit varastoida tasaiselle alustalle ilman, että ne ovat maan kanssa kosketuksessa. Elementit suojataan peitteillä, joiden tulee kestää sääolosuhteet. Puurakenteisten elementtien tulee päästä tuulettumaan suojan alla. (Ratu S-1232 2013)

Kuva 1 Nouseva sääsuoja (Ramirent)

Betonikerrostaloa rakennettaessa täytyy myös suorittaa huolellista kosteudenhallintaa. Betonilaattaelementit, eli usein ontelolaatat, voidaan varastoida rakennustyömaalle ja onteloiden tulpat poistetaan vasta asennuksen yhteydessä. Seinäelementit ovat usein sandwich-elementtejä, jolloin eriste täytyy suojata huolellisesti kosteudelta asennuksen jälkeen tai runkotöiden keskeytyessä. (Ratu S-1232 2013) Tämänlainen elementtien sääsuojaus on huomattavasti halvempaa kuin yllä mainittu puuelementtien sääsuojaus.

Puukerrostalojen rakennusvaiheen kokoaikaisella sääsuojauksella voi olla myös positiivinen vaikutus kustannuksiin ja aikatauluihin. Talvella rakennettaessa kovalla lumisateella pystytään sääsuojan alla tekemään työt huomattavasti tehokkaammin ja tällöin työt pääsevät etenemään jatkuvasti. Betonikerrostalotyömailla taivasalla työskennellessä, voi tulla hetkiä, jolloin työt joudutaan keskeyttämään sään vuoksi. (Toivari 2011 s. 10–11)

Sääsuojauksella on vaikutus rakenteiden kuivumisaikoihin. Suojaamattomana säälle alttiina rakenteet pääsevät kastumaan ja ennen seuraavaan työvaiheeseen etenemistä joudutaan rakenteiden kuivumista odottamaan ja tehostamaan. Suojattuna kuivumisajat ovat huomattavasti pienemmät, jolloin säästyneellä ajalla on huomattava taloudellinen arvo. Talvella sääsuojaamattomalla rakennustyömaalla joudutaan tekemään lumenpoistoja ja valujen suojaamisia, jotka vievät huomattavasti aikaa. (Toivari 2011 s.

10–11, 34–35) Tämä johtaa puukerrostalon aikataulun lyhenemiseen verrattuna betonikerrostaloon, jos betonikerrostaloa ei pidetä sääsuojattuna kuten puukerrostaloa.

Sääsuojauksella voidaan varsinkin talviaikaan vähentää työturvallisuusriskejä. Rakennuksen ollessa suojattuna vesi- ja lumisateilta, pienenee liukastumisen riski huomattavasti. Liukastuminen on yleinen työtapaturma työmailla. Työtapaturmat aiheuttavat kustannuksia yrityksille ja ne on saatava mahdollisimman vähiin.

3.3 Paloturvallisuus

Rakennusten täytyy olla paloturvallisia, joka tarkoittaa, että rakennus täyttää sille Ympäristöministeriön asettamat paloturvallisuusvaatimukset. Rakennusten paloluokkia ovat P0, P1, P2 ja P3. Paloluokkia P1, P2 ja P3 käytetään, kun rakennus suunnitellaan taulukkomitoituksella, eli käyttäen palomääräysten paloluokkia ja lukuarvoja. Silloin kun rakennus suunnitellaan perustuen oletettuun palonkehitykseen, kuuluu se paloluokkaan P0. Rakennuksen eri osat voivat kuulua eri paloluokkiin. Palotilanteessa kantavien rakenteiden tulee kestää tietty aika palon alkamisesta sortumatta. (Ympäristöministeriö 2017)

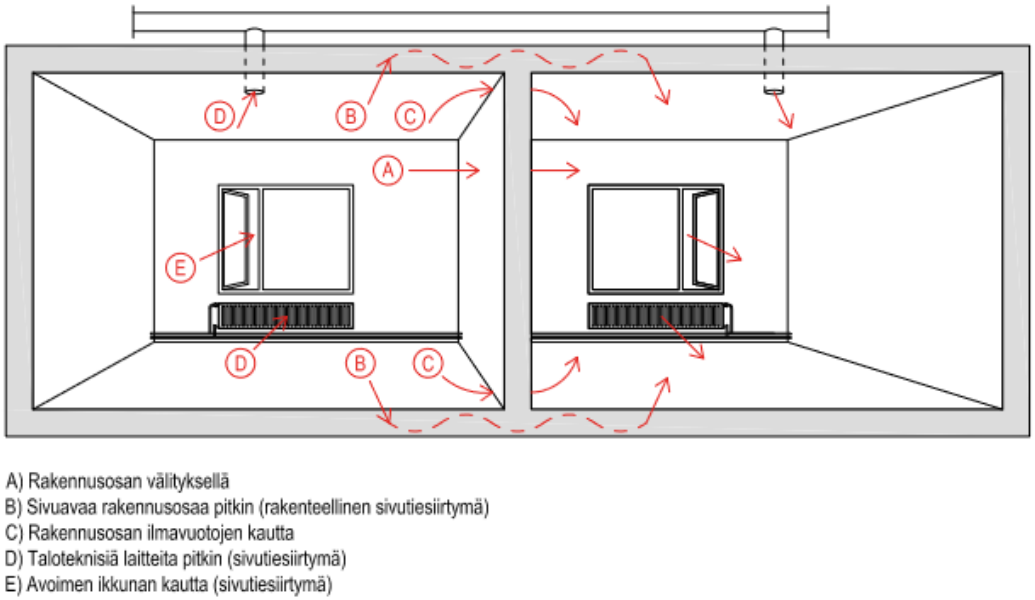
Paloturvallisuus on huomattava tekijä puukerrostaloa suunniteltaessa ja rakennettaessa. Puu on palava materiaali, joka palaa hiiltymällä. Suojaamattoman puun palamisnopeus on vakio palamisaikaan nähden. Puukerrostalon paloluokka on P2. (Kryssi 2013 s. 10) Puuta voidaan käyttää runkomateriaalina kaikissa paloluokissa silloin, kun rakennuksessa on enintään kaksi kerrosta. Enintään 28 metriä korkeissa asuin- ja työpaikkarakennuksissa paloluokaksi tulee P2. Tätä korkeammat puurunkoiset rakennukset eivät saa toimia asuin- ja työpaikkakäytössä. (Puuinfo 2020)

Suurin ero puukerrostalon ja betonikerrostalon paloturvallisuusvaatimuksille tulee automaattisessa sammutinjärjestelmässä. Sprinklereiden asentaminen on yli kaksikerroksisiin puutaloihin pakollista. Sama ei päde betonikerrostaloihin. Sprinklerit mahdollistavat puupintojen esille jättämisen tietyissä rajoissa. (Puuinfo 2020) RakentajaPron (2022) artikkelissa mainitaan, että puuta ei voi jättää näkyviin porrashuoneisiin ja asunnoissa puuta voi olla käytännössä näkyvissä vain ulkoseinissä.

3.4 Ääneneristys

Rakennusten akustiikka pitää sisällään monia osa-alueita. Näitä ovat huoneakustiikka, meluntorjunta, rakennusakustiikka ja tärinäeristys. Huoneakustiikalla tarkoitetaan äänen käyttäytymistä tietyn tilan sisällä. Meluntorjuntaan sisältyy rakennuksen ulkopuolisten äänien torjuminen. Rakennusakustiikan tavoitteena on estää äänen siirtyminen

rakennuksen eri tilojen välillä, eli kerrostalossa esimerkiksi asunnosta toiseen. Tärinäeristys tarkoittaa koneista ja laitteista tulevien tärinöiden eristämistä rakennuksen rungosta. (Kylliäinen 2006 s. 16) Alla olevassa kuvassa 2 on esitettynä äänen etenemisreittiesimerkkejä tilojen välillä. Kuva ei esitä puukerrostaloa, vaan rakennusta yleisesti.



Kuva 2 Äänen etenemisreittejä (Kovalainen, V. et al. 2021)

Puun ääneneristävyys ei ole erityisen hyvä. Puurakennusten ääneneristävyys suoritetaan usein monikerrosrakenteilla, jotta se saadaan riittävälle tasolle. Usein seinärakenteisiin sijoitetaan ilmaraon lisäksi huokoinen absorptiomateriaali, kuten lämmöneriste. Tämä vaimentaa erityisesti matalia ääniä tehokkaasti. Puurakenteisissa kerrostaloissa ääneneristyksen takaaminen on haastavaa, koska sen takaamiskeinot ovat vastakkaisia rakenteellisen jäykkyyden saavuttamisen keinoihin. Askeläänieristävyyttä puukerrostaloissa voidaan parantaa esimerkiksi valamalla välipohjiin pintabetonikerrokset. Toinen vaihtoehto askeläänieristyksen parantamiseen on rakentaa välipohjien yläpinnan joustavan kerroksen päälle niin sanottuja kelluvia pintalattioita. (Puuinfo 2020)

Betonirakenteet värähtelevät vähemmän kuin kevyet puurakenteet, jolloin betonirakenteiden ääneneristävyys on parempaa (Kryssi 2013 s. 26–27). Betonirakenteet eivät tarvitse monimutkaisia ääneneristävyysrakenteita toisin kuin

puurakenteet, jolloin niiden ääneneristävyyden riittävän tason huolehtimisesta tulee kustannustehokkaampaa.

Suurimman erot puukerrostalon ja betonikerrostalon ääneneristävyysrakenteiden välillä on yhtenäisyys. Betonirakenteiden ollessa hyvin ääntä eristäviä, voidaan välipohjat ja seinät tehdä jatkuviksi. Tällöin välipohjat tehdään jäykiksi rakenteiksi ja koko rakennuksen jäykistys voidaan suorittaa vähällä määrällä jäykistelinjoja. Puun ollessaan materiaalina huonosti ääntä eristävää, joudutaan rakenteet katkaisemaan ja jakamaan tiloihin toisin kuin betonikerrostaloissa. Tilojen välillä oleviin liitoksiin täytyy laittaa eristeitä. Koska välipohjia ei voi rakentaa yhtenäisiksi, täytyy rakennuksen jäykistämiseen käyttää useampia jäykistelinjoja kuin betonikerrostalossa. (Kryssi 2013 s. 28)

3.5 Kustannustarkastelu

Eri materiaalista valmistettujen kerrostalojen kustannukset vaihtelevat. Osa kustannuksista riippuu itse materiaalista, mutta tuotantotekniset asiat vaikuttavat suuresti kustannuksiin. Erilaiset työkoneet, rakentamisen nopeus ja määräykset ovat esimerkkejä, mitkä vaikuttavat suoraan kustannuksiin.

Yksi suuri kustannuksiin vaikuttava tekijä on rakennustavat ja niiden tarjonta. Suomen markkinoilla puuelementtejä tekeviä yrityksiä on vain vähän. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisussa Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit (2020) Sipiläinen mainitsee Suomessa olevan 32 puuelementtejä valmistavaa yritystä. Niinimäki (2022) listaa tutkimuksessaan Suomessa olevan 37 yritystä betonielementtisektorilla. Tästä luvusta puuttuu vielä pienemmät yritykset, joita ei listaukseen ole otettu mukaan.

Nostokoneiden kustannuksissa erot tulevat elementtinostojen ja -asennusten yhteydessä. Puukerrostalossa runko voidaan nostaa pystyyn ilman raskaita nostokoneita. Betonikerrostalossa tarvitaan useammin raskaampia nostovälineitä rungon pystyttämiseen. Tällöin betonirungon nostamisesta tulee kalliimpaa. Henkilönostimien kulut ovat useammin suuremmat puukerrostaloja rakennettaessa. Tämä johtuu esimerkiksi ulkoverhouksien asentamisesta, joita ei betonikerrostaloihin tule. (Niinimäki 2022 s.41)

Sääsuojaukset aiheuttavat kustannuksia työmaalle, mutta suojaus voi myös välillisesti säästää kustannuksia. Suojauksista aiheutuu vuokrakuluja ja niiden asentamisesta ja purkamisesta aiheutuu kustannuksia. (Toivari 2011 s. 38) Sääsuojaukset voivat välillisesti myös säästää kustannuksia. Työt pääsevät etenemään jatkuvasti säästä

huolimatta ja rakenteet pysyvät kuivina. Kun ei tarvita erillisiä kuivaamistoimia ja kuivumisaikoja, pääsevät työt etenemään tehokkaasti ja säästetään kustannuksissa.

Merkittävä kuluerä työmailla on jatkuvat kulut. Näihin voidaan lukea muun muassa työntekijöiden palkat, työmaavarusteiden kuten henkilöstötilojen ja työkalujen vuokrat, sähkösopimukset ja vesisopimukset. Näistä kuluista pystyy jo lyhyessä ajassa muodostumaan isoja summia. Puurakenteisen kerrostalon rakentaminen on nopeampaa kuin betonikerrostalon, jolloin nämä jatkuvat kulut jäävät pienemmiksi. (Niinimäki 2022 s.41)

Haaranen (2017) esittää omassa tutkimuksessaan, kuinka yksittäisiä kerrostaloja verrattaessa betonikerrostalo tulee halvemmaksi. Mutta puukerrostalon ollessa huomattavasti nopeampi rakentaa, tulisivat ne kannattaviksi, jos saataisiin useita hankkeita työn alle peräkkäin. Tällöin saataisiin enemmän asuntoja tuotettua puukerrostaloina, kuin mitä saataisiin betonista rakentamalla. Aluerakentaminen olisi puurakentamisen kannalta oleellista ja tämä tulisi huomioida kaavoituksissa.

4. YHTEENVETO

Tässä kandidaatintyössä käytiin puukerrostalon tuotantotekniikan erityispiirteitä läpi ja vertailtiin niitä betonikerrostalon piirteisiin. Tutkimuksen aluksi on käyty lävitse, mitä rakentamisen tuotantotekniikka on ja sen jälkeen on käsitelty erityispiirteitä puukerrostaloissa. Tutkimusta varten muodostettuihin tutkimuskysymyksiin on saatu vastaukset.

Suomessa puurakenteiset kerrostalot ovat huomattavasti yleistymässä. Puukerrostalojen rakentamiseen on monia kannustimia. ARA:n kannustimet vuokra-asuntojen tuotantoon ja ekologisuus ovat suuria kannustimia Suomessa. Puukerrostalon ollessa huomattavasti vähähiilisempi kuin betonikerrostalon, on tärkeää lisätä puurakentamista.

Rakentamisen tuotantotekniikka on itsessään erittäin laaja käsite. Se pitää sisällään kaiken hankkeen rakentamisen aloituksesta luovutukseen asti. Tuotantotekninen osaaminen on suuressa roolissa rakentamisessa. Nykyisin erilaiset vaatimukset ovat tiukentuneet rakennusalalla, jolloin työmaavaiheen osaaminen korostuu.

Tutkimuksessa on löydetty tuotantoteknisiä erityispiirteitä puukerrostalojen rakentamisessa. Käsiteltyjä erityispiirteitä olivat nostokalusto, rakennusaikainen kosteudenhallinta, paloturvallisuus sekä ääneneristyksen toimenpiteet. Tutkimuksessa on saatu selville nostokaluston olevan pääsääntöisesti kevyempää puurakentamisessa kuin betonirakentamisessa. Tämä vaikuttaa suoraan rakentamisen aikatauluihin. Nostokaluston ollessa kevyempää, sekä puun ollessa materiaalina kevyempää, on puukerrostalo nopeampi rakentaa kuin betonikerrostalo.

Rakennusaikaisessa kosteudenhallinnassa on puukerrostaloa ja betonikerrostaloa rakennettaessa suuria eroja. Puukerrostalo täytyy pitää koko runkovaiheen sääsuojan alla siihen asti, että vesikatto on valmis. Betonikerrostalon runkovaiheen aikana täytyy vain pitää huoli eristeiden ja onteloiden suojaamisesta kosteudelta. Koko kerrostalon kattavalla sääsuojauksella on paljon tuotantoteknisiä vaikutuksia. Sen pystytyksestä ja purkamisesta koituu lisää työtä, joka voi hidastaa muita työvaiheita. Talvella sääsuojaus taas voi säästää aikaa erilaisilta sulatus- ja lämmitystoimenpiteiltä.

Paloturvallisuudessa suurin ero puurakenteisen ja betonirakenteisen talon välillä tulee automaattisessa sammutinjärjestelmässä. Puukerrostaloihin sprinklerijärjestelmä on pakollinen, mutta betonikerrostaloihin ei. Tämän automaattisen sammutinjärjestelmän

asennus on työlästä. Tällöin se kuluttaa myös paljon aikaa puukerrostaloa tehdessä, jota ei betonikerrostalon rakentamisessa kulu.

Ääneneristyksessä huomattavia eroja ovat rakenteiden yhtenäisyys, joka vaikuttaa suoraan rakentamiseen. Puurakenteet joudutaan tekemään hieman monimutkaisemmin ääneneristyksen kannalta kuin betonirakenteet. Näin ollen puukerrostaloon joudutaan tekemään enemmän jäykistelinjoja, koska välipohjarakenteita ei voida tehdä yhtenäisiksi. Betonikerrostalossa ääneneristys on huomattavasti helpompi suorittaa betonin hyvän ääneneristävyyden takia.

Kustannustarkastelussa otettiin huomioon yllämainittujen erityispiirteiden aiheuttamia kustannuseroja. Nostokalusto tulee puukerrostalossa halvemmaksi, sillä kevyemmillä nostokalustoilla on pienemmät kustannukset. Henkilönostimista voi koitua puukerrostalon rakentamisessa enemmän kustannuksia. Puukerrostalojen sääsuojaus on huomattavasti kalliimpaa kuin betonikerrostaloilla. Sääsuojaus voi aikataulun lisäksi myös säästää kustannuksissa talvisaikaan, sillä työt pääsevät jatkumaan normaalisti säästä huolimatta. Rakentamisvaiheen aikaiset juoksevat kulut ovat suuri kuluerä. Nopeamman rakentamisajan omaavassa puukerrostalossa nämä jäävät matalammiksi kuin betonikerrostalolla. Yksittäisiä kerrostaloja vertailtaessa betonikerrostalo on vielä halvempi rakentaa kuin puukerrostalo.

LÄHTEET

Betoni (2015) Raskasta asiaa betonista Saatavissa (Viitattu 8.4.2022): https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/08/BET1502_74-77.pdf

Haaranen, H. (2017) Puukerrostalo asuntotuotannossa Saatavissa (Viitattu: 13.5.2022): https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/131732/Haaranen_Hannu.pdf..pdf?sequence=1&isAllowed=y

Koski, H. (2010). Rakentamisen tuotantotekniikka Saatavissa (Viitattu:11.5.2022): https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/Ratu%20KI-6020?external_system=Juha&page=1

Kovalainen, V. Kylliäinen, M. Lahtela, T. Lietzén, J. & Talus, L. (2021) Ääneneristys puutalossa. Saatavissa (Viitattu 18.4.2022): https://puuinfo.fi/wp-content/uploads/2021/05/Aanikirja_kokonainen-1.pdf

Kryssi, E. (2013) Puukerrostalo Saatavissa (Viitattu 13.4.2022): https://trepo.tuni.fi/handle/123456789/21966

Kylliäinen, M. (2006) Talonrakentamisen akustiikka Saatavissa (Viitattu 18.4.2022): https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/128338/kylliainen_talonrakentamisen_akustiikka.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Maa- ja metsätalousministeriö (2021). Puurakentaminen ja puutuotteet. Saatavissa (Viitattu 1.3.2022): https://mmm.fi/metsat/puun-kaytto/puurakentaminen-ja-puutuotteet

Mangrove Oy (2022) Puu- ja betonirakentamisen vertailuhanke valmistui Turussa Saatavissa (Viitattu 13.4.2022): https://www.sttinfo.fi/tiedote/puu--ja-betonirakentamisen-vertailuhanke-valmistui-turussa-puurunkoinen-kerrostalo-ripeampi-rakentaa-ja-toimii-hiilivarastona-koko-elinkaarensa-ajan-suhdanneherkkyys-alan-haaste?publisherId=69819151&releaseId=69930633

Niinimäki, J. (2022) Puurunkoisen ja hybridirunkoisen asuinkerrostalon rakentamisen kustannusvertailu betonirunkoiseen asuinkerrostaloon. Saatavissa (Viitattu 4.5.2022): https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/135956/Niinim%c3%a4kiJoonas.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Nosturitarvike (2022) Nosturin valinta työmaakohteeseen. Saatavissa (Viitattu: 13.4.2022) http://www.nosturitarvike.fi/nosturin-valinta-tyomaakohteeseen/

Puuinfo (2020) Puutieto, puun ominaisuudet. Saatavissa (Viitattu 8.4.2022): https://puuinfo.fi/puutieto/puun-ominaisuuksia/lujuusteknisia-ominaisuuksia/

Puuinfo (2020). Rakenteet, puukerrostalot, runkojärjestelmät. Saatavissa (Viitattu 28.3.2022): https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/puukerrostalon-runkojarjestelmat/

Puuinfo (2020). Rakenteet, puukerrostalo, suunnittelu. Saatavissa (Viitattu 23.2.2022): https://puuinfo.fi/rakenteet/yhdistelmarakenteet/suunnittelu/

Puuinfo (2020). Rakenteet, rankarakenteet. Saatavissa (Viitattu 24.2.2022): https://puuinfo.fi/rakenteet/rankarakenteet/rungon-toimintaperiaate/

Puuinfo (2020). Suunnittelu, määräykset. Saatavissa (Viitattu 17.4.2022): https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848#Pidm45237817304304

Rakennusmaailma (2012). Teräs myös asuinrakennusten runkomateriaaliksi. Saatavissa (Viitattu 21.3.2022): https://rakennusmaailma.fi/teras-myos-asuinrakennusten-runkomateriaaliksi/

Rakennusteollisuus (2021) Asuntomarkkinat, asuntotuotanto Saatavissa (Viitattu 23.2.2022): https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/Asuntomarkkinat/

RakentajaPro (2022) Kerrostalokaksoset on ainoa projekti lajissaan – Paljastaa puun ja betonin erot. Saatavissa (Viitattu 17.4.2022): https://rakentaja.pro/artikkelit/kerrostalokaksoset-on-ainoa-projekti-lajissaan-paljastaa-puun-ja-betonin-erot/

Ramirent, Kuva nousevasta sääsuojasta. Saatavissa: https://www.ramirent.fi/tutustu-palveluihimme/saasuojat-ja-telineet

Ratu S-1232 (2013). Rakennustyömaan sääsuojaus. Saatavissa (Viitattu 14.4.2022): https://kortistot-rakennustieto-fi.libproxy.tuni.fi/kortit/Ratu%20S-1232?external_system=Juha&page=1

RatuTT 06-01113 (2014). Torninosturiohjeet, käyttö. Saatavissa (Viitattu 11.4.2022): https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/21168#page=1

RunkoRYL (2010). Saatavissa (Viitattu 11.4.2022): https://kortistot.rakennustieto.fi/resource/juha/content/7301#page=1

Sipiläinen, I. (2020) Katsaus teolliseen puurakentamiseen – puuelementit. Saatavissa (Viitattu 4.5.2022): https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/162338/TEM_2020_16.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sirén A. Yle (2018). ”Kävimme tietämättämme tulevassa kodissamme” – Asuntomessukohde saattaa osua omalle tielle vuosia myöhemmin. Saatavissa (Viitattu: 21.3.2022): https://yle.fi/uutiset/3-10308795

Toivari, Olli-Pekka. (2011) Kosteudenhallinnan ja sääsuojauksen taloudellinen tarkastelu. Saatavissa (Viitattu: 9.5.2022): https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/20641/toivari.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Ympäristöministeriö (2017) Ympäristöministeriön asetus rakennusten paloturvallisuudesta. Saatavissa (Viitattu 17.4.2022): https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170848#Pidm45237817304304

Ympäristöministeriö (2020). Julkisen puurakentamisen kansalliset tavoitteet. Saatavissa (Viitattu 1.3.2022) : https://ym.fi/documents/1410903/38439968/Julkisen-puurakentamisen-kansalliset-tavoitteet-45F5028E_8436_408A_8CD7_510C6C1AD000-161609.pdf/1fc95a52-5c50-4c9b-1f5d-325395658d72/Julkisen-puurakentamisen-kansalliset-tavoitteet-45F5028E_8436_408A_8CD7_510C6C1AD000-161609.pdf?t=1603259868530