

Leevi Lanu

VÄLISEINÄRAKENTEET NOPEASSA RAKENTAMISESSA

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Kesäkuu 2019

TIIVISTELMÄ

Leevi Lanu: Väliseinärakenteet nopeassa rakentamisessa (Partition walls in fast construction)

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Rakennustekniikan tekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Kesäkuu 2019

Kandidaatintyön tavoitteena oli tarkastella eri väliseinärakenteiden ja niiden rakentamismenetelmien vaikutusta rakentamisen nopeuteen. Tarkastelun avulla pyrittiin selvittämään mitä väliseinien rakentamismenetelmää käyttämällä rakentaminen on mahdollisimman nopeata. Kuitenkin työssä tarkasteltiin myös miten nopeammat rakentamismenetelmät vaikuttavat rakentamisen kustannuksiin. Työ rajattiin koskemaan ainoastaan kuusikerroksista asuinkerrostaloa, mutta kosteita tiloja tai pinnoitustöitä ei otettu huomioon.

Tutkimuksessa selvitettiin minkälaisia väliseinärakenteita voidaan käyttää, sekä mitä on nopea rakentaminen. Eri väliseinävaihtoehtoista tarkasteltiin minkälaisia ne ovat, mistä materiaaleista niitä tehdään ja miten niiden rakentaminen etenee. Tutkimus tehtiin kirjallisuustutkimuksena pääsääntöisesti käyttäen Rakennustiedon RT- ja Ratu-aineistoja. Kustannuksia laskettiin Rakennustiedon kustannuslaskentapalvelulla.

Tutkimuksessa määritettiin eri rakennustapojen työmenekkejä ja näiden avulla laskettiin koko esimerkkikohteen väliseinien rakentamiseen tarvittava aika. Tuloksina saatiin, että elementtirakenteiset väliseinäratkaisut ovat rakentamisajan kannalta nopeimpia. Kuitenkin kustannuksia tarkastelemalla huomattiin, että mitä nopeammin rakennetaan sitä korkeammaksi kustannukset nousevat. Eroja saatiin myös betonirakenteisten ja puurakenteisten väliseinärakenteiden välillä, niin ajassa kuin kustannuksissakin. Puuelementeistä valmistettu tilamoduuli oli rakentamisvaihtoehtoista nopein toteuttaa, mutta myös kalleimpia. Yksittäin puuelementeistä rakennettu ratkaisu oli nopeimpia ja kustannuksiltaan myös kohtuullisempi. Toisena nopeana vaihtoehtona on myös betonielementtiseinät, mutta niiden kustannukset ovat myös melko korkeat. Puuelementtirakennetta ja kipsilevyrakennetta vertaillessa huomataan, että jos kipsilevyin rakentamalla halutaan päästä samaan rakennusaikaan kuin elementteillä, tulisi se noin kaksi kertaa yhtä kalliiksi. Johtopäätöksenä voidaan siis todeta, että rakentamista nopeuttamalla myös kustannukset nousevat, mutta oikeita menetelmiä käyttäen, kuten puuelementtejä, voidaan löytää optimaalinen suhde nopeuden ja kustannusten välille.

Avainsanat: Väliseinät, nopea rakentaminen

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tausta.....	1
1.2 Tutkimuskysymykset ja rajaukset.....	1
1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne.....	2
2. VÄLISEINÄRAKENTEET JA NOPEA RAKENTAMINEN.....	3
2.1 Kevyet väliseinät.....	3
2.2 Nopea rakentaminen.....	4
3. VÄLISEINIEN RAKENTAMISVAIHTOEHDOT	5
3.1 Metallirankainen sekä puurunkoinen kipsilevyväliseinä	5
3.1.1 Kipsilevyseinien rakentaminen	6
3.1.2 Kipsilevyseinien rakentamisen kesto.....	7
3.2 Harkkorakenteinen väliseinä	7
3.2.1 Harkkoseinän rakentaminen	8
3.2.2 Harkkoseinän rakentamisen kesto	9
3.3 Teräsbetoninen väliseinä	9
3.3.1 Betonielementein rakentaminen.....	10
3.3.2 Betonielementein rakentamisen kesto.....	11
3.4 Puuelementit.....	11
3.4.1 Puuelementein rakentaminen.....	12
3.4.2 Puuelementein rakentamisen kesto	13
3.5 Esimerkkikohde.....	13
3.6 Materiaali- ja työkustannukset.....	14
4. TULOKSET	16
4.1 Rakentamisaika	16
4.2 Rakenteiden kustannukset.....	17
4.3 Vertailu.....	18
5. YHTEENVETO.....	19
LÄHTEET	22

1. JOHDANTO

1.1 Tausta

Tämän hetken rakentamisessa trendinä vaikuttaisi olevan mahdollisimman nopea hankkeen eteneminen. Valmista on saatava mahdollisimman nopeasti sekä myös mahdollisimman halvalla. Aikataulut kiristyvät ja etenkin rakentamisen toteutusta yritetään nopeuttaa niin paljon kuin mahdollista monin eri keinoin. Uusia asennustapoja kehitetään sekä uusia menetelmiä kokeillaan. Rakentamista halutaan nopeuttaa, jotta sidottu pääoma saadaan mahdollisimman nopeasti tuottamaan.

Kevyet väliseinät ovat merkittävässä osassa rakentamista, sillä niiden avulla jaetaan tiloja toisistaan sekä saadaan eristettyä esimerkiksi äänen kulkua ja näin ollen pystytään muokkaamaan tilojen käyttötapoja. Väliseinämateriaalejakin on varsin monia varsin moniin eri käyttötarkoituksiin. Väliseiniä voidaan rakentaa niin kipsilevystä, tiilestä, harkoista ja monin muin keinoin. (RT 82-10903 2007, s. 2)

Tavanomaisimmissa rakennuksissa, kuten asuinkerrostalossa, on paljon väliseiniä. Väliseinien rakentamisessa on paljon nopeuttamispotentiaalia uusia menetelmiä tai systeemejä käyttämällä, sillä yleisesti käytössä olevien väliseinärakenteiden, kuten kipsilevyväliseinän, rakentamiseen tarvitaan paljon käsin tehtävää työtä itse työmaalla. Väliseinien rakentamisen nopeutuessa koko hankkeen kulku nopeutuu. Työn tarkoituksena on siis tutkia, mitä väliseinärakennetta käyttämällä voidaan rakennushankkeen kulkua nopeuttaa hyödyttämällä koko hanketta. Tutkimalla tavanomaisia sekä erikoislaatusempia väliseinärakenteita saadaan työn tuloksena määritettyä, mitkä ovat rakenteiden rakentamiseen käytetyt ajat.

1.2 Tutkimuskysymykset ja rajaukset

Tässä työssä perehdytään siihen, miten valitaan väliseinien rakentamisvaihtoehdoista parhain rakentamisnopeuden kannalta tarkasteltuna. Tutkimuskysymyksenä siis on, mitkä väliseinien rakentamisvaihtoehdot sopivat nopeaan rakentamiseen? Työssä tutkitaan myös sitä, mitä tarkoittaa nopea rakentaminen, sekä esitetään, mitä eri väliseinän rakentamisvaihtoehtoja on olemassa. Työssä esitetään myös yksinkertaistettuna, miten nämä valinnat vaikuttavat rakentamisen kustannuksiin.

Työn tavoitteena on siis eritellä mahdollisimman hyvin nopeaan rakentamiseen soveltuvat väliseinien rakentamisvaihtoehdot ja miten eri valinnat voivat vaikuttaa väliseinien rakentamiskustannuksiin. Näin ollen tämän työn tuloksilla voidaan nopeuttaa rakentamista kuitenkin huomioiden kustannukset.

Työ rajataan koskemaan ainoastaan asuinkerrostaloja ja näiden väliseinärakenteita. Rajaus tehdään, jotta voidaan tarkastella tarkemmin väliseinien vaikutusta eikä niinkään eri rakennustyyppien vaikutusta. Tutkimuksesta rajataan pois myös kosteat tilat, sillä kosteiden tilojen erilaiset pintakäsittelytavat ja -vaatimukset vaikuttaisivat myös liikaa rakentamisen nopeuteen vertailua tehdessä. Työssä käytetään tietyissä materiaalivalinnoissa sekä rakentamisajoissa yksinkertaistuksia, jotta seiniä voidaan vertailla mahdollisimman helposti. Yksinkertaistuksia käytetään myös, jotta tietyt materiaaleista tai työtavoista johtuvat eroavaisuudet ja poikkeamat eivät vaikuta niin paljoa lopputuloksiin. Nopeuden tarkasteluun käytetään ainoastaan karkeutettuja työmenekkejä, eli ainoastaan sitä aikaa mikä rakenteen pystyttämiseen kuluu. Tutkimuksen kannalta ei ole oleellista tarkastella esimerkiksi materiaalien vastaanottoon, varastointiin ja siirtoihin käytettyä aikaa, sillä nämä eivät suoraan vaikuta rakenteen pystyttämiseen kestävään aikaan.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne

Tutkimus suoritetaan kirjallisuustutkimuksena ja kirjallisuuslähteinä toimii pääsääntöisesti Rakennustiedon RT- ja Ratu-aineistot. Työssä tullaan siis käsittelemään väliseinärakenteiden rakentamisvaihtoehtoja sekä niiden vaikutuksia rakentamisnopeuteen. Aluksi määritellään mitä tarkoittaa nopea rakentaminen ja minkälaisia eri väliseinävaihtoehtoja on olemassa. Näiden tietojen pohjalta vertaillaan miten erirakentamisvaihtoehdot vaikuttavat rakentamisnopeuteen. Vertailu suoritetaan tulokset luvussa. Tulosten perusteella esitetään rakentamisen prosessia nopeuttava väliseinän rakentamisvaihtoehto, joka tämän tutkimuksen perusteella on löydetty.

Vertailua tehdään työmenekkien perusteella sekä myös miten eri materiaalien ominaisuudet sopivat tiettyyn tilan käyttötarkoitukseen. Vertailussa käytetään myös yksinkertaista, tietyn kokoista väliseinää, jonka perusteella eri rakentamisvaihtoehtojen nopeutta ja hintaa voidaan tarkastella.

2. VÄLISEINÄRAKENTEET JA NOPEA RAKENTAMINEN

Tässä luvussa käsitellään yleiset asiat liittyen kevyisiin väliseiniin sekä nopeaan rakentamiseen. Väliseinistä käsitellään mitä eri rakentamisvaihtoehtoja niille on sekä nopeasta rakentamisesta sen peruskäsitteet ja ajatukset.

2.1 Kevyet väliseinät

Kevyillä väliseinillä tarkoitetaan seinärakenteita, jotka eivät ole kantavia. Väliseinien tarkoituksena on erottaa tiloja toisistaan sekä estää äänen kulkeutumista. Muita väliseinien tarkoituksia on toimia hajuesteenä, eristää lämpöä sekä estää palon leviämistä. Väliseiniä voidaan myös käyttää erilaisten kalusteiden, kuten kaappien, kiinnitysalustana. (Ratu KI-6020 2010, s. 217–218)

Kevyiden väliseinien rakentamisvaihtoehtoja on monia. Yleisin käytössä oleva kevyt väliseinärakenne on puu- tai metallirankarunkoinen, johon on kiinnitetty joko puu- tai kipsilevyjä. Yleisimmin tällä tavoin rakennettujen seinien välissä on myös äänen eristämiseksi mineraalivillaa. (Ratu KI-6020 2010, s. 217)

Rakentamisvaihtoehtoina ovat myös muurattavat materiaalit. Näitä ovat esimerkiksi tiili- ja harkkorakenteet. Erilaisia harkkomateriaaleja ovat kevytbetoni-, kevytsora- ja kalkkihiekkaharkot. Harkkoseinien etuna on, että niitä voidaan käyttää joko kantavana tai eikantavana seinänä. Harkkoseinät voivat sisältää myös eristeen, joko valmiiksi harkkoihin asennettuna tai asennusvaiheessa kiinnitettynä. (RT 82-10588 1995, s. 11)

Tiiliseinät ovat joko poltetusta tiilestä tai kalkkihiekkatiilestä. Seinät voivat olla puhtaaksimuurattuja tai tasoitteilla tasattuja. Tiiliseinät voivat myös olla eristettyjä. (RT 82-10903 2007, s. 10–12)

Teräsbetoniväliseinät ovat myös yksi mahdollisista rakentamisvaihtoehdoista. Betoniväliseinä voi olla paikallavalettu tai valmis elementti. Teräsbetoninen väliseinä voi olla joko eristetty tai eristämätön. Sitä voidaan myös verhota monin erilaisin tavoin. (RT 82-10903 2007, s. 4–9)

Muita vaihtoehtoja ovat väliseinäelementit, väliseinälaatat ja liikkuvat väliseinärakenteet. Väliseinäelementit on valmistettu joko betonista, puusta tai harkoista. Väliseinälaatat voivat olla karkaistuja kevytbetoniharkkoja. Laattojen muuraamiseen käytetään ohutsauma-muurausta. (Ratu 42-0291 2005, s. 6–8)

Elementeistä valmistetut väliseinät voidaan suunnitella moduuleina, ja näin ollen ne ovat helppoja asentaa sekä muunneltavissa kokonaisuuksina. Järjestelmäväliseinät voidaan suunnitella yksilöllisesti kohteeseen ja yhdistellä muihin rakenteisiin. (Toimitalo 2018)

Työhön on valittu tarkasteltaviksi tavanomaisimmat väliseinärakenteet eli kipsilevy-, harkko- ja teräsbetoniväliseinät. Nämä valinnat on tehty siksi, että voidaan vertailla miten yleisimpien seinien rakentamisajat poikkeavat toisistaan. Lisäksi työhön on valittu tarkasteltavaksi kerrostalorakentamisessa harvinaisemmat puuelementtiseinät, jotta saadaan työhön lisää vertailtavia vaihtoehtoja sekä mahdollisia rakentamisen nopeuttamisratkaisuja.

2.2 Nopea rakentaminen

Nopean rakentamisen määrittely erityisien kriteerien perusteella voi olla hankalaa, mutta kuten yleisestikin nopeudella tarkoitetaan sitä, missä ajassa saadaan suoritettua tietty tehtävä tai suorite. Rakentamisessa nopeudella voidaan tarkoittaa sitä, kuinka vähällä ajankäytöllä jokin suorite voidaan toteuttaa. Rakentamisessa käytetään työsuoritteita ja työsaavutuksia. Näiden avulla voidaan arvioida, kuinka kauan tietyn työvaiheen tekemiseen kestää tai kuinka paljon esimerkiksi väliseinää pystytään rakentamaan tietyssä ajassa.

Nopeassa rakentamisessa siis tavoitteena on saada tehtyä valmista mahdollisimman lyhyessä ajassa, mitattuna esimerkiksi neliömäärissä. Tämän hetkinen rakentamisen trendi oikeastaan pakottaa rakentamisen olevan nopeaa, sillä projektien aikatauluja yritetään kiristää joka suunnasta ehkä tuottavuuden ja hyötyjen maksimoimiseksi. Rakentamista nopeuttamalla saadaan hankkeeseen sijoitettu pääoma nopeammin tuottamaan kohteen valmistuttua.

Rakentamisen tehostamisella voidaan saavuttaa tavoiteltuja ajansäästöjä rakentamisessa. Esimerkiksi uusien laitteiden tai uudistettujen työmenetelmien ja -materiaalien avulla pystytään vaikuttamaan kohteen valmistumisen nopeuteen. Rakennustekniikoiden kehittyessä nämä vaikuttavat suuresti tulevaisuuden rakentamiseen. Väliseinien kohdalla uudet järjestelmät ja menetelmät voivat luoda merkittävää ajansäästöä rakentamisaikaa tarkastellen. Väliseinien osuus tavanomaisen asuinkerrostalon kohdalla on kuitenkin merkittävä.

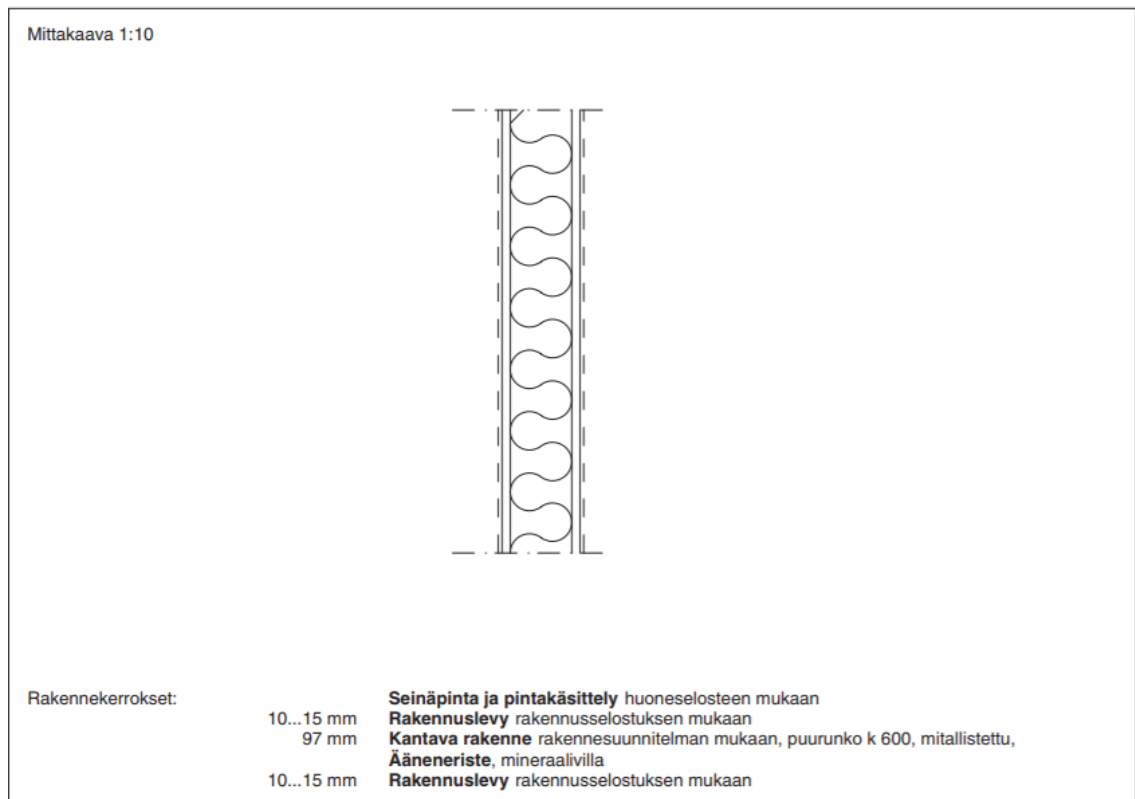
3. VÄLISEINIEN RAKENTAMISVAIHTOEHDOT

Tässä luvussa esitetään eri väliseiniä rakentamisvaihtoehtojen rakenne, rakentamistapa ja muun muassa rakentamisaika. Lisäksi esitetään minkälaisia väliseinämateriaaleja on. Käsitellään seinän perustiedot, rakentaminen sekä kuinka nopeasti rakene voidaan rakentaa. Viimeisessä alaluvussa esitetään työssä käytettävä esimerkki seinärakenne, jonka perusteella tulokset käsitellään.

3.1 Metallirankainen sekä puurunkoinen kipsilevyväliseinä

Metallirankainen väliseinä koostuu metallirankarungosta sekä siihen kiinnitettävistä levyistä, jotka voivat olla materiaaliltaan puuta tai kipsiä (Ratu 0426 2014, s. 12). Metalliranka on standardin (SFS-EN 14195 2005) mukaan 66 mm paksu, jolloin väliseinän paksuudeksi 13 mm kipsilevyt asennettuna puolittain tulee 92 mm. Kipsilevyt ovat standardin (SFS-EN 520 + A1 2010) mukaan 13 mm paksuja. Kuitenkin rakenteessa voi olla puolittain enemmänkin kuin yksi levy asennettuna. Levyt asennetaan ruuvaamalla ne kiinni rankaan. Puurunko koostuu vähintään 45 x 95 mm viilupuusta eli LVL:stä.

Käytetään tarkastelussa kipsiväliseinärakennetta, jossa on puu- tai metallirungossa yksinkertainen kipsilevytys molemmilta puolin, eli molemmilla puolin runkoa on ruuvattuna kiinni yksi kipsilevy. Kuvassa 1 on leikkauskuva käytettävästä rakenteesta. Esitetyssä kuvassa kantavana rakenteena puurankarunko. Metallirankaa käytettäessä leikkaus olisi kuitenkin samankaltainen.



Kuva 1. Kipsilevyväliseinän leikkaus (RT 82-10903 2007, s. 32)

Kuvan 1 mukaisen rakenteen paloluokka on tyyppihyväksyntöjen mukaan ei-kantavana EI 60. Ääneneristävyteen voidaan vaikuttaa käyttämällä akustorankoja sekä lisäämällä levykerrosten määrää. Ääneneristäjänä toimii myös seinän sisältämä mineraalivilla. Ilmaääneneristävyys $R'w$ (dB) > 48 dB akustorankoja käyttämällä. (RT 82-10903 2007, s. 27)

3.1.1 Kipsilevyseinien rakentaminen

Metallirankaisen väliseinän asennustyö aloitetaan kiinnittämällä betonilattiaan alajuoksu eli kisko, joka toimii seinän alaosana. Tämän jälkeen mitataan ja pystytetään pystyrangat tietyllä jaolla levyrakenteiden vaatimusten mukaan. Pystyrangat kiinnitetään pyöräyttämällä alajuoksun sisään. Puurunkoisessa väliseinässä toimitaan muuten samoin kuin metallirankaisessa, mutta ala- ja yläjuoksut ja rangat ovat puumateriaalia. Puurakenteisessa väliseinässä rangat naulataan kiinni ala- ja yläjuoksuihin. Väliseinärakenteessa voidaan käyttää myös näiden kahden menetelmän sekoitusta esimerkiksi siten, että ala- ja yläjuoksut ovat metallia, mutta rangat ovat puuta. (Ratu 0426 2014, s. 9–11)

Väliseiniin levyt kiinnitetään ruuvaamalla ne kiinni rankoihin tietyiltä välimatkoilta k-jaolla. Levyjä voidaan kiinnittää monta päällekkäin, esimerkiksi yksi vanerilevy ja kaksi kipsilevyä. Näin saadaan rakenteelle parempi ääneneristävyys ja palonkestävyys sekä siihen

voidaan kiinnittää paremmin kalusteita (Ratu 0426 2014, s. 12). Kun toisen puolen levyt ovat asennettuina, laitetaan rakenteeseen mineraalivillat ääneneristävyyttä parantamaan (Ratu KI-6020 2010, s. 217). Samalla asennetaan tarvittavat putkitukset, aukot ja sähköasiat.

3.1.2 Kipsilevyseinien rakentamisen kesto

Väliseinän rungon pystyttämisen karkeutettuna T3 työmenekkinä on 0,17 tth/m², jossa tth/m² tarkoittaa tehtyjä työtunteja neliötä kohden. Levyjen asentamisen karkeutettuna työmenekkinä on 0,26 tth/m² (Ratu 0426 2014, s. 1). Yhteensä työmenekkinä on siis 0,43 tth/m². Karkeutettu työmenekki ei kuitenkaan ole kovin tarkka kuvaamaan kuinka kauan rakentaminen kestää, mutta sen avulla voidaan tehdä suuntaa-antava arvio. Karkeutuksessa työmenekissä huomioidaan ainoastaan rungon pystytys sekä levyjen asennus ja kiinnitys. Todelliseen työmenekkiin vaikuttavat siirrot, rungon materiaali ja runkojako, levyjen määrä sekä eristämisen vaikeus. Suoritemäärällä on myös vaikutusta (Ratu 0426 2014, s. 4). Muita vaikuttavia asioita ovat varastointi, työmaajärjestelyt, laitteet, työvälineet, seinäkorkeus, levytyyppi, aukkojen lukumäärä ja nurkkien lukumäärä (Ratu 0426 2014, s. 5). Kipsilevyseinän rakentamisessa työryhmänä toimii yksi työntekijä. Työryhmien koossa käytetään suositeltuja arvioita.

Tutkimuksessa käytetään ainoastaan karkeutettuja työmenekkejä, kuten edellä on mainittu, sillä näiden avulla pystytään tarkastelemaan rakentamisen nopeutta. Tutkimuksessa ei huomioida esimerkiksi tavaroiden vastaanottoon ja varastointiin käytettyä aikaa.

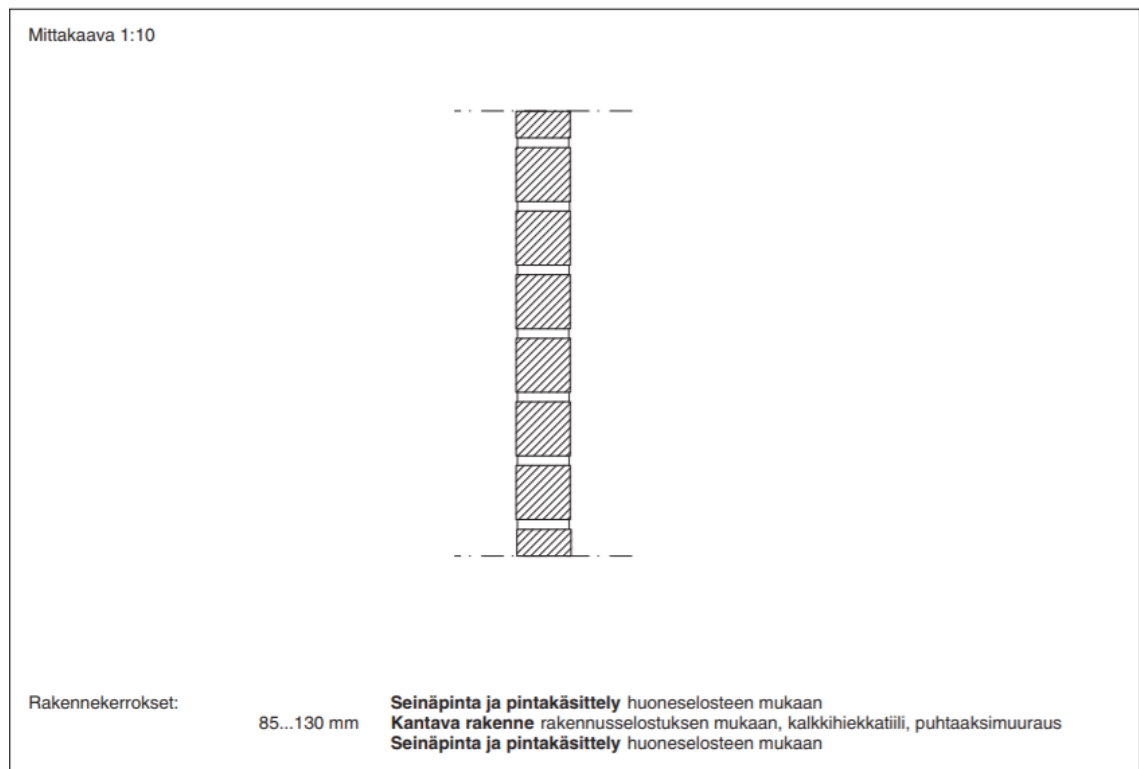
3.2 Harkkorakenteinen väliseinä

Harkkorakenteisiin on valittavissa kolmea eri harkkomateriaalia. Nämä ovat kevytbetoni-harkko, kevytsoraharkko ja kalkkiahiekkaharkko. Väliseinät näistä vaihtoehtoista rakennetaan kukin muuraamalla. On olemassa pontillisia ja pontittomia harkkovaihtoehtoja. Tämän tutkimuksen rajauksen perusteella asuinkerrostaloon sopivimmaksi vaihtoehdoksi otetaan kalkkiahiekkaharkko, josta näistä yleisimmin rakennetaan väliseiniä. (RT 82-10588 1995, s. 1–2)

Harkkoväliseiniä voidaan rakentaa kantaviksi sekä kantamattomiksi, eli ne voivat joko toimia osana rakennuksen runkoa tai olla vain tiloja erottavia väliseiniä. Harkkorakenteet ovat hyvin ääntä eristäviä niiden suuren massan ansiosta. Väliseinässä voidaan käyttää esimerkiksi 300 mm x 85 mm x 198 mm kalkkiahiekka väliseinäponttiharkkoa. (RT 35-10841 2005, s. 2) Ponttiharkossa on päissä urat jotka helpottavat niiden osumista keskenään kohdilleen. Harkkomuurauksessa yleensä käytetty muurausmenttilaasti M

100/500 sisältää 100 paino-osaa muuraussementtiä ja 500 paino-osaa hiekkaa. Kuitenkin muurauksessa on noudatettava tuotekohtaisia ohjeita laastia valittaessa. (Ratu 42-0290 2005, s.10)

Kuvassa 2 esitetään leikkauskuva käytettävästä harkkoväliseinärakenteesta. Rakenteena toimii 85 mm paksu muurattu kalkkihiekkaharkko. Kuvassa esitetty myös pintakäsittelyt, mutta niitä ei työssä huomioida.



Kuva 2. Harkkoväliseinän leikkaus (RT 82-10903 2007, s. 12)

Kuvan 2 mukaisen 85 mm paksun kalkkihiekkatiilirakenteen ilmajeneristävyyden lukuna on $R'w$ (dB) > 44 ja paloluokkana ei-kantavana EI 60. (RT 82-10903 2007, s. 12) Ääneneristävyys on siis kohtalaista ja palonkestävyys heikko.

3.2.1 Harkkoseinän rakentaminen

Väliseinämuuraus aloitetaan mittaamalla seinän paikka oikeaan kohtaan sekä tarkistamalla pohjan kelpoisuus. Seinästä merkataan sen ulkolinjat alustaan sekä asennetaan kulmatolpat, joiden avulla seinä saadaan suoraan vatupassin ja linjalangan avulla. Bitumihuopakaistaa käytetään seinän ja alustan välissä, jotta seinän ja alustan erilaiset liikkeet eivät vaurioita seinää. Huovan päälle levitetään laastia ja aloitetaan harkkojen latominen linjalangan mukaisesti. Harkkojen latominen etenee siten, että saumalaastia levitetään laastikauhalla harkon päälle ja seuraava harkkokerros ladotaan edellisten päälle.

Harkkojen päädyissä olevat pontit helpottavat seinän linjaamista ja ohjaavat harkot oikeisiin paikkoihin. Harkot limitetään suorissa seinissä puolen kiven limityksellä. Aukkojen ylityksiin voidaan käyttää valmiita harkkopalkkielementtejä. (Ratu 42-0290 2005, s. 8)

Väliseinäharkot voidaan valaa betonilla täyteen, jos on tarvetta saada seinästä tukevampi. Tällöin harkot voidaan myös raudoittaa suunnitelmien mukaan. Väliseinä voidaan rakentaa harkoista normaaliin huonekorkeuteen eli 2,5 m asti liimaamalla ja valamalla. (Ratu 42-0290 2005, s. 9)

3.2.2 Harkkoseinän rakentamisen kesto

Harkkomuurauksessa työmenekkeihin lasketaan mukaan laastinvalmistus sekä muuraus. Käytetään tutkimuksen tarkastelussa ajan kannalta edullisimpia vaihtoehtoja menekkiä määritettäessä. Lasketaan menekki 300 mm x 85 mm x 198 mm väliseinäharkon muuraukselle, sekä laastinvalmistus laastimyllyllä Ratu 42-0290 (2005, s. 2) mukaan. Laastinvalmistuksen menekkinä laastimyllyllä on 0,47 tth/m². Harkkoseinän muurauksen menekkinä on 0,41 tth/m². Näin saadaan harkkomuurauksen tehdyiksi työtunneiksi neljötä kohden karkeutettuna 0,88 tth/m². (Ratu 42-0290 2005, s. 2)

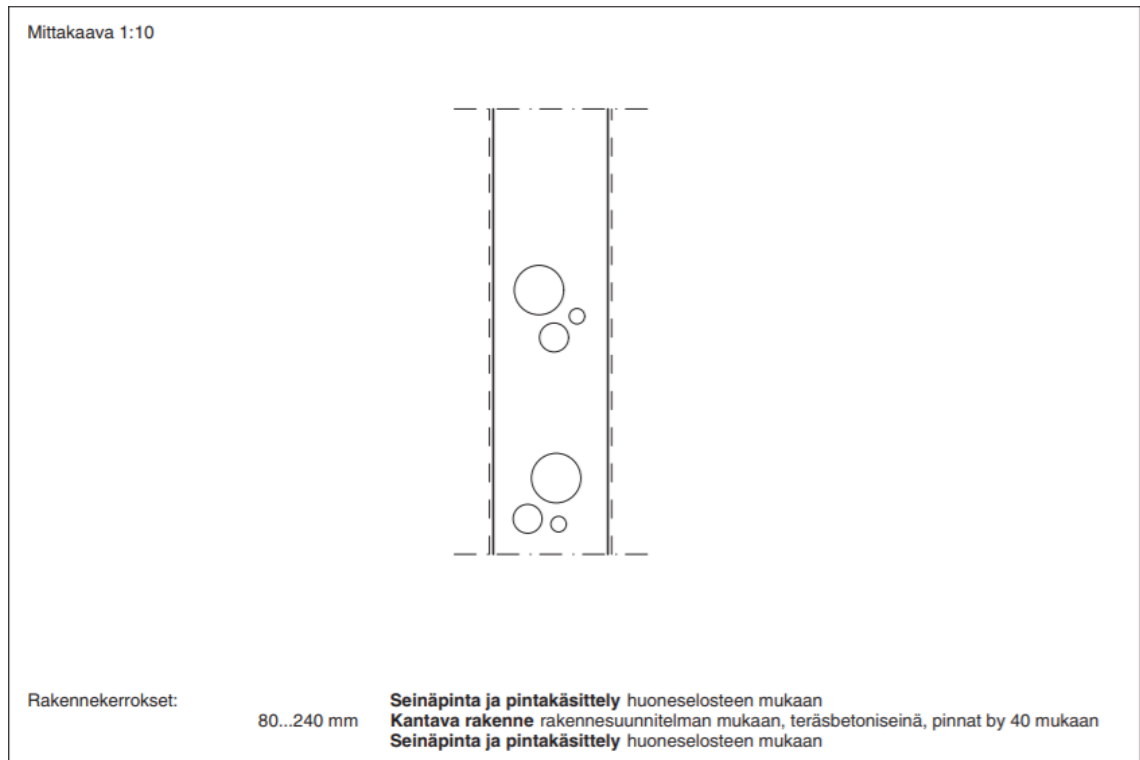
Harkkomuurauksessa laskennassa toimii 2 henkilön työryhmä. Kalkkihiekkaharkkojen koko ja suorit määrä määrittävät kuinka montaa työntekijää käytetään. Valitaan kaksi henkilöä tämän tutkimuksen laskentaan.

3.3 Teräsbetoninen väliseinä

Teräsbetoniset väliseinät ovat yleisimmin elementtirakenteita, jotka ovat valmistettu elementtitehtaalla ja nostetaan paikalleen rakentamisvaiheessa nosturien avulla. Tyypillisen asuinkerrostalon väliseinäelementit ovat yleensä raudoittamattomia ja paksuudeltaan joko 180 mm tai 200 mm. (RT 82-10821 2004, s. 3) Teräsbetonielementit valmistetaan elementtitehtaalla valamalla ja harjateräksillä raudoitettuina. Tehtaalte toimitetaan suunnitelmat, joiden mukaan elementit valmistetaan rakennushankkeen tarpeisiin.

Teräsbetoniset elementtivaliseinät ovat yleensä kantavia väliseiniä ja toimivat osana rakennuksen runkoa. Teräsbetoniset väliseinät voivat olla myös paikalla valettuja rakenteita, mutta tämän tutkimuksen kannalta niitä ei kannata huomioida, sillä niiden rakentaminen on huomattavasti hitaampaa muihin tapoihin verrattuna. Hitaus johtuu siitä, että paikalla valettaessa on otettava laskentaan mukaan myös muotti- ja valutyöt.

Kuvassa 3 esitetään leikkauskuvaa teräsbetonisesta väliseinästä. Väliseinän paksuus on 200 mm ja rakenne voi olla raudoitettu tai raudoittamaton.



Kuva 3. Teräsbetoniväliseinän leikkaus (RT 82-10903 2007, s. 4)

Pintakäsittelyjä ei työssä tarkastella. 200 mm paksuna teräsbetoniselle ei-kantavalle väliseinälle ilmanääneneristävyytluku on $R'w$ (dB) >55 ja paloluokkana EI 240. (RT 82-10903 2007, s. 4) Näiden arvojen perusteella voidaan todeta, että rakenteella on hyvä ääneneristävyys sekä palonkestävyys.

3.3.1 Betonielementein rakentaminen

Väliseinäelementit valmistetaan betonielementtitehtaalla suunnitelmien mukaan ja tuodaan työmaalle elementtiauotoilla. Elementit puretaan kuormasta varastoon tai asennetaan suoraan kuormasta paikoilleen. Elementtien asennuspaikat mitataan kohdalleen ennen nostojen aloittamista. Apuna tähän voidaan käyttää esimerkiksi takymetriä. Elementin asennusalusta tarkistetaan ja asennetaan asennuspalat, joiden avulla elementtien korkoa nostetaan saumauksen mahdollistamiseksi. (Ratu 0392, s. 7)

Elementit nostetaan paikoilleen nosturin avulla suunnitellussa asennusjärjestyksessä. Elementti nostetaan asennuspalojen päälle ja tartunnat kiinnitetään paikoilleen väliseinäelementtiin. Tämän jälkeen elementit tuetaan vähintään kahdella elementtituella. Elementtitukien avulla elementti säädetään pystysuoraksi vesivaakaa tai muuta vastaavaa avuksi käyttäen. (Ratu 0392 2012, s. 9)

Kun elementit on asennettu paikoilleen, juotetaan ne betonilla yhtenäisiksi. Elementeissä valmiina olevat juotoslenkit taivutetaan raudoitussuunnitelman mukaan ja tarvittavat raudoitusteräokset asennetaan saumoihin. Elementtisaumoihin asennetaan valumuotit ja juotossaumat valetaan täyteen notkealla betonilla. Näin elementtiseinä on valmis betonin kuivuttua. (Ratu 0392 2012, s. 11)

3.3.2 Betonielementein rakentamisen kesto

Ratu 0392 (2012, s. 18) esimerkin mukaan 6-kerroksisessa asuinkerrostalossa väliseinäelementtejä on 243 kappaletta. Karkeutettuna T3 työmenekkinä väliseinäelementeille saadaan 1,95 tth/kpl. Menekeiksi saadaan Ratu 0392 (2012, s. 18) mukaan väliseinäelementin asennukselle 1,45 tth/kpl ja seinäelementtien tukkolaudoitukselle, saumavalulle ja laudoituksen purulle 0,5 tth/kpl. Näin siis saadaan yhteistulos 1,95 tth/kpl.

Määritetään yhden elementin kooksi 2,5 m x 3,5 m ja näin saadaan elementin pinta-alaksi noin 9 m². Näin ollen rakennukseen tulee esimerkistä poiketen yhteensä noin 120 elementtiä. Työmenekiksi saadaan tällä elementtikoolla 0,22 tth/m². Asentamisen työryhmänä toimii 3 elementtiasentajaa sekä nostolaite ja sen kuljettaja.

3.4 Puuelementit

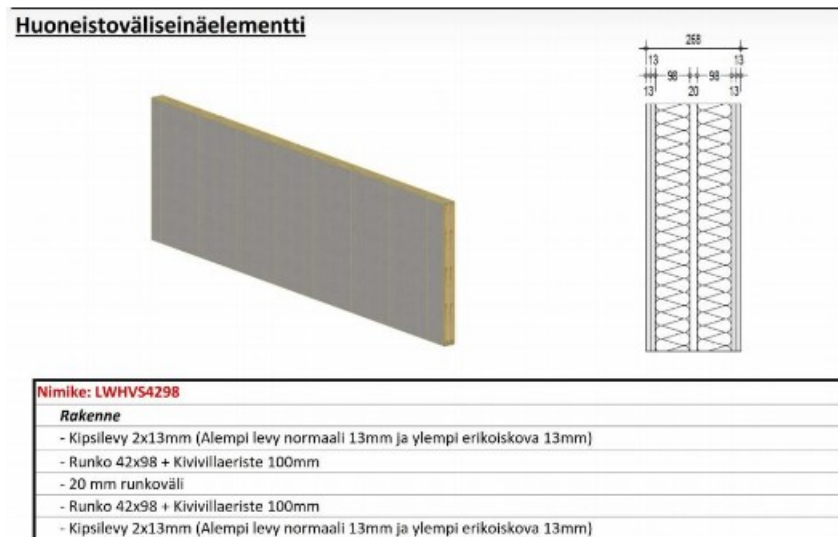
Puiset umpielementtiväliseinät ovat moduulirakenteisia, joiden runko koostuu kerto-puusta ja sisälle on asennettu villaeriste valmiiksi. Elementtiväliseinät ovat nopeita asentaa sekä niiden siirtely on helppoa. Ne tulevat tehtaalta asennusvalmiina. Elementit voivat olla jo valmiiksi pintakäsitelyjä ja kustomoitavissa asiakkaan tarpeiden mukaan. (HSL Group 2019)

Käytetään tässä työssä rakenteena 268 mm rakennepaksuista huoneistoväliseinäelementtejä. Elementillä leveyttä on 3500 mm ja korkeutta 2500 mm. Puuelementit ovat yleisimmin CLT:stä tehtaalla rakennettuja elementtejä, jotka ovat kohteen mukaan suunniteltavissa. Elementtiratkaisuja ovat erilaisia eri valmistajilta. Elementit voidaan tehdä CLT:stä tai LVL-rangalla, samanlaisena kuin perinteinen kipsilevyseinä, mutta vain valmiiksi paikalleen nostettavana elementtinä. Valittu huoneistoväliseinäelementti on 98 mm rungosta, kipsilevyistä ja 100 mm villaeristeestä valmistettu. (Lapwall LEKO 2019 s. 24)

Puuelementteinä voivat olla myös tietynlaiset moduuliratkaisut, jossa koko tila on rakennettu valmiiksi tehtaalla ja nostetaan työmaalla vain paikoilleen. Tämä ratkaisu siirtää suuren osan rakennusajasta tehtaalle työmaan sijaan. Tilamoduulissa on kaikki huoneiston väliseinät jo valmiiksi yhteen koottuna. Tässä tapauksessa moduulin väliseinäpinta-

alana on siis yhden huoneiston seinät eli 60 m². Moduulissa kaikki talotekniikka sekä myös jotkin pinnoitteet ovat jo valmiiksi tehtaalla asennettuina, mikä myös nopeuttaa rakentamista muutenkin kuin vain väliseinien osalta. Moduulit ovat siis käytännössä sama rakenne kuin puuelementit, mutta vain valmiiksi yhteen tehtaalla koottuna.

Kuvassa 4 leikkaus puuelementtirakenteisesta väliseinästä. Samanlaista rakennetta voidaan käyttää sekä pelkkänä elementtinä, että valmiina moduuliratkaisuna.



Kuva 4. Puuelementtiväliseinän leikkaus (Lapwall LEKO 2019 s. 24)

Elementtien ja moduulien ääneneristävyys ja palonkestävyys ovat tällä rakenteella samat kuin kipsilevyväliseinällä, sillä rakenteet ovat samankaltaiset. Kuitenkin jos elementit valmistetaan esimerkiksi massiivipuusta tai muusta materiaalista, voivat nämä arvot olla erilaisia.

3.4.1 Puuelementein rakentaminen

Puuväliseinäelementtityö on monella tapaa hyvin samankaltaista betonielementtiväliseinien kanssa. Elementit valmistetaan tehtaalla ja kuljetetaan työmaalle, jossa ne joko varastoidaan tai nostetaan kuormasta paikoilleen. Jos puuelementit varastoidaan, on ne syytä suojata sään vaikutuksilta. (Ratu 0424 2014, s. 9)

Ennen asennustyön aloittamista asennusalusta tarkastetaan sekä korkoasemat merkitään. Elementtien paikat merkitään alustaan sekä alustaan asennetaan esimerkiksi bitumikermi elementin asennuspaikan kohdalle. Bitumikermillä suojataan puuelementtiä kosteudelta, jota alustasta voi siihen nousta kapillaarisuuden vuoksi. Alustaan kiinnitetään alasidepuu, jonka päälle elementti asennetaan. Elementit nostetaan paikoilleen nosturin avulla ja tuetaan elementtitiilla. (Ratu 0424 2014, s. 10)

Elementit kiinnitetään alasidepuuhun ja viereisiin elementteihin elementtitoimittajan ohjeiden mukaisesti. Kiinnittämiseen voidaan käyttää ruuveja sekä teräslevyliittimiä kuten kulmalevyjä. Elementin yläreunaan kiinnitetään yläsidepuu, johon elementti tuetaan asennusohjeiden mukaan. Elementin saumat tiivistetään elastisella tiivistysmassalla. (Ratu 0424 2014, s. 11)

Tilamoduuleiden asentaminen toimii kuten elementtienkin, mutta moduuleiden ollessa isompia, on käytettävä niiden paikalleen saattamisessa avuksi enemmän työvoimaa sekä asennuskankia. Moduulit nostetaan valmistajan ohjeiden mukaisesti nostokohdista sekä kiinnitetään samoin asennusohjeiden mukaan. Moduulit kiinnitetään elementtien tavoin alasidepuuhun ja toisiin moduuleihin. Saumat tiivistetään elastisella massalla. (Ratu 0425 2014, s. 10)

3.4.2 Puuelementein rakentamisen kesto

Puuelementtiväliseinän asentamisen karkeutettu T3 työmenekki on 0,76 tth/kpl, jossa tth tarkoittaa tehtyjä työtunteja. Elementtiasennuksen työryhmänä toimii 2–3 elementtiasentajaa sekä nostoissa lisäksi nostolaitteen kuljettaja. Kahden henkilön työryhmän työvuorossa eli 8 h aikana saavuttama karkeutettu työsaavutus on 21 kappaletta. (Ratu 0424 2014, s. 1) Käytetään työn laskennoissa rakentamiseen käytettävän 2 henkilön työryhmää sekä nostokonetta ja sen kuljettajaa. Yhden elementin kokona on siis 2,5 m x 3,5 m eli noin 9 m² joten tehdyt työtunnit neliötä kohden on 0,08 tth/m². Rakentamisajan kannalta ei ole merkitystä onko elementti valmistettu massiivipuusta vai kipsilevyseinän tavoin valmiiksi. Asentamistyö kuitenkin pysyy samankaltaisena puumateriaalista riippumatta. Puuelementeissä kuitenkin suurin työ tehdään valmiiksi jo elementtitehtaalla.

Tilamoduuleita asennettaessa karkeutettu T3 työmenekki on 2,5 tth/kpl. Valitaan tässä työssä käytettäväksi moduulin kooksi huoneiston jokaisen seinän kattava moduuli. Yhden huoneiston väliseinäpinta-alan ollessa 60 m² on se näin ollen yhden moduulin seinäpinta-ala. Tällä perusteella yhden moduulin työmenekiksi saadaan 0,04 tth/m². Tilamoduuleita asentaessa työryhmään kuuluu 3–5 elementtiasentajaa, nokkamies sekä nostoissa nostolaitteen kuljettaja. 4 henkilön työryhmällä saavutetaan työvuoron aikana 13 kappaleen työsaavutus. (Ratu 0425 2014, s.1) Käytetään työn laskennassa 4 henkilön työryhmää asentamisessa ja nostokonetta sekä nostokoneen kuljettajaa.

3.5 Esimerkkikohde

Esimerkkirakenteena toimii asuinkerrostalon huoneistojen välinen väliseinä. Valitaan huoneiston pituudeksi 10 m sekä seinän korkeudeksi 3 m. Näin ollen yhden väliseinän

pinta-ala on 30 m^2 . Määritetään kerrostalon korkeudeksi 6 kerrosta ja jokaisessa kerroksessa on 6 asuntoa. Näin ollen väliseiniä on kerrostalossa neljä väliseiniä jokaisessa kerroksessa, eli yhteensä 24 väliseiniä, jolloin koko kerrostalossa on yhteensä asuntojen välisiä seiniä 720 m^2 .

Porraskäytävän ja asuntojen välillä on myös väliseinä. Oletetaan yhden asunnon leveydeksi 4 m, näin ollen kerroskäytävän ja asuntojen välisen seinän pinta-alaksi kerrosta kohden muodostuu 72 m^2 . Tästä määrästä täytyy vähentää vielä ovien pinta-ala. Oletetaan yhden oven ja sen karmien yhteiskooksi $900 \text{ mm} \times 2100 \text{ mm}$. Näin ollen yhden oven pinta-alaksi saadaan 2 m^2 . Vähennetään kerroskohtaisesta asuntojen ja kerroskäytävän seinän pinta-alasta ovien pinta-ala, jolloin saadaan 61 m^2 kerrosta kohden. Yhteensä koko kerrostalossa asuntojen ja kerroskäytävän välisiä seiniä siis 364 m^2 .

Asuntojen välisten seinien pinta-alan ollessa 720 m^2 sekä asuntojen ja kerroskäytävän välisten seinien pinta-alan ollessa 364 m^2 saadaan koko asuinkerrostalon väliseinäpinta-alaksi 1084 m^2 .

Esimerkkikohde on yksinkertaistettu, sillä normaalisti asuinkerrostaloissa on eri kokoisia asuntoja ja vaihteleva lukumäärä väliseiniä kerrosta kohden. Kuitenkin tulosten laskennan yksinkertaistamiseksi tehdään vastaavat oletukset. Tutkimuksen tarkoituksena on tarkastella väliseinien rakentamisen nopeuttamisen mahdollisuutta ja tulos todentuu yksinkertaisenkin esimerkin avulla tässä tapauksessa.

3.6 Materiaali- ja työkustannukset

Tarkasteltavia kustannuksia ovat materiaalikustannukset, työntekijöistä aiheutuvat kustannukset sekä mahdolliset tarvittavista työkoneista muodostuvat kustannukset. Jotta voidaan vertailla vain rakentamistavan kustannuksia, määritetään jokaiselle työntekijälle sama tuntipalkka. Tutkimuksen tarkoitus ei myöskään ole tarkastella kustannuksia kovin yksityiskohtaisesti, joten tämän vuoksi tuntipalkkoihin tehdään kyseinen yksinkertaistus. Todellisuudessa tuntipalkoissa on eroja, sillä esimerkiksi elementtiasentajan ja normaalin rakennustyömiehen palkat ovat yleisesti ottaen eri suuruiset. (RT-kustannuslaskenta 2019)

Valitaan rakennusmiehen kustannukseksi sosiaalikuluneen 28 €/h ja nosturinkuljettajalle sosiaalikuluneen 40 €/h . Nosturin tuntivuokraksi 110 €/h . Työntekijäkustannukset ja taulukon 1 materiaalikustannukset on laskettu RT-kustannuslaskenta (2019) palvelun sekä Lapwall LEKO hinnaston (2018, s.10) avulla.

Taulukko 1. Väliseinien materiaalikustannukset neliötä kohden

Rakenne	€/m ²
Levyseinä	19,13
Harkkoseinä	22,07
Betoniseinä	87,06
Puuelementti	63,80
Puumoduuli	120,00

Levyseinän, harkkoseinän ja betoniseinän materiaalikustannukset on määritetty RT-kustannuslaskenta (2019) palvelun avulla. Levyseinälle saadaan hinnaksi 1,13 €/m². Kalkkikiviharkk väliseinän materiaalikustannuksiksi saadaan 22,07 €/m². 200 mm betonielementtiseinälle hinnaksi saadaan 87,06 €/m². Lapwall LEKO hinnasto (2018, s. 10) mukaan määritetty huoneistoväliseinäelementin hinta on 63,80 €/m². Puumoduulien hinta on arvio, jonka tekemiseen on käytetty eri materiaaleista ja tyyleillä rakennettuja tilamoduuleja. Arvion mukaan yhden kokonaisen moduulin hinnaksi saataisiin noin 7000 €. Tämän hinnan mukaan saadaan kustannukseksi neliötä kohden 120 €/m².

4. TULOKSET

Tässä luvussa käsitellään väliseinärakenteiden rakentamisajan vertailua tutkien mikä vaihtoehdoista olisi rakentamisnopeuden kannalta toimivin vaihtoehto. Kappaleessa vertaillaan myös eri vaihtoehtojen kustannuksia ja näiden vaikutusta rakentamisnopeuden kannalta parhaan rakenteen valintaan.

4.1 Rakentamisaika

Vertaillaan eri rakenteiden rakentamisaikaa työmenekkien ja tämän avulla lasketun tarvittavan työajan avulla. Lasketaan ajat edellä määritetyn esimerkkikohteen avulla, jotta tulokset ovat mahdollisimman hyödyllisiä tarkastelun kannalta. Tulokset lasketaan käyttämällä edellä määritettyjä työmenekkejä eri rakenteille, jotka kerrotaan väliseinien kokonaisneliömäärällä. Työmenekit ovat laskettu tietylle työryhmälle, joten tulokset eivät ole yksittäisen työntekijän tekemiä tunteja vaan tietyn työryhmän vaadittavat tunnit. Työryhmän vaadittavat tunnit jaetaan työryhmän koolla. Näin tuloksina saadaan siis rakentamisen kesto tunteina. Taulukossa 2 on koottuna eri väliseinärakenteiden rakentamisen kesto esimerkkikohteessa.

Taulukko 2. *Eri väliseinärakenteiden rakentamisajat*

	tth/m2	m2	tth	Työryhmä (tt)	Kesto (h)
Levyseinä	0,43	1084	466	1	466
Harkkoseinä	0,92	1084	997	2	499
Betoniseinä	0,23	1084	249	3	83
Puuelementti	0,08	1084	87	2	43
Puumoduuli	0,04	1084	43	4	11

Taulukosta huomataan, että nopeimmat vaihtoehdot ovat puuelementit ja puuelementeistä rakennetut puumoduulit. Puuelementtiseinien rakentaminen koko esimerkkikohteeseen vaatisi 43 h. Puumoduulilla vastaava aika on 11 h. Puuelementtien jälkeen seuraavaksi nopeimpana on teräsbetonielementti. Teräsbetonielementtejä käyttäen kohderakennuksen väliseinien valmistuminen kestäisi 83 h. Kipsilevyseinä on toiseksi hitain ja kalkkikiviharkkoseinä hitain vaihtoehto. Levyseinän rakentamisen aikana yhteensä 466 h ja kalkkikiviharkkoseinillä 499 h.

4.2 Rakenteiden kustannukset

Kustannusten tarkastelussa käytetään arvioita materiaalikustannuksista ja työryhmän työntekijöiden tuntikustannuksista. Huomioon voidaan myös ottaa, tarvitaanko asentamisessa nostokalustoa vai ei. Kustannustarkastelun tarkoituksena on ottaa huomioon myös, miten rakentamisen nopeus vaikuttaa kustannuksiin, jotta työssä voidaan tarkastella rakenteita myös kustannusten kohtuullisina pysymisen kannalta. Taulukkoon 3 laskettu kaikkien rakenteiden rakentamisen kokonaiskustannukset.

Taulukko 3. *Rakenteiden kokonaiskustannukset*

Rakenne	Materiaalit €/m ²	Pinta-ala m ²	Työkustannukset €/h	Nostokustannukset €/h	Kesto h	Yhteensä €
Levyseinä	19,13	1084	28	0	466	34251
Harkkoseinä	22,07	1084	56	0	499	52367
Betoniseinä	87,06	1084	84	150	83	101578
Puuelementti	63,80	1084	56	150	43	71760
Puumuoduuli	120,00	1084	112	150	11	131473

Kustannusten laskemiseen on käytetty taulukoiden 1 ja 2 tietoja rakentamisajoista ja materiaalikustannuksista sekä työntekijä- ja nostokalustokustannuksista. Materiaalien kustannukset neliötä kohden on kerrottu koko esimerkkikohteen väliseinäpinta-alalla, josta on saatu koko rakennuksen väliseinien materiaalikustannukset. Näihin kustannuksiin on lisätty työkustannukset, eli työntekijä- ja kalustokustannukset kerrottuna rakentamiseen kestäväällä ajalla. Työkustannukset on laskettu käyttäen edellä määritettyjä työryhmiä eri rakenteiden rakentamiseen. Jokaisen työntekijän kustannuksena on ollut 28 €/h. Jos rakentamistavassa on käytetty nostokalustoa elementtien asennuksessa, on nostokoneenkuljettajan palkka 40 €/h ja nostokoneen vuokra 110 €/h lisätty laskentaan nostokustannuksina. Kustannusten vääristymistä aiheutuu siitä, että nostokoneen kuljettajan ja nostokoneen vuokra on myös laskettu jokaiselle käytettävälle tunnille, vaikka näin ei välttämättä ole. Nostinta ei välttämättä käytetä koko aikaa rakenteen rakentamisen aikana.

Halvimpina vaihtoehtoina ovat kipsilevyseinä 34 251 € kokonaiskustannuksilla ja kalkkikiviharkkoseinä 52 367 € kokonaiskustannuksilla. Puuelementeillä rakentaminen maksaa kokonaisuudessaan 71 760 €, mikä on tuloksista kolmanneksi halvin. Kalleimpina vaihtoehtoina ovat betonielementtiseinä sekä puutilamoduuli. Betonielementtiseinien

avulla rakentaminen kokonaisuudessaan maksaa 101 578 € ja puutilamoduuleilla 131 473 €.

4.3 Vertailu

Alaluvussa vertaillaan eri väliseinärakenteiden ominaisuuksia edellä määritettyjen tietojen perusteella. Vertailtavia asioita ovat tärkeimpänä rakentamisnopeus, kustannukset sekä laadulliset ominaisuudet, kuten ääneneristävyys ja palonkesto. Vertailun tarkoituksena on löytää vaihtoehtoista soveltuvin rakentamisnopeutta painottaen, mutta myös kustannukset ja ominaisuudet huomioiden.

Nopeimpana rakenteena on taulukon 1 mukaan puinen elementtilamoduuli, joka on kuitenkin kallein vaihtoehto ja hitaimpana kalkkikiviharkkoseinä. Halvimpana vaihtoehtona on kipsilevyseinä, joka on nopeudeltaan kuitenkin toiseksi hitain. Toiseksi kalleimpana vaihtoehtona betonielementtiseinä, joka on nopeuden kannalta nopein ei-puuelementteistä rakennettu vaihtoehto. Tuloksista huomataan, että nopea rakentaminen tulee kalliimmaksi kuin perinteisillä tavoilla hitaammin rakentaminen. Kuitenkin puuelementein rakentaminen on nopeaa ja myös kustannuksiltaan kohtuullista. Taulukossa 4 on vertailtu eri rakenteita ajan, kustannusten, ääneneristävyys ja palonkeston mukaan.

Taulukko 4. *Rakenteiden vertailu*

Rakenne	Aika	Kustannukset	Ääneneristävyys	Palonkesto
Levyseinä	-	+	-	-
Harkkoseinä	-	+	-	-
Betoniseinä	+	-	+	+
Puuelementti	+	+	-	-
Puumoduuli	+	-	-	-

Vertailu on tehty seuraavien kriteerien perusteella: Rakentamisajan on oltava enintään 300 h eli noin 7,5 työviikkoa, kustannusten oltava alle 90 000 €, ääneneristävyysluvun $R'w$ (dB) oltava suurempi kuin 50 dB, palonkeston oltava parempi kuin luokitus Ei 60. Näiden kriteerien perusteella sopivin rakenne olisi betonielementtiseinä. Kriteerit kuitenkin ovat varsin mielivaltaiset, eikä niiden perusteella voi kovin täsmällistä tarkastelua suorittaa.

5. YHTEENVETO

Tutkimuksen tarkoituksena oli vertailla eri väliseinärakennetyyppejä pääsääntöisesti rakentamisen nopeuden kannalta. Taulukkoon 2 on koottu työn tulokset rakentamisaajan kannalta, mutta rakenteita on vertailtu vielä lisäksi kustannusten, ääneneristävyyden ja palonkestävyyden kannalta. Vertailun lopulliset tulokset esitettynä taulukossa 4. Rakentamisaajan kannalta tarkasteltuna suotuisimmaksi rakenteeksi saatiin puuelementeistä rakennettu tilamoduuli. Kuitenkin työn kannalta soveltuvin tulos on puuelementtiväliseinä, sillä tilamoduulit ovat kalliita eivätkä sovellu joka tilanteeseen. Itse kerrostalon rungon materiaalillakin on merkitystä, minkälaisia väliseinärakenteita voidaan käyttää. Puukerrostaloon puuelementit sopivat hyvin, mutta eivät välttämättä betonirunkoiseen kerrostaloon. Kuten ennalta saattoi päätellä, elementtirakenteita käyttämällä päästään nopeimmin haluttuun lopputulokseen väliseinien kannalta. Perinteiset kipsilevyseinät ja kalkkihiekkaharkkoseinät vaativat paljon käsillä tehtävää työtä työmaalla mikä tietenkin tarkoittaa, että aikaakin kuluu enemmän. Kuitenkin näiden perinteisten työtapojen kustannukset ovat huomattavasti pienempiä kuin elementtirakentamisessa. Ero johtuu pitkälti siitä, että rakentamisessa ei tarvitse käyttää suurta nostokalustoa toisin kuin elementtirakentamisessa, jossa suuri työpanos siirtyy elementtitehtaalalle. Tästä johtuen myös rakentamisen kannalta toimitusvarmuus voi olla kyseenalaista, riippuen tehtaiden tilauskannasta ja kiireestä. Puisten tilamoduulien neliökohtaisen hinnan arviointi voi olla kovinkin epätarkka, mutta ehkä suuntaa antava. Todellisuudessa kustannuksen tulisi todennäköisesti olla paljon korkeampi, sillä tilamoduuli kuitenkin pitää sisällään jo tilan pinnoitteet ja mahdollisesti viemäröinnit ja sähköt.

Tutkimuksen lopputuloksena voidaan todeta yksinkertaisesti, että elementtien avulla voidaan rakentaa nopeammin, mutta se myös maksaa enemmän. Puuelementtiseinien ja kipsilevyseinien kustannusten välillä on suuri, melkein kaksinkertainen ero. Rakentamisajassa kuitenkin puuelementit ovat kymmenen kertaa nopeampia. Nämä rakenteet ovat kuitenkin tässä tutkimuksessa täysin samanlaiset materiaaleiltaan ja ominaisuuksiltaan. Kysymyksenä kuuluu siis, onko nopeudesta valmis maksamaan enemmän. Kuitenkin jos kipsilevyväliseinien rakentamisen kesto halutaan puolittaa kasvattamalla työryhmä kahteen henkilöön, nousevat kustannukset noin 10 000 €. Jos kipsilevyin rakentaminen haluttaisiin suorittaa yhtä nopeasti kuin puuelementein, täytyisi käyttää työryhmänä kymmentä henkilöä joka nostaisi kustannukset 150 000 €, mikä taas on jo kaksi kertaa yhtä kallista kuin puuelementtejä käyttäen. Huomataan siis, että tiettyjä menetelmiä käyttäen päästään nopeammin ja halvemmalla tiettyyn lopputulokseen. Nopeasti rakentaminen

kuitenkin helpottaa hankkeeseen sitoutuneiden varojen uudelleen käyttöön saamista ja seuraavan hankkeen aloittamista aikaisemmin. Näin ollen voi olla mahdollista toteuttaa useampia hankkeita vuoden aikana, mikä voi paikata sen, että on käytetty kalliimpia menetelmiä rakentamisessa.

Työssä tutkittiin mistä eri väliseinärakenteet koostuvat ja määritettiin minkälaisia rakennevahvuuksia ja materiaaleja niissä voidaan käyttää sekä mitä niistä laskennassa käytetään. Lisäksi käsiteltiin, miten erilaiset rakenteet ylipäätään rakennetaan ja tärkeimpänä kuinka kauan se kestää. Nopeutta tutkittiin käyttämällä rakentamisen työmenekkejä eli tarkasteltava suureena toimi tth eli tehdyt työntekijätunnit. Työntekijätuntien avulla pystyttiin laskemaan rakentamiseen kestävä aika ja saatiin rakentamisen todellinen kesto tunteina. Rakentamisen kesto saatiin jakamalla työntekijätunnit työryhmän koolla. Työryhmän koko tulee siis merkittävään osaan rakentamisen keston kannalta, sillä työryhmiä kasvattamalla myös rakentaminen nopeutuisi. Kuitenkin aina ei ole mahdollista käyttää isompia työryhmiä työmaaolosuhteista, kuten valmiista mestasta ja tilasta, johtuen. Tämän vuoksi työryhminä käytettiin suositeltuja työryhmiä. Kuitenkin esimerkiksi työssä käytetty levyseinien rakentamisessa yhden henkilön työryhmä kuulostaa melko kohtuuttomalta ajatellen, että kyseessä on kokonainen kerrostalo. Työryhmää kasvattamalla rakentaminen siis nopeutuisi, mutta kuitenkin tulosten avulla pystytään päättämään eri rakenteiden soveltuvuutta nopean rakentamisen kannalta.

Työmenekkien laskennassa on otettu huomioon ainoastaan itse työhön käytettävä aika eikä mitään muuta. Työstä rajattiin pois kosteat tilat ja määritettiin tarkasteluun tietynlainen esimerkkikohde. Kosteat tilat rajattiin pois tarkastelun helpottamiseksi sekä sen vuoksi, että tuloksista saadaan hieman paremmin keskenään vertailtavia. Esimerkkikohde oli hyvin yksinkertaistettu asuinkerrostalorakennus, jossa jokainen huoneisto oli keskenään samankaltainen.

Tutkimus tehtiin kirjallisuustutkimuksena ja pääsääntöisesti Rakennustiedon aineistoja käyttäen. Kuitenkin työssä on jouduttu tekemään yksinkertaistuksia ja rajauksia materiaaleja ja rakennepaksuuksia valittaessa. Tämä voi johtaa siihen, että tulokset eivät ole aivan tarkkoja ja rakentamisajat voivat olla erilaisia todellisuudessa. Kuitenkin tutkimuksen perusteella voidaan saada yleiskuvaa siitä, minkälaisilla tavoilla rakentamista voidaan nopeuttaa. Kustannusvertailussa käytetty kustannuslaskentaohjelmisto toimi melko tarkasti ja näin saatuihin euromääriin voidaan jonkin verran pohjustaa sitä minkälaiset rakentamiskustannukset voisivat rakenteilla olla. Vertailussa käytetyt raja-arvot ovat työntekijän likimääräisiä arvioita eivätkä välttämättä anna aivan oikeaa tulosta ra-

kenteiden laadullisista ominaisuuksista. Puuelementtien ominaisuudet ja tiedot ovat yhden valmistajan antamia tietoja ja ne voivat vaihdella valmistajien välillä, joten näiden perusteella tulokset eivät välttämättä ole riittävän tarkkoja.

Jatkotutkimuksen kannalta tutkimusta voisi alkaa syventämään tutkien kokonaisen talon rakentamisprosessin nopeuttamista rakentamisaikojen kannalta. Tutkimuksessa voitaisiin tutkia pystytäänkö esimerkiksi kokonaisen kerrostalon rakentamista nopeuttamaan käyttämällä nopeuden kannalta suotuisia rakentamismateriaaleja ja -tapoja.

LÄHTEET

- Ratu 42-0290 (2005). Harkkomuuraus. Rakennustietosäätiö. 12 s.
- Ratu 42-0291 (2005). Ohutsaumamuuraus. Rakennustietosäätiö. 10 s.
- Ratu KI-6020 (2010). Rakentamisen tuotantotekniikka. Rakennustietosäätiö. 274 s.
- Ratu 0392 (2012). Väli- ja ulkoseinäelementtityö. Rakennustietosäätiö. 19 s.
- Ratu 0424 (2014). Puuelementtirakentaminen, seinät. Rakennustietosäätiö. 23 s.
- Ratu 0425 (2014). Puuelementtirakentaminen, tilaelementit. Rakennustietosäätiö. 20 s.
- Ratu 0426 (2014). Levyrakentaminen, väliseinät. Rakennustietosäätiö. 21 s.
- RT 82-10588 (1995). Harkkorakenteiden suunnittelu. Rakennustietosäätiö. 16 s.
- RT 82-10821 (2004). Betonielementtirunkorakenteet. Rakennustietosäätiö. 20 s.
- RT 35-10841 (2005). Kalkkahiiekkaharkot. Rakennustietosäätiö. 4 s.
- RT 82-10903 (2007). Väliseinärakenteita. Rakennustietosäätiö. 38 s.
- SFS-EN 14195 (2005). Metallirangat kipsilevyjärjestelmiin. Määritelmät, vaatimukset ja testimenetelmät.
- SFS-EN 520 + A1 (2010). Kipsilevyt. Määritelmät, vaatimukset ja testimenetelmät.
- HSL Group (2019). Umpielementtiseinät. Saatavissa (viitattu 28.4.2019): <http://hslgroup.fi/tuotteet/umpielementtiseinat/>
- Lapwall LEKO (2019). Tuoteluettelo. 66 s. Saatavissa (viitattu 25.5.2019): https://issuu.com/lapwall2016/docs/lapwall_20leko_20tuoteluettelo_11.2/1?ff=true
- Lapwall LEKO hinnasto (2018). Puuelementtihinnasto. 52 s. Saatavissa (viitattu 25.5.2019): https://issuu.com/lapwall2016/docs/hinnasto2018_lapwall
- Toimitalo (2018). Järjestelmäväliseinä ratkaisut. 16 s. Saatavissa (viitattu 25.3.2019): http://www.toimitalo.fi/kuvat/TT_seinat.pdf
- RT-kustannuslaskenta (2019). Rakennustieto. Saatavissa (viitattu 25.5.2019): https://www.rakennustieto.fi/index/tuotteet/rt_kustannuslaskenta.html