
**Betonivälipohjan tuotanto- ja taloudellisuusvertailu:
Ontelolaatta vs. paikallavaluholvi**



Hämeen ammattikorkeakoulun opinnäytetyö

Rakennustekniikka

Visamäki, kevät 2015

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Toni Aalto'. The signature is fluid and cursive, with a long horizontal stroke at the end.

Toni Aalto



VISAMÄKI
Rakennustekniikka
Rakennustuotanto

Tekijä	Toni Aalto	Vuosi 2015
Työn nimi	Betonivälipohjan tuotanto- ja taloudellisuusvertailu: Ontelolaatta vs. paikallavaluholvi	

TIIVISTELMÄ

Välipohjarakenteen tuotanto muodostaa merkittävän osan betonirunkoisen asuinkerrostalon tuotantokustannuksista ja työmaan runkovaiheen työtehtävistä. Oikealla rakennevalinnalla voidaan vaikuttaa kohteen valmistumisajakatauluun ja myyntituottoon. Tässä tutkimuksessa vertailuun on valittu kaksi yleisimmin käytettyä välipohjarakennetta: elementeistä koostuva ontelolaattavälipohja ja paikallavalettu välipohja.

Tämä työ on tehty Jatke Uusimaa Oy:n tilauksesta ja sen tavoitteena on selvittää tämän päivän asuinkerrostaloon kannattavampi välipohjarakenne. Ensisijaisena tarkoituksena on ollut selvittää välipohjarakenteiden tuotantomenetelmät ja -kustannukset sekä runkovaiheen aikataulu rakennettaessa tyypillistä pistekerrostaloa. Työhön valittiin todellinen asuinkerrostalokohde edustamaan tyypillistä pistekerrostalorakentamista. Kohde rakennettiin ontelolaattavälipohjilla ja tutkimuksessa selvitettiin, miten tuotantomenetelmät, -kustannukset ja aikataulu olisivat muuttuneet, jos kohteen välipohja olisi vaihdettu paikallavalettuihin rakenteisiin.

Välipohjarakenteesta aiheutuneet kokonaiskustannukset on laskettu excel-pohjaisella laskentaohjelmalla. Laskelmissa käytettiin Jatke Uusimaa Oy:n tavallisesti tarjouslaskelmissa käyttämiä menetelmiä ja jälkilaskentatietoja. Apunani toimi Jatke Uusimaa Oy:n henkilökunta. Tuotantomenetelmät ja aikataulutustiedot työhön hankittiin esimerkkikohteen avulla, haastattelulla sekä kirjallisuus- ja sähköisiin lähteisiin tutustumalla.

Työn tuloksien perusteella pääteltiin ontelolaattavälipojan soveltuvan paremmin tällä hetkellä asuinkerrostalotuotantoon esimerkkikohteen kaltaisissa hankkeissa. Ontelolaattavälipohja tulisi tutkimustulosten perusteella vähintään 9 €/m² halvemmaksi, ja runkovaiheen rakennusaika olisi viikon lyhyempi kuin paikallavaletulla välipohjalla.

Avainsanat Ontelolaatta, paikallavalettu, välipohja, tuotanto, kustannukset

Sivut 56 s. + liitteet 7 s.

VISAMÄKI

Degree Programme in construction Engineering

Author

Toni Aalto

Year 2015

Subject of Bachelor's thesis

Production and cost comparison of a concrete floor: a hollow-core or cast-in-situ slab

ABSTRACT

The production of a concrete floor constitutes a remarkable share of the production costs of a concrete-framed apartment building and tasks in the frame construction stage. The right choice of the structure affects the project's completion schedule and sales revenue. The purpose of this thesis was to examine and compare two most common used concrete floor structures i.e.a hollow-core slab floor and cast-in-situ floor. The thesis was commissioned by Jatke Uusimaa Oy.

The aim was to find a more profitable floor structure for modern apartment buildings. The primary purpose was to discuss the production methods and costs of the floor structures and the schedule of the frame phase when building a typical one-staircase-apartment building. An actual apartment building site was chosen for this study to represent a typical one-staircase-apartment building in construction. The example building was built of a hollow-core slab floor. It was examined how the production methods, costs and schedule would have changed if the building's floor structures had been built as a cast-in-situ floor.

The costs caused by the floor structure were calculated with an Excel-based program. In the calculations were used the tender calculation and post calculation information commonly used by Jatke Uusimaa Oy. Assistance was also received from the staff of Jatke Uusimaa Oy. Information on production methods and schedule was acquired from the example building, by interviews and from written and electronic sources.

As a result of the thesis, hollow core slabs were concluded to be a better choice for a floor structure in one-staircase-apartment building projects. Based on the results hollow-core slabs would be at least 9 €/m² cheaper and the frame phase schedule would be one week briefer.

Keywords hollow-core slab, cast-in-situ, floor, production, costs

Pages 56 p. + appendices 7 p.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	BETONIRAKENTAMINEN	2
2.1	Historia.....	2
2.1.1	BES-järjestelmä.....	2
2.1.2	Ontelolaatan kehitys	3
2.1.3	Paikallavalurakentamisen uusi esiintulo.....	3
2.2	Paikallavalurakentaminen	4
2.2.1	Muottityöt	4
2.2.2	Raudoitustyöt.....	6
2.2.3	Betonivalu.....	6
2.2.4	Betonin jälkihoito	7
2.3	Betonielementtirakentaminen.....	7
2.3.1	Tehdastyö	8
2.3.2	Kuljetus ja varastointi	8
2.3.3	Pystytys ja asennus	8
2.4	Lähtökohdat betonirakentamiselle	8
2.4.1	Suunnittelu.....	9
2.4.2	Betonityönjohto	10
2.4.3	Tuotannon valmistelu	11
2.5	As Oy Espoon Magneettikatu – Case-esittely.....	14
3	BETONIVÄLIPOHJAN SUUNNITTELU	15
3.1	Rakennus- ja rakennesuunnittelu	16
3.2	LVIA- ja sähkösuunnittelu	20
3.3	Ajallinen suunnittelu	22
3.3.1	Runkoaikataulu.....	22
3.3.2	Viikkoaikataulu	22
4	BETONIVÄLIPOHJIEN TUOTANTOTEKNIikka.....	24
4.1	Ontelolaattaväli­pohjan tuotantotekniikka	25
4.1.1	Tehdastuotanto	25
4.1.2	Logistiikka.....	25
4.1.3	Asennus	25
4.1.4	Tuketyöt.....	26
4.1.5	Raudoitus	27
4.1.6	Talotekniikka.....	27
4.1.7	Juotosvalu	28
4.1.8	Liittyvät työt ja jälkityöt.....	29
4.1.9	Lattiapinnan tasoitus.....	30
4.2	Paikallavaletun väli­pohjan tuotantotekniikka	30
4.2.1	Muottityö	30
4.2.2	Raudoitus	31
4.2.3	Talotekniikka.....	33
4.2.4	Betonointi	34
4.2.5	Jälkihoito	35
4.2.6	Muotin purkutyöt.....	35
4.2.7	Lattiapinnan tasoitus.....	36

4.3	Kuivumisajat ja päällystettävyys.....	36
4.3.1	Ontelolaattavälipohjan kuivuminen.....	36
4.3.2	Paikallavaluvälipohjan kuivuminen	37
4.4	Talvirakentaminen.....	40
4.4.1	Hankesuunnittelu	40
4.4.2	Talvibetonointi	41
4.4.3	Talvikustannusten määrittäminen.....	42
4.4.4	Vaikutukset aikatauluun	46
5	KUSTANNUSLASKENTA	47
5.1	Kustannuslaskennan vaiheet	47
5.2	Työn kustannukset.....	47
5.3	Materiaalin kustannukset.....	48
5.4	Kalustokustannukset.....	48
5.6	Kustannukset rakennettaessa talviaikana	50
6	YHTEENVETO	51
6.1	Tuotannonvertailu	51
6.2	Aikatauluvertailu.....	51
6.3	Kustannusvertailu.....	52
6.4	Pohdinta.....	52
	LÄHTEET	53

- Liite 1 Työmenekkilaskelmat (2 sivua)
Liite 2 Kustannuslaskelmat (5 sivua, vain tilaajan käyttöön)

1 JOHDANTO

Tuotantotekninen kilpailu elementti- ja paikallarakentamisen välillä on pitkään kuulunut suomalaiseen rakennusteollisuuteen. Rakennusyrietykset pyrkivät kustannus- ja tuotantovertailujen laatimisilla löytämään parasta tuotantoratkaisua, jotta pystytään parantamaan kilpailukykyä. Vaihtoehtoinen rakennusmenetelmä voi olla kustannustehokkaampi ja se voi parantaa lopputuotteen laatua tai lyhentää hankkeen kestoa.

Betonirakennusten tuotannossa tämä kilpailu on näkynyt selvimmin välipohjarakenteissa. Välipohjarakenteiden kilpailussa vahvimmin esille nousivat ontelolaatoista tehtävät elementtivälipohjat ja paikallavaletut välipohjat. Ontelolaatan kehitys 1970-luvulta lähtien alkoi syrjäyttää paikallavaluvälipohjia rakentamisessa sillä saavutettavan pitkän jännevälän ja tuotantonopeuden ansiosta. Paikallavalurakentaminen nosti päätään uudelleen 1990-luvulla, kun betonirakentamisen kehitystä suunnattiin monimuotoisempaan arkkitehtuuriin. Tänä päivänä kerrostalojen välipohjia rakennetaan niin ontelolaatoista kuin paikallavalettunakin. Tämä antaa aihetta selvittää, ollaanko välipohjarakenteen valinnassa ajan tasalla.

Opinnäytetyössä vertaillaan elementti- ja paikallavalurakentamista ja tarkemmin näillä kahdella rakennusmenetelmällä tehtävää betonivälipohjaa. Tavoitteena on selvittää Jatke Uusimaa Oy:lle, kumpi välipohjarakenne on kannattavampi valinta pistekerrostaloa rakennettaessa. Eroavaisuuksia etsitään todellisen kerrostalotyömaan avulla. Todellisen kohteen välipohjat on tehty ontelolaatoista, ja tutkimuksen tarkoituksena on selvittää vaikutukset aikatauluun, kustannuksiin ja työmaatuotantoon, jos kohde olisi suunniteltu ja toteutettu paikallavaluvälipohjilla. Havaintojen ja tulosten on tarkoitus auttaa yritystä valitsemaan tulevien kerrostalohankkeiden välipohjien rakennusmenetelmä.

Tietolähteinä työssä on käytetty painettuja kirjallisuuslähteitä, sähköisiä lähteitä, Jatke Uusimaa Oy:n todellisen kerrostalotyömaan piirustuksia, laskelmia, suunnitelmia, aikatauluja ja työmaalta otettuja kuvia. Vertailulaskelmien kustannukset on laskettu todellisilla tavarantoimittajien laskuttamalla yksikköhinnoilla ja Jatke Uusimaa Oy:n kustannuslaskentamenetelmällä. Työhön haastateltiin rakennusalan ammattilaisia, jotka olivat olleet vertailtavien rakennusmenetelmien rakennustuotannossa mukana.

Tutkimus on rajattu koskemaan pelkästään betonivälipohjia. Tutkimukseen valittiin tarkasteltavaksi 370 mm paksu ontelolaatta- ja 240 mm paksu paikallavalettu välipohjarakenne. Ala- ja yläpohjissa rakenteet usein eroavat välipohjarakenteesta riippumatta rakennusmenetelmästä, joten ne rajattiin tutkimuksesta pois. Suunnitteluosuuteen keskitytään vain niiltä osin, joista muodostuu kustannuseroja tai tuotannon pakottavia suunnittelumuutoksia menetelmien välillä.

2 BETONIRAKENTAMINEN

Tässä luvussa käsitellään betonirakentamista yleisesti. Luku kertoo betonirakentamisen historiasta, betonielementti- ja paikallavalurakentamisesta sekä niiden keskeisistä eroavaisuuksista. Lisäksi käydään läpi betonirakentamisen yleiset edellytykset. Luku on alustusta tarkempaan välipohjan rakennusmenetelmävertailuun.

2.1 Historia

Betonia on käytetty rakentamisessa vuosituhansien ajan. Suomessa betonia käytettiin tiittävästi ensimmäistä kertaa 1800-luvun puolivälissä. Betonirakentamisen yleistyessä alettiin kotimaisen sementin valmistus ja ensimmäinen sementtitehdas käynnistyä vuonna 1869 Keravan Saviolla. Aluksi betonia käytettiin lähinnä rakennusten perustuksiin, vesirakenteisiin, kattotiiliin, viemäriputkiin ja kaivonrenkaisiin. Betoniset välipohjarakenteet yleistyivät 1890-luvulla. (Hytönen & Seppänen 2009, 14–15.)

1920-luvulla asuinkerrostalojen puuvälipohjat alkoivat korvautua teräsbetonisilla rakenteilla. 1930-luvulla betonin varaan suunniteltiin entistä useammin kerrostalojen pystyrakenteita, jolloin kokeiltiin myös ensimmäistä kertaa massiivisen teräsbetonilaatan käyttöä välipohjien kantavana rakenteena. Betonista tuli maassamme yleisin rakennusaine 1930-luvulla, vaikka vuosikymmenen alussa tiili oli vielä asuinrakentamisen pääasiallinen rakennusmateriaali. (Hytönen & Seppänen 2009, 16–17.)

Toisen maailmansodan jälkeen tuhojen korjaaminen lisäsi kysyntää ja talouden ollessa yleisesti huonossa kunnossa etsittiin mahdollisimman tehokasta ja taloudellista rakennustapaa. Ongelman ratkaisuksi löytyi elementtirakentaminen. Betoniteollisuutta alettiin kehittää Suomessa elementtitekniologian avulla 1940- ja 1950-lukujen vaihteessa. (Elementtirakentamisen historia 2009.)

2.1.1 BES-järjestelmä

Suomessa kehitettiin vuosina 1968–1970 asuinrakentamista varten avoin BES-järjestelmä. Järjestelmässä standardisoitiin betonielementit ja niiden liitosdetaljit siten, että urakoitsijat voivat hankkia valmisosia samaan rakennukseen useilta toimittajilta. BES perustui kantaviin pääty- ja väliseiniin, ei kantaviin sandwich-ulkoseiniin sekä välipohjina käytettäviin pitkälaattoihin. Laattaelementteinä alettiin käyttää esijännitettyjä ontelo- ja kotelolaattoja. BES-runkojärjestelmä antoi asuntojen pohjaratkaisujen suunnittelulle lähes vapaat vaihtelumahdollisuudet. (Elementtirakentamisen historia 2009.)

BES-järjestelmä mahdollisti 1970-luvun alkupuolella ennätysmäisen asuntotuotannon. Kiire rakentaa nopeasti ja tiukka kustannuspolitiikka vaikuttivat siihen, että rakennusten visuaalinen puoli jäi huomiotta ja talot jäivät

laatikkomaisiksi (Kuva 1). Tiedot betonin kestävyysvaikuttavista tekijöistä perustuivat aikanaan lyhytaikaiseen kokemukseen. (Elementtirakentamisen historia 2009.)



Kuva 1. 1970-luvulla betonielementeistä rakennettu kerrostalolähiö Riihimäellä (Kuva: Toni Aalto).

2.1.2 Ontelolaatan kehitys

BES-rakentamisen myötä myös ontelolaatan kehitys vilkastui 70-luvun alussa. Ennen ontelolaattoja välipohjaelementin jänneväli oli korkeintaan neljä metriä, mistä syystä kantavia väliseiniä oli tiheässä. BES-järjestelmässä käyttöön otettu ontelolaatta mahdollisti yli kymmenen metrin jännevälit. (Ilonen 2010.)

Aluksi ontelolaattoja valmistettiin vain 265 mm:n paksuisena, mutta kehitys vei yhä paksumpiin profiileihin ja aina 500 mm:n laattoihin asti. Vuosien varrella on kehitetty useita erilaisia laattoja moniin eri käyttötarkoituksiin. (Elementtirakentamisen historia 2009.)

2.1.3 Paikallavalurakentamisen uusi esiintulo

1980-luvulla elementtirakennusten laatikkomaisuus ja arkkitehtuurin yksitoikkoisuus aiheuttivat huolestuneisuutta ympäristön visuaalisuudesta. Pitkäjännitteinen betonin kehitystyö näkyy 1990-luvun betonirakenteissa monimuotoistumisena. Arkkitehtuuri, rakennusten ominaisuudet, elinkaarikustannukset ja ympäristövaikutukset suuntasivat rakentamisen kehitystä 1990-luvulla. (Valmisbetoni n.d.). Paikallavalurakentamisen kilpailukyky parantui, ja rakennusmenetelmänä paikallavalaminen yleistyi jälleen.

2.2 Paikallavalurakentaminen

Perinteinen paikallavalurakentaminen tarkoittaa nimensä mukaisesti suoraan rakennuspaikalle betonin valamista. Paikallavalaminen mahdollistaa monimuotoisten betonirakenteiden rakentamisen, mikä onkin sen suurin etu elementtirakentamiseen nähden. Paikallavalurakentaminen ei aseta rajoituksia rakennusjärjestelmien tai suositusmittojen käytössä, sillä mitoitus on vapaa.

Betonin paikallavalurakentamiseen kuuluu 4 päätyövaihetta: muottityöt, raudoitustyöt, betonivalu ja betonin jälkihoito. Ennen betonivalua tehdään rakenteeseen mahdollisesti liitettävät LVIS-työt, jotka on rytmittävä aikatauluun.

2.2.1 Muottityöt

Muottityöt ovat usein paikallarakentamisen pitkäkestoisin tehtävävaihe, mikä lisää tehtäväkokonaisuuden kestoa ja suunnittelun tarvetta työmaalla verrattuna elementtirakentamiseen.

Muottikaluston valinta

Rakenteeseen soveltuvan muottijärjestelmän valinta on hyvin tärkeä osa muottitöitä. Soveltumaton muottimateriaali tai muottijärjestelmä voi hidastaa työnkulkua, lisätä työmaan kustannuksia tai vaarantaa työturvallisuutta. Muottityöt on syytä tehdä huolellisesti, sillä virheet muottityössä voivat kostautua muottien purkamisen jälkeen hankalina jälkitöinä, kuten betonin piikkaus-, jyrä- ja oikaisutöinä. (Sippola 2013, 22.)

Muottimateriaali vaikuttaa oleellisesti rakennuspaikalla valettavaan betonipinnan ulkonäköön ja laatuun. Muottirakenteen tulee olla tarpeeksi luja ja hyvin tuettu, ettei tuoreen betonimassan aiheuttama valupaine aiheuta muottiin muodonmuutoksia. Betonimassan vaatima tiivistys vain lisää muottiin kohdistuvaa painetta. Lisäksi muotin on oltava tiivis, jottei betonin sementtiliima puserru muotin saumoista ulos, jolloin valmiin rakenteen lujuus ja ulkonäkö kärsisi.

Käytettäviä muottimateriaaleja on useita erilaisia. Muottimateriaalia valittaessa on huomioitava betonipinnalle asetetut laatuvaatimukset, kustannuksiin vaikuttavat muottien käyttökertamäärät ja betonivalun laajuus. Muottikaluston valinnan tyyppilliset vaiheet on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1. Muottikalustovalinnan vaiheet (Syrjynen, Pahkala & Vuorinen n.d., 2).

Yleisimmin käytettyjä muottimateriaaleja ovat:

- puulevyt, vanerit
- sahatavara
- lasikuitu ja muovi
- teräs
- muottikankaat.

(Kivitalo 2013.)

Muottisuunnitelma

Muottikaluston valinnan jälkeen on tehtävä muottisuunnitelma. Siinä laaditaan yksityiskohtainen suunnitelma muottien käytöstä ja optimoidaan muottikaluston määrät. Muottisuunnitelmaan kuuluu muottien mitoitus, laskelmat ja ohjeet valunopeudesta. Suunnitelmaan lisätään asennusohjeet ja muottipiirustukset joissa esitetään muottien sidonta ja jäykistäminen. Lisäksi laaditaan luettelot muottikalustoista ja tarvikkeista. Muottien käytön suunnittelussa on otettava huomioon:

- työryhmät ja niiden määrät
- muottien varastointi työmaalla sekä tilantarve
- nostot ja siirrot
- asennusjärjestys
- lämmitys- ja suojausmenetelmät
- jälkituentakalustojen tarve.

Hyvä muottisuunnitelma mahdollistaa nykyaikaisten muottien tehokkaan käytön. Asiantuntevalla suunnittelulla saadaan korkeatasoisia muottien käyttö- ja asennusohjeita rakentajien käyttöön. (Syrjynen, Pahkala & Vuorinen n.d.). Muottisuunnitelman työmaille tekee yleensä muottitoimittaja, joka käyttää apunaan suunnitteluun valmistettuja tietokoneohjelmia.

Muottityö

Muottien pystytykseen, kiinnitykseen ja tuentaan on olemassa erilaisia tapoja ja työkaluja, jotka riippuvat valettavasta rakenteesta sekä käytetystä muottimateriaalista ja -kalustosta. Esimerkiksi Suomen suurin muottikaluston vuokraaja Ramirent vuokraa paikallavaluholvin muottimateriaalina puusta tehtyjä muottilevyjä. (Ramirent n.d. a). Kappaleessa 4.2.1 on käsitelty tarkemmin paikallavaluvälipohjan muottityöt.

2.2.2 Raudoitustyöt

Betonin vetomurtolujuus on hyvin pieni verrattuna sen puristuslujuuteen. Tämän vuoksi vaakasuorat kantavat rakenteet kuten palkit ja holvit vaativat terästä, jonka vetomurtolujuus on huomattavasti betonia suurempi. Betonia ja terästä yhdistämällä on mahdollista saavuttaa riittävä rakenteellinen lujuus.

Raudoitustöitä edeltävät tarkat rakennesuunnitelmat ja lujuuslaskelmat. Työmaalla raudoitustöihin sisältyvät raudoitusmateriaalin, usein teräksen, hankkiminen, raudoituksen kokoaminen suunnitelmien mukaan ja asettaminen muottiin.

Paikalla valettaessa rakennuksen talotekniikka asennetaan työmaalla raudoitustöiden yhteydessä toisin kuin elementtirakentamisessa, jossa suuri osa rakenteen läpivienneistä asennetaan elementtiin tehtaalla. Paikalla valettaessa talotekniikan vaatiman työmaalla varastoitavan materiaalin määrä on suurempi kuin elementtirakentamisessa. Tällöin työmaalla tehtävän suunnittelun ja työn määrä kasvaa verrattaessa elementtirakentamiseen.

2.2.3 Betonivalu

Betonivaluun on hyvin tärkeää valita käyttötarkoitukseen soveltuva betoni. Rakennesuunnittelija valitsee käytettävän betonin, ja sen tulee täyttää kaikki sille asetetut ominaisuudet rakenteen lujuudesta, rasituksen kestävydestä, suunnittelusta käyttöiästä, pinnan laadusta ja muista mahdollisista erityisvaatimuksista. Määrävin tekijä betonin valinnassa on rasitusluokkavaatimus. Käyttökohteeseen huonosti soveltuvan betonilaadun käyttäminen voi johtaa laadultaan huonoon lopputulokseen. (Rudus n.d.)

Työmaalla betonointiin kuuluvat tehtävät ovat betonin tilaus paikan päälle tai paikan päällä valmistus, kaluston hankkiminen betonimassan levittämiseen, betonimassan levittäminen muottiin, massan tiivistäminen sauvatärytimellä sekä betonipinnan oikaisu ja hierto.

2.2.4 Betonin jälkihoito

Valettu betoni on jälkihoidettava. Jälkihoitoon kuuluu betonin kosteuden ylläpitäminen, suojaaminen ja sitoutumislämpötilojen hallinta. Betoni on pidettävä kovettumisen ajan riittävän kosteana. Liian nopea kuivuminen kasvattaa betonin halkeamisriskiä, mutta kuivumiskutistuminen on vastoin yleistä luuloa lähes riippumaton jälkihoitoajan pituudesta. Kosteutta voi ylläpitää rakenteen pintaa kastelemalla tai peittämällä huolellisesti muovilla, jolloin betonista haihtuva kosteus jää muovipinnan sisäpuolelle. Peittäminen on tapahduttava mahdollisimman nopeasti valamisen jälkeen, jolloin betoni sisältää vielä paljon kosteutta. (Lujabetoni n.d., 2.) Betonia voidaan myös jälkihoitaa ruiskuttamalla jälkihoitoainetta betonipinnan päälle. Jälkihoitoaineesta ja sen käytöstä on kerrottu tarkemmin kappaleessa 3.4.5.

Tuore betonimassa on myös suojattava ulkopuolisilta haitoilta kuten vesisateelta tai kovan tuulen aiheuttamilta vaurioilta. Mikäli valettu rakenne on ulkotilassa, muovikalvolla peittäminen on hyvä jälkihoitomenetelmä. (Lujabetoni n.d., 3–4.)

Yleinen lämpötilasuositus lattian pinnassa jälkihoidon aikana on + 15 °C, mutta sen on oltava aina vähintään +5 °C. Ympäristön optimaalinen lämpötila kuivumisen kannalta on +20 °C. Jälkihoidon aikana betonin tulee olla lähes 100-prosenttisessä suhteellisessa kosteudessa. Optimaalinen ilman suhteellinen kosteus on alle 50 %. (Lujabetoni n.d., 3–4.)

Jälkihoitotoimenpiteet sekä niiden aloitusajankohta ja kesto ovat riippuvaisia rakenteen koosta, muodosta, käytetystä betonilaadusta ja ympäröivistä olosuhteista. Jälkihoitoajan tulee olla kaikilla betonirakenteilla vähintään kolme vuorokautta, mutta pakkas-, kulutus- tai kemiallisen rasituksen alaiseksi joutuvilla rakenteilla sen tulee olla vähintään seitsemän vuorokautta. Esimerkiksi valettu laattarakenne kestää kutistuman aiheuttamat jännitykset sitä paremmin, mitä pidempään rakennetta jälkihoidetaan. Etenkin betonin vetolujuuden kehittyminen on riippuvainen jälkihoidosta. Betoninormit BY 50 -ohjeessa määritellään jälkihoidon vähimmäiskesto aika rasi- tusluokkien mukaan. (Jälkihoito n.d.; Lujabetoni n.d., 2).

2.3 Betonielementtirakentaminen

Elementtirakentamisessa rakennettava rakennus tai sen osa koostuu tehdasolosuhteissa valmistetuista valmisosista, jotka pystytetään työmaalla ja kytketään toisiinsa. Betonielementtirakentamisen suuri hyöty, paikalla rakentamiseen nähden ovat juuri optimaaliset sekä muuttumattomat valmistusolosuhteet.

Käytännössä elementtirakentaminen sisältää kaikki samat betonirakentamisen työvaiheet kuin paikallarakentaminenkin, mutta valmiiksi tehdyt elementit on siirrettävä tehtaalta työmaalle ja vielä työmaalla erikseen kytkettävä valmiiksi kokonaisuudeksi. Työmaalla tehtävien työvaiheiden lukumäärä on kuitenkin pienempi paikallarakentamiseen nähden.

2.3.1 Tehdastyö

Betonielementtitehtaissa betonirakenteiden muottityöt, raudoitukset ja mahdolliset LVIS-työt tehdään elementtisuunnitelmien mukaisesti eri valmistusmenetelmillä ja tehdaskalustolla elementin mukaan. Optimaalisissa olosuhteissa rakentaminen ei sisällä paikallavalamisen olosuhderiskejä, kuten sateen, pakkasen tai liian nopean kuivumisen riskejä.

2.3.2 Kuljetus ja varastointi

Elementtien koon rajoittavia tekijöitä ovat työmaalle kuljetus, nostot ja paikalleenasennus. Elementti voi olla vain niin suuri kuin sitä kuljettavan ajoneuvon ja sitä nostavan kaluston kapasiteetit ovat. Elementit voidaan joko varastoida työmaalle elementtifakkeihin tai nostaa suoraan lopulliselle paikalleen kuljetusajoneuvon kyydistä. Ontelolaattojen osalta on yleisesti käytetty jälkimmäistä menetelmää.

Mikäli elementtien valmistus ja kuljetus on yhteen sovitettu täsmällisesti aikaisempiin työvaiheisiin eikä minkään tasoista tuotantokatkoa tai aikataulusta myöhästymistä ole tapahtunut elementtitehtaalla, mahdollistetaan työmaalla tuotannon nopea eteneminen.

2.3.3 Pystytys ja asennus

Betonielementtien pystytys- ja asennusvaihe on suunniteltava huolella jo pelkästään siihen liittyvien työturvallisuusriskien vuoksi. Suurimpia vaaratekijöitä elementtiasennuksessa aiheuttavat korkealla työskentely, elementtien nostot ja elementtien asennuksessa hormeille ja läpivienneille jätettävät aukot.

Betonielementtien nostojen onnistumisen edellytyksiä ovat nostojen hyvä ennakkosuunnittelu, elementtien asennussuunnittelu, oikea nostokalusto sekä apuvälineet ja niiden suunnitelmien mukainen käyttö, hyvä kommunikatio nosturikuljettajan ja muiden asentajien välillä sekä henkilöstön riittävä kokemus ja koulutus betonielementtien asennuksesta. (Palolahti, Lahinen & Mäki 2010.)

Betonielementit kytketään toisiinsa raudoituksella ja saumavalulla tai hitsiliitoksilla. Raudoitus, LVIS-työt ja betonivalu päästään suorittamaan pienimuotoisemmin kuin paikallavalurakentamisessa.

2.4 Lähtökohdat betonirakentamiselle

Jotta betonirakentamisella saavutetaan rakennuttajan toivoma ja rakennusmääräysvaatimusten mukainen lopputuote, on huolehdittava, että lähtökohdat ovat rakentamiseen osallistuvien tahojen tiedossa ja asianmukaisesti hoidettu. Lähtökohtia betonirakentamiselle ovat rakennusmääräyskokoelman ja eurokoodien mukainen suunnittelu sekä tuotannon huolellinen valmistelu, jotta suunnittelutavoitteet täyttyvät.

2.4.1 Suunnittelu

Kantavien betonirakenteiden suunnittelussa, mitoituksessa ja rakentamisessa noudatetaan Suomen eurokoodin kansallista liitettä, joka on otettu käyttöön rakennusmääräyskokoelman B-osan tilalla (Mustonen 2015). ”Eurokoodit ovat kantavien rakenteiden suunnittelua koskevia eurooppalaisia standardeja, joiden soveltaminen eri maissa vaatii kansallisten liitteiden laatimista. Suomessa liitteiden laatimisesta vastaa ympäristöministeriö lukuun ottamatta muille hallinnonaloille kuuluvia osia, kuten siltarakenteita.” (Ympäristöministeriö 2014.) Käytännössä Suomessa suunnittelijat noudattavat elementtituoteteollisuuden ohjeita kuten esimerkiksi elementtisuunnittelu.fi- sekä betoni.com-sivustoja. (Mustonen 2015.)

Betonirakenteille on määritelty 3 luokkaa, joihin rakenne voi kuulua: 1-, 2- ja 3-luokka. Luokille on määritelty suunnittelu- ja työnsuoritusohjeet, joita tulee noudattaa.

Rakenteet ja rakenneosat, joiden suunnittelun katsotaan vaativan erityistä pätevyyttä tai joiden valmistaminen niiden rakenteellisen toiminnan varmistamiseksi edellyttää erityistä huolellisuutta, toteutetaan 1-rakenneluokassa. Vaativiksi katsotaan jännitetyt rakenteet ja esimerkiksi tavanomaisesta poikkeavat suuret tai monikerroksiset elementtirakenteet. 2-luokan betonirakenteen kantavuus saadaan mitoittaa korkeintaan betonin lujuudelle K40. 3-luokan rakenteen kantavuus saadaan mitoittaa korkeintaan betonin lujuudelle K20. (FISE 2015a.)

Tutkimuksessa tutkittava ontelolaatta on jännitetty rakenne, joten sen ponnosuunnittelun tekee aina erikoissuunnittelija (Paavonen 2013, 30).

Eurokoodien lisäksi suunnittelussa noudatetaan rakennusmääräyskokoelman muita osia, joista välipohjan suunnittelussa oleellisimpia ovat osat C1; Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa sekä E1; Rakennusten paloturvallisuus.

Ääneneristys

Asuntojen välinen ilmanääneneristysluku ($R'w$) kuvaa rakenteen kykyä eristää ääntä, ja sen tulee olla asuntojen välillä vähintään 55 desibeliä. Asunnosta toiseen kulkeutuvan askeläänän voimakkuutta kuvaa askeläänitasoluku ($L'n,w$), joka taas ei saa ylittää 53 desibeliä. Askeläänitasoluvun vaatimus ei kuitenkaan koske asuntojen pieniä wc-, kylpyhuone- tai saunatiloja, vaan niiden suunnittelussa ja rakentamisessa meluhäiriö on otettava muuten huomioon, jotta saavutetaan hyvät ääniolosuhteet. (RakMK C1 1998, 5.)

Holvia suunniteltaessa on asuntojen välisessä ääneneristyksessä kiinnitettävä erityistä huomiota äänen sivutiesiirtymään. Seinän ja lattian saumakohdat ovat yksi äänen sivutiesiirtymäreitti, johon suunnittelijoiden on suunniteltava RakMk C1:n vaatimusten täyttävä detalji. (Mustonen 2015.)

Palomääräykset

Rakennusten palo-osastot ryhmitellään niiden pääkäyttötavan perusteella, ja asuinkerrostalossa asuinhuoneistot ryhmitellään omiksi palo-osastoiksi. Rakennukset luokitellaan paloluokkiin rakennuksen koon ja henkilömäärien mukaan. Paloluokka määrittelee rakennuksen rakenteiden, kuten esim. välipohjarakenteen, palonkestovaatimukset. (RakMK E1 2011, 7,10.)

Rakennuksessa luokitellaan myös käytettävät rakennusosat. Rakennusosat luokitellaan palokuormien mukaan ja niiden palonkestolle annetaan ajallinen vaatimus. Esimerkiksi 3–8-kerroksisen asuinrakennuksen kantavat rakenteet, joiden palokuorma on yli 1200 MJ/m², luokitellaan luokkaan R180, jossa R tarkoittaa rakennusosan kantavuutta ja 180 palonkestävyyss aikaa minuutteina, jonka ajan rakennusosan on kestävä kantavana palotilanteessa. (RakMK E1 2011, 9-10,16.)

Palo-osastojen ja rakennusosien lisäksi rakennusmateriaaleille on omat luokituksensa, jotka jaetaan niiden palon syttymisen ja leviämisen vaikuttamiseen, savun tuottoon ja palavaan pisarointiin.

2.4.2 Betonityönjohto

Betonityönjohtaja johtaa rakenteiden valmistusta ja hänellä tulee olla tehtävän vaatimuksen mukainen pätevyys. Hänellä tulee olla riittävät tiedot betonin ominaisuuksista ja valinnasta sekä riittävä käytännön kokemus rakenteiden valmistuksesta. (RakMK B4 2005, 5.)

Betonityönjohtajan on oltava paikalla oleellisten työvaiheiden, etenkin betonoinnin, aikana. Jos 1- tai 2-luokan betonityönjohtaja hetkellisesti joutuu poistumaan paikalta, tulee hänen tilallaan olla vähintään 2-luokan betonityönjohtaja.

Vertailtavan tuotantomenetelmän, paikallavalurakentamisen, betonityönjohdon pätevyys riippuu suunnitellun rakenteen lujuudesta. Tutkimusvertailuun otettu rakennetyyppi on lujuudeltaan C25/30 eli K30, jolloin työnjohtajalla tulee olla vähintään 2-luokan betonityönjohtajan pätevyys.

2-luokan betonirakenteiden työnjohtajan pätevyysvaatimukset ovat:

2-luokan työssä betonityönjohtajan tulee olla suorittanut vähintään ammattikorkeakoulun tai teknillisen oppilaitoksen rakennustekniikan tai -tuotannon insinööritutkinnon tai rakennusmestari AMK vastaavan aiemman tutkinnon (teknillisen oppilaitoksen rakennusosaston teknikkotutkinto), johon sisältyvät betonirakentamista ja -teknologiaa 10,5 op (7 ov), rakenteiden mekaniikkaa 7,5 op (5 ov) ja rakenteiden fysiikkaa 3 op (2 ov) käsittelevät kurssit.

Harkinnan mukaan voidaan muiden mekaniikkaa ja betonirakentamista sisältävien kurssien opintoviikkoja ottaa huomioon soveltuvin osin.

Hakijalta edellytetään kokemusta betonirakenteiden työnjohdotehtävistä vähintään kahden vuoden ajalta. Valmisbetonilaitoksessa saavutetusta työnjohtokokemuksesta otetaan huomioon puolet, kuitenkin enintään vuosi. Työkokemus luetaan hyväksi vasta pätevyyteen vaadittavan tutkinnon suorittamisen jälkeen. (FISE 2015a.)

Betonielementtien asennustyönjohtajille on kuitenkin eri pätevyysvaatimukset kuin betonityönjohtajille.

Betonielementtien asennustyönjohtajan pätevyysvaatimukset ovat:

- vähintään teknillisen koulun tai ammattikorkeakoulun rakennusalan tutkinto
 - elementtien asennusta koskeva koulutus
 - elementtien asennusta koskeva kirjallisen kokeen hyväksytty suoritus
 - riittävän monipuolinen käytännön kokemus vähintään kolmen vuoden ajalta
- (FISE 2015b.)

Pätevyudet työnjohtajalle toteaa FISE Oy hakemuksen perusteella ja ne voidaan myöntää seitsemäksi vuodeksi kerrallaan.

2.4.3 Tuotannon valmistelu

Riippumatta rakennusmenetelmästä ennakkosuunnittelu betonitöissä on välttämätöntä, jotta saavutetaan kilpailukykyinen lopputulos. Huolellisella työsuunnittelulla voidaan välttää tekemästä turhaa työtä, joka johtaisi turhiin lisäkustannuksiin ja mahdollisesti aikataulun venymiseen. Lisäksi työsuunnittelulla varmistetaan työn sujuvuus ja onnistunut lopputulos, joka on korkealaatuinen ja samalla pitkäikäinen betonirakenne.

Tehtäväsuunnitelma

Tuotannon valmistelun yksi keskeisimmistä menetelmistä on tehtäväsuunnitelman laadinta. Tehtäväsuunnitelman avulla varmistetaan ennen työn aloitusta, että osapuolilla on yhteinen käsitys työn tavoitteista ja vaatimuksista sekä keinoista, joilla tavoitteisiin päästään. Tehtäväsuunnitelmassa suunnitellaan logistiikkajärjestelyiden, työturvallisuuden ja tehtäväohjeiden lisäksi tehtäväkokonaisuuden kustannuksia ja siihen liitetään myös tehtävään liittyvät aikataulut. Se on tarkin suunnitelma, joka käsittelee kyseistä työvaihetta.

Tehtävää suunniteltaessa kootaan yhteen kaikki tehtävää koskevat lähtötiedot. Lähtötietojen perusteella muodostetaan tehtävän ajalliset ja taloudelliset tavoitteet sekä selvitetään valmista rakennetta ja sen toteuttamista koskevat laatuvaatimukset. Tehtäväsuunnitelmassa muodostetut tavoitteet ja vaatimukset muokataan sellaiseen muotoon, että niitä toteuttavat työntekijät

sekä työtä ohjaavat toimihenkilöt saavat niistä selon ja että ne palvelevat työn toteuttamista ja ohjausta. (RATU Tehtäväsuunnittelu 2010, 5-10.)

Työmaan aluesuunnitelma

Työmaan aluesuunnitelma pitää sisällään rakennustyömaan liikenne- ja kulke-
misjärjestelyt, ja siinä kuvataan työmaan turvallinen käyttö. Runkovai-
heen aluesuunnitelmaa laadittaessa tulee kiinnittää huomiota nostureiden
nostopaikkojen perustukseen ja maapohjan vahvistukseen, nostureiden nos-
tosäteisiin ja -kapasiteetteihin, nosturin kuljettajan mahdollisimman esteet-
tömään näköyhteyteen elementtien vastaanottopisteeseen ja asennuskohtee-
seen. Suunnitelmassa tulee olla merkittävänä betonin- ja rakennustarvikkei-
den purku-, lastaus- ja varastointialueet. (Ratu C2-0299 2007.)

Betonointisuunnitelma

Ennen betonointitöiden alkua tulee hankkia tiedot rakenteeseen soveltu-
vasta betonista, sen ominaisuuksista ja kohteeseen sopivan betonin siirtota-
vasta. Lisäksi hankitaan tarpeelliset työvälineet ja -koneet sekä perehdytään
niiden oikeaan käyttötapaan. Betonin kuljetusautolle on suunniteltava työ-
maalle purkupaikka sekä tarvittavat kärräystiet ja -telineet. Betonointia var-
ten kootaan tarvittava työryhmä ja lasketaan valunopeus työryhmän mu-
kaan. (Betonointisuunnitelma n.d.)

Betonointisuunnitelmassa tulee myös varautua häiriöihin: siinä tulee näkyä
jälkihoito- ja laadunvalvontamenetelmät sekä betonoinnin vastuuhenkilön,
betonityönjohtajan, nimi. Betonoinnin valmistuttua laaditaan betonointi-
pöytäkirja. Paikallavaluholvin lisäksi ontelolaattaholvin juotosvalussa nou-
datetaan betonointisuunnitelmaa.

Työturvallisuussuunnitelma

Työturvallisuussuunnitelmaan tulee tunnistaa työvaiheeseen liittyvät riski-
ja vaaratekijät sekä suunnitella toimenpiteet niiden poistamiseksi. Työtur-
vallisuuden näkökulmasta betonirunkoisen kerrostalon rakentamiseen liit-
tyen erityisen tärkeitä suunnittelun kohteita ovat:

- nosturin pystytys- ja asennusvaihe
- muotti- ja tukikaluston, raudoitusterästen, puutavaran
ym. rakennusmateriaalien ja -tarvikkeiden nostot
- kaiteiden asennus holvin reunoille
- betonin vastaanotto pumppuautosta holville
- betonin kemialliset vaaratekijät.

Työturvallisuussuunnitelmassa tulisi olla kaikkien työvaiheiden tärkeimmät
turvallisuusseikat ilmoitettuna ja huomioonotettuina. (Ratu 5012 2011;
Ratu K1-6027 2015.)

Elementtiasennussuunnitelma

Elementtien asennustyötä varten on laadittava kirjallinen asennussuunnitelma. Elementtiasennussuunnitelmassa on esitettävä käytettävien elementtien tiedot, niiden nostaminen ja asennus, asennusjärjestys, mittausjärjestelmä ja mittatarkkuus, tukipintojen vähimmäismitat, väliaikainen tuenta, lopullinen kiinnitys sekä työtasot ja putoamissuojaus. Asennussuunnitelman tavoitteena on saada selkeät toimintaperiaatteet turvallisuuden varmistamiseksi. Asennussuunnitelma on tehtävä, mikäli työmaalle tulee yksikin asennettava elementti.

Elementtien asennussuunnitelmassa käsiteltävät asiat ovat:

- kohdetiedot työmaasta
- elementit, nostoapuvälineet ja erityistoimenpiteet
- elementtien kuljetus työmaalla, kuorman purku, vastaanotto ja työmaavarastointi
- nostot, asennus ja asennusjärjestys
- toleranssit ja seurantamittaukset
- asennuksen aikainen tuenta ja vähimmäistukipinnat
- elementtien lopulliset kiinnitykset
- asennuksessa tarvittavat työtasot ja putoamissuojaukset
- suunnittelun varmentaminen.

(RatuTT 05-00442 2004.)

Putoamissuojaussuunnitelma

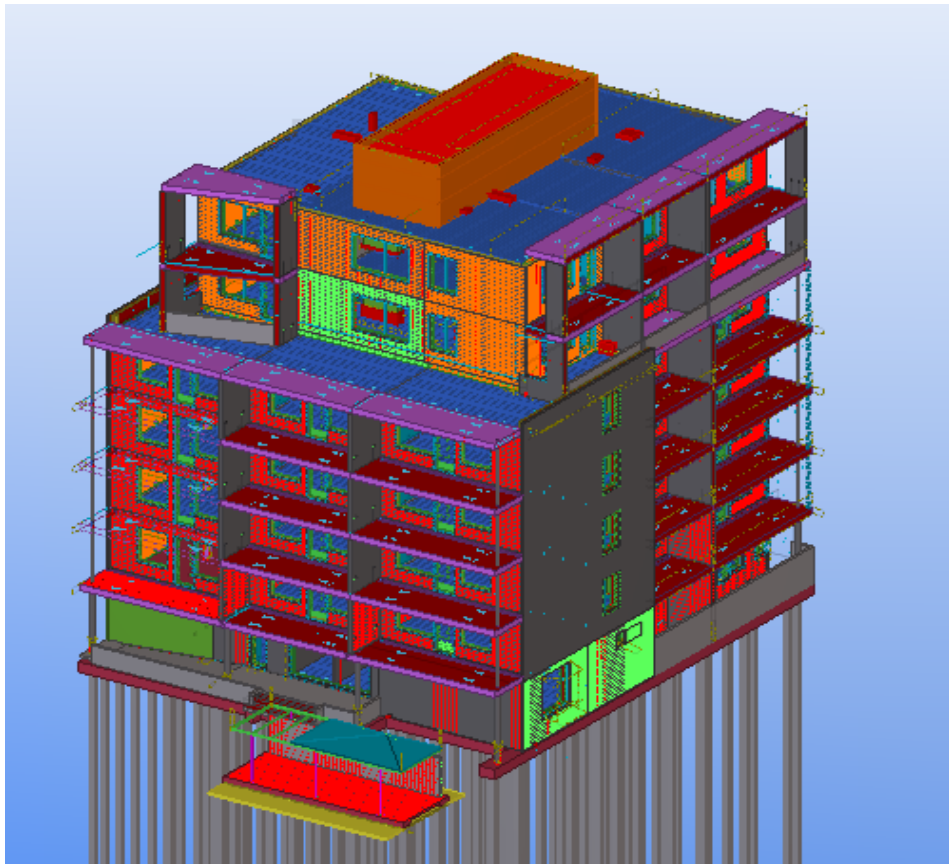
Putoamissuojaussuunnitelmassa käydään tarkasti läpi putoamissuojaukseen liittyvät turvallisuusseikat. Putoamissuojaussuunnitelma liitetään työturvallisuussuunnitelmaan ja elementtiasennussuunnitelmaan. Putoamissuojaus on erittäin tärkeä osa työturvallisuutta, kun rakennetaan holvia.

Putoamissuojaussuunnitelmaan kuuluu työntekijän putoamisen estävien suojarakenteiden kuten suojakaiteiden, -kansien, -katosten ja -verkkojen lisäksi suojaus putoavilta esineiltä. Mikäli putoamisen estävien suojarakenteiden asennus tai käyttö ei ole mahdollista, on putoamissuojaus toteutettava henkilönsuojaimilla, kuten turvavaljailta ja -vöillä. Putoamissuojauksen laatimisesta vastaa kohteen pääurakoitsija. (RatuTT 05-00469 2004.)

2.5 As Oy Espoon Magneetikatu – Case-esittely

As Oy Espoon Magneetikatu 8 on seitsemänkerroksinen pistekerrostalo, jonka asuinkerrosten väliset välipohjat on tehty ontelolaatoista. Kohteessa on yhteensä 350 ontelolaattaa, joista 199 on 370 mm paksuja välipohjalaattoja. Laattojen jännevälit osuvat suurimmalta osin 6 500 mm–7 500 mm:n väliin. Alimmassa kerroksessa on väestönsuoja, jota ei ole välipohjalaskelmissa huomioitu. Tutkimuksesta on rajattu pois myös ala- ja yläpohja sekä 5. kerroksen katto näiden normaalista välipohjarakenteesta poikkeavasta rakennetyypistä johtuen. Kohteen porrashuoneiden väliset välipohjat on suunniteltu ja toteutettu massiivilaattaelementeillä, joten nekin on rajattu pois tutkimuksesta.

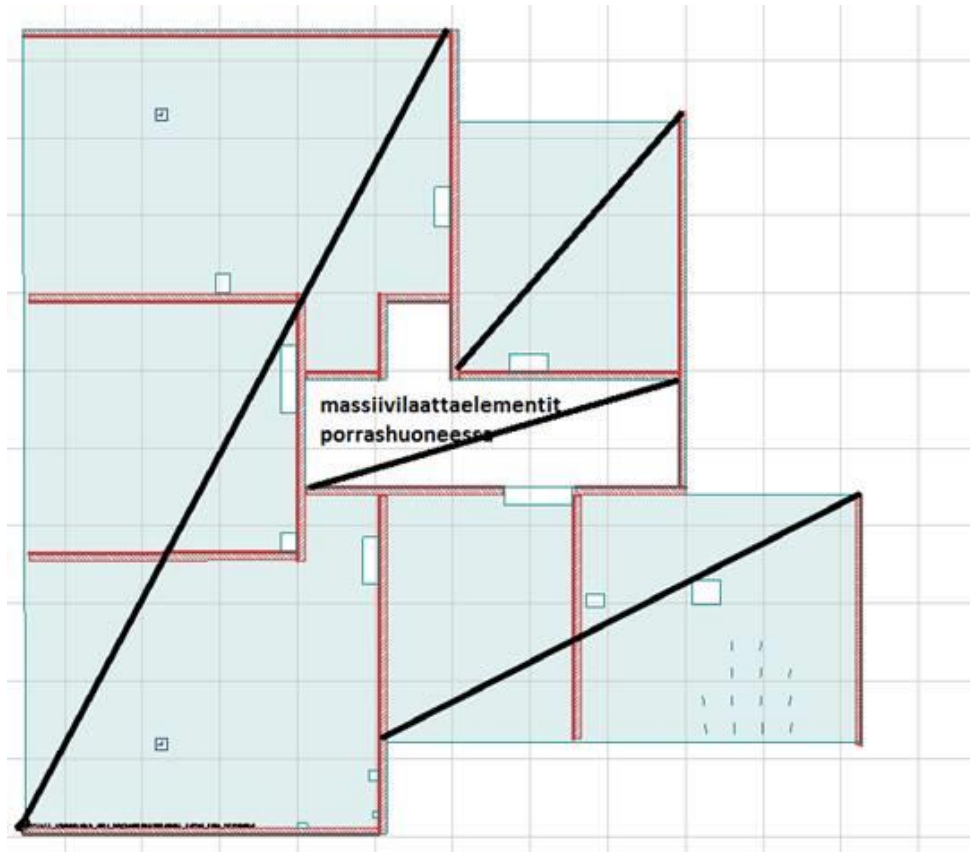
Tutkimukseen valittua 370 mm paksua välipohjarakennetta kohteessa on yhteensä 1404m² viidessä eri kerroksessa. Kohteen runkovaiheen työt tehtiin suunnilleen samaan aikaan tämän opinnäytetyön kanssa. Runkovaiheen työt oli saatu valmiiksi tämän tutkimuksen valmistuttua.



Kuva 2. As Oy Espoon Magneetikatu 8 (kuva: Marko Mustonen).

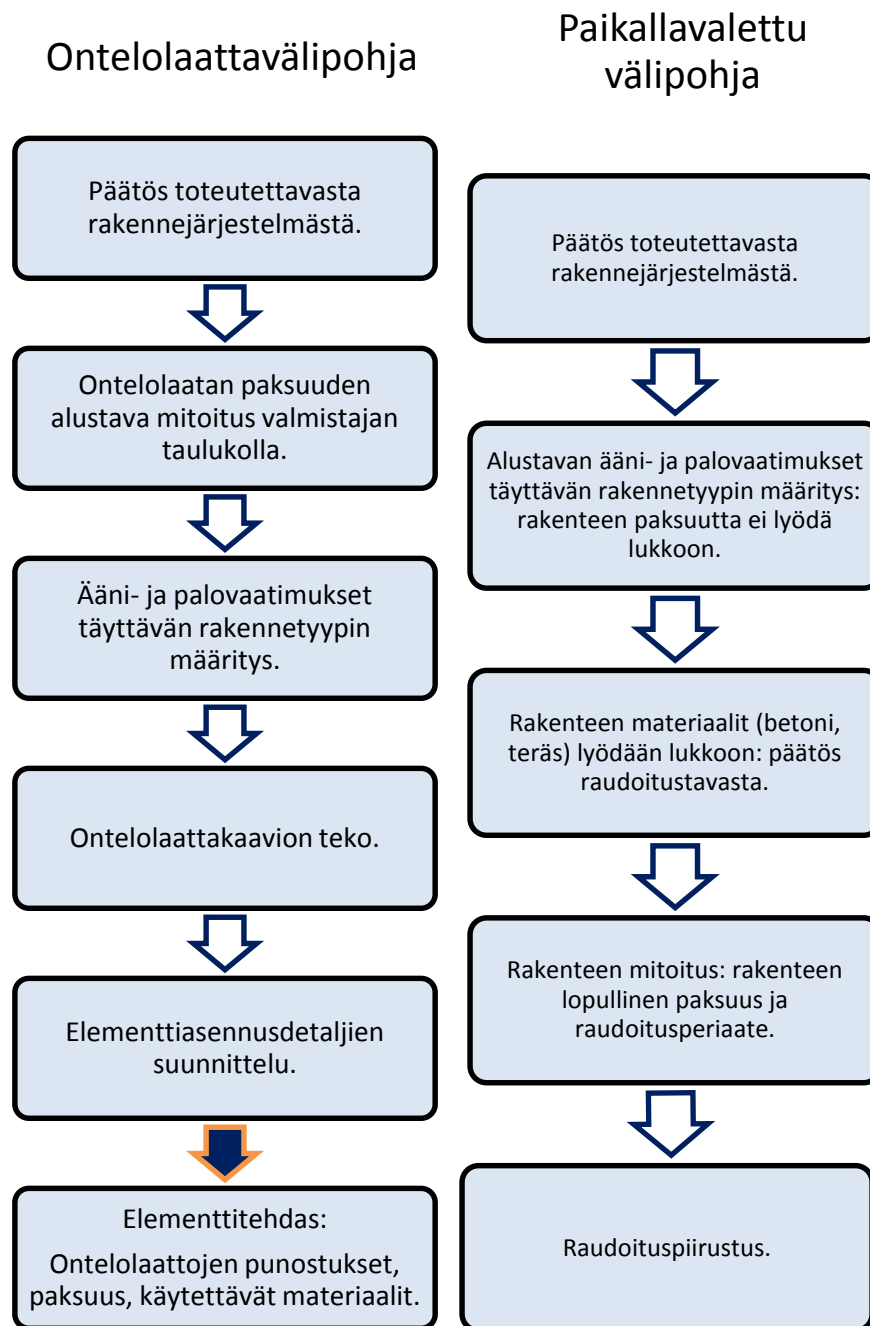
3 BETONIVÄLIPOHJAN SUUNNITTELU

Jotta vertailulaskenta ontelolaatta- ja paikallavaluvälipohjien välillä olisi mahdollista, täytyy molemmista rakenteista olla suunnitelmat. Esimerkikohteessa käytetyistä välipohjan rakennetyypeistä johtuen käytettävissä oli vain toisen tutkimukseen valitun välipohjarakenteen työpiirustukset. Esimerkikohteeseen laadittiin vertailtavaa välipohjarakennetta käyttäen karkeat suunnitelmat, joissa huomioitiin välipohjarakenteen vaihtamisen vaikutukset muihin rakenteisiin. Vertailusuunnitelmien periaatteena pidettiin, että rakennuksen arkkitehtisuunnittelu säilyisi muuttumattomana (Kuva 3).



Kuva 3. Havainnollistava pohjapiirustus kohteesta (Kuva: Marko Mustonen 2015).

3.1 Rakennus- ja rakennesuunnittelu



Kuvio 2. Ontelolaatta- ja paikallavaletun betonivälipohjan suunnittelun vaiheet (Mustonen 2015).

Rakennus- ja rakennesuunnittelu eroaa hieman ontelolaatta- ja paikallavaletun välipohjan välillä, mutta suunnittelukustannukset ovat suunnilleen samat molemmilla rakenteilla (Mustonen 2015). Rakennus- ja rakennesuunnittelun eteneminen ontelolaatta- ja paikallavaletun välipohjan tapauksessa on esitetty kuviossa 2. Ontelolaattavälipohjan tapauksessa rakenteen lopullinen paksuus ja ontelolaattojen punostukset suunnitellaan vasta elementtitehtaalla (Mustonen 2015).

Ontelolaatoilla mahdollistetaan vapaat huoneistotilat asunnon sisällä jännevälin ollessa jopa 14 metriä 370 mm paksulla laattalla. Kylpyhuonesyvennyksillä varustetut laatat ovat kapasiteetiltaan normaalia heikompia, ja niiden maksimijännevälin määrittävät syvennyksen sijainti ja suuruus. Ontelolaatoilla päästään helposti tilanteeseen, jossa huoneiston sisäisiä kantavia väliseiniä ei tarvita. Välipohjan lävistävät hormit ja niille asennusvaiheessa jätettävät aukot rajoittavat ontelolaattojen käyttöä. Aukkojen vuoksi voidaan joutua kaventamaan laattoja, mutta ei kuitenkaan alle suositellun 400 mm:n minimileveyden. (Elementtisuunnittelu n.d.) Aukkojen kohdalla voidaan kuitenkin käyttää teräslevystä valmistettuja ontelolaattakannakkeita (Kuva 4), jotka vievät kuorman tasaisesti viereisille rakenteille.



Kuva 4. Ontelolaatan kannakepalkit (Kuva: Toni Aalto).

Paikallavaletulla välipohjalla voidaan toteuttaa noin 7x7 metrin kenttiä niin, että laatta tukeutuu jokaiseen reunaan eli se toimii ristiin kantavana. Ontelolaattaa lyhyemmästä jännevälistä johtuen paikallavaletun välipohjarakenteen käyttö voi tarvita enemmän huoneiston sisäisiä kantavia seiniä tai -rakenteita. Ontelolaattaholviin nähden rakenne on joustavampi, koska välipohjarakenteen aukkoja voidaan kiertää, eikä rakenne vaadi koko laatan sivun mittaista yhtenäistä tukipintaa.

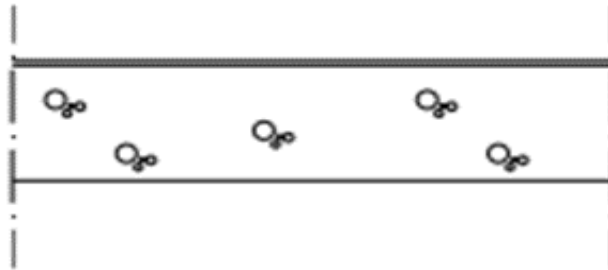
Ääneneristys

Ääneneristysvaatimukset täytetään ontelolaattarakenteella, kun sen massa on vähintään 500 kg/m². Kohteessa käytettävän 370 mm:n ontelolaataston massa saumattuna on noin 510 kg/m² (Kuva 5). (Elementtisuunnittelu.fi n.d.; Helimäki & Kylliäinen 2001, 560.)



Kuva 5. Ontelolaattavälipohjan rakennetyyppi (kuva: Sini Vainio 2015).

Paikallavaluholvi täyttää ääneneristysvaatimuksen laatan paksuuden ollessa vähintään 240 mm (Rakennustieto.fi n.d., Helimäki & Kylliäinen 2001, 560). Tässä tutkimuksessa tutkitaan kuvan 6 mukaista 240 mm:n paksuista paikallavaluholvia, jonka päälle tulee noin 20 mm:n pintatasoite (Mustonen 2015).



Kuva 6. Paikallavaluvälipohja: 240 mm:n betoni + 20 mm:n pintatasoite (Kuva: Sini Vainio 2015).

Palomääräykset

5–8-kerroksinen, enintään 26 metriä korkea ja kerrosalaltaan enintään 12 000 m² oleva asuinrakennus, kuten tutkimuksen esimerkkikohde, voi kuulua paloluokkaan P1 tai P2. Esimerkkikohde on suunniteltu paloluokkaan P1 kuuluvaksi.

Paloluokkaan P1 kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden oletetaan pääsääntöisesti kestävän palossa sortumatta. Rakennuksen kokoa ja henkilömäärää ei ole rajoitettu.

Paloluokkaan P2 kuuluvan rakennuksen kantavien rakenteiden vaatimukset voivat olla paloteknisesti edellisen luokan tasoa matalampia. Riittävä turvallisuustaso saavutetaan asettamalla vaatimuksia erityisesti pintaosien ominaisuuksille ja paloturvallisuutta parantaville laitteille. Lisäksi rakennuksen kokoa ja henkilömääriä on rajoitettu käyttötavasta riippuen. (RakMK E1.)

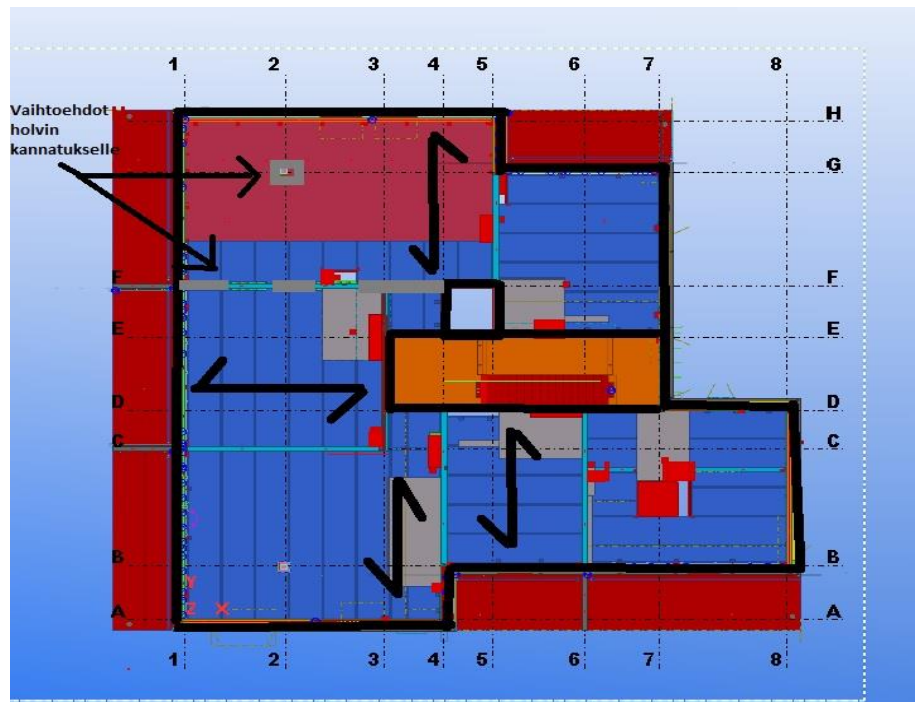
Yhteenveto

Kohteeseen tehdyt paikallavaluvälipohjan rakennesuunnitelmat eivät vaatineet ylimääräisiä kantavia seiniä jännevälillä ollessa suhteellisen pieni kohteen välipohjissa. Kantavuus ja jäykistys -periaatteet pysyivät siis muuttumattomina välipohjarakenteilla.

Ontelolaattavälipohjan suunnittelu on rakennesuunnittelijalle hieman nopeampaa ja työmäärältään kevyempää kuin paikallavaluvälipohjan johtuen osittain suunnittelun jakamisesta elementtitehtäviin kanssa. Kokonaisuudessaan suunnittelun määrä ei kuitenkaan vaihtelee välipohjarakenteilla. Pääurakoitsijan näkökulmasta välipohjan tuotantotavan vaihtaminen ei vaikuta suunnittelukustannuksiin.

Esimerkkikohdetta suunnitellessa paikallavaluvälipohjilla kävi ilmi, että eikantavien ulkoseinäläinjojen muuttaminen kantaviksi mahdollistaisi joidenkin kantavien väliseinien poistamisen (Kuva 7). Tällöin asuntojen muunneltavuus kasvaisi. Paikallavaluettujen välipohjan käyttäminen mahdollistaisi ohuemman rakenteensa vuoksi korkeamman huonekorkeuden, jolloin asuinviihtyvyys kasvaisi. Vaihtoehtoisesti rakennuksen kokonaiskorkeutta voitaisiin pienentää, jolloin myös hankkeen kustannukset pienenisivät. Tämä kuitenkin vaatisi myös muiden rakenteiden mittojen muutosta.

Lisäksi kahdeksassa eri asunnossa olevien pilareiden pois jättäminen olisi myös mahdollista paikallavaluettujen tapauksessa. Kustannukset urakoitsijalle eivät merkittävästi pienentyisi raudoitusmäärän ja -työn kasvaessa pilareiden kohdalla, mutta asukkaiden asuinviihtyvyys ja asunnon muunneltavuus kasvaisi entisestään.



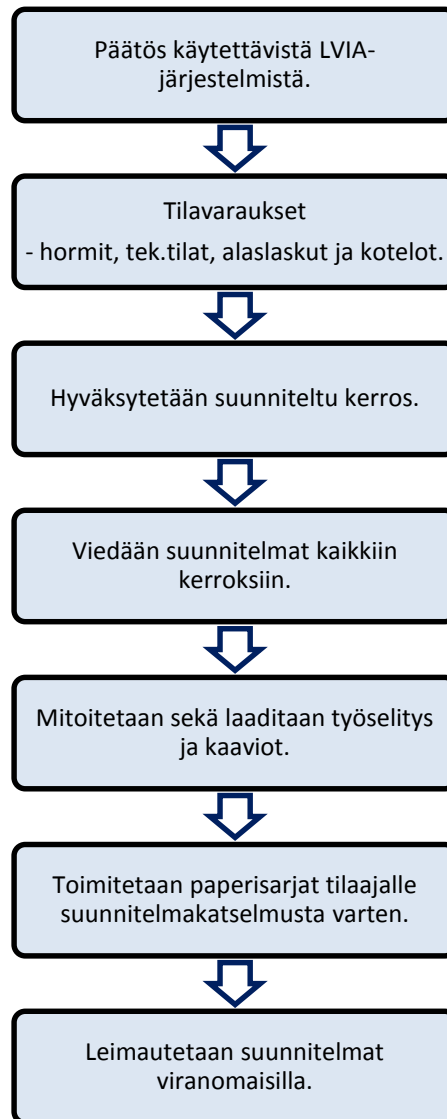
Kuva 7. Paikallavaluvälipohjan vaihtoehtoinen suunnitelma, jossa mustalla on piirretty kantavat rakenteet sja raudoituksen suunta. Vasemmassa yläkulmassa harmaalla on piirretty vaihtoehtoiset kantavat rakenteet. (kuva: Marko Mustonen 2015).

3.2 LVIA- ja sähkösuunnittelu

LVIA-suunnittelu

Kerrostalokohteen LVIA-suunnittelu etenee kuvion 3 mukaisesti. Välipohjarakenne ei vaikuta suunnittelun etenemisvaiheisiin, suunnittelutyön määrään eikä myöskään suunnittelukustannuksiin, mutta se vaikuttaa suunnittelun vapauteen. Paikallavalettu välipohja vapauttaa arkkitehtisuunnittelua myös LVIA-suunnittelun osalta. Suurin etu paikallavaluholvilla ontelolaattaan nähden on hormien sijainti ja suunta, mikä paikallavaluholvissa on muuten vapaa ottaen huomioon viemäripisteiden rajaetäisyydet. Ontelolaattaholvissa leveät hormit on suunniteltava pituussuunnassa samoin päin kuin ontelolaatat tukipintojen mahdollistamiseksi. (Silvennoinen 2015.)

LVIA -Suunnittelu



Kuvio 3. LVIA-suunnittelun vaiheet (Silvennoinen 2015).

Sähkösuunnittelu

Sähkösuunnittelu perustuu tilaajan antamiin laatu- ja hintatasovaateisiin. Sähkösuunnittelu noudattaa rakennuksen yleissuunnitteluvaiheita. Kun luonnokset ovat rakennusvalvonta ja rakennuttaja hyväksyneet, arkkitehti laatii työpiirustukset, joihin erikoissuunnittelijat laativat oman erikoisalu-eensa suunnitelmat yhteistyössä arkkitehdin johdolla. Erikoissuunnitelmien valmistuttua arkkitehdin johdolla tehdään suunnitelmien yhteensovittamistarkistus, jossa käydään ristiin LVISA-, rakenne-, arkkitehti- ja pihasuunnitelmat, ettei ristiriitoja jäisi työmaavaiheeseen. Elementtisuunnittelu vaikuttaa jonkin verran sähkösuunnitelmiin, koska elementtituotanto ei aina pysty toteuttamaan kaikkia sähkösuunnitelman vaateita. (Tanskanen 2015.)

Välipohjarakenne ei paljontaan vaikuta sähkösuunnitteluun, kun suunniteluvaiheessa on tiedossa ontelo- tai paikallavalurakenne. Ontelolaattarakenne teettää jonkin verran enemmän työtä kuin paikallavalurakenne. Laskutettavaan hintaan ei rakenteilla kuitenkaan ole vaikutusta. (Tanskanen 2015.)

Sähköurakan hintaan ei ole oleellista vaikutusta, kumpi vaihtoehto välipohjarakenteeksi valitaan. Ontelolaattarakenne lisää jonkin verran sähkökaapeleiden menekkiä pidempien kaapelointireittien vuoksi. (Tanskanen 2015.)

3.3 Ajallinen suunnittelu

Pääurakoitsijan tehdyistä aikatauluista on käyty läpi olennaiset välipohjan tuotantoon liittyvät aikataulut. Työmaatuotannossa tärkeimpiä aikatauluja yleisaikataulun lisäksi ovat rakennusvaiheaikataulu sekä tätä tarkempi viikkoaikataulu. Rakennusvaihe- ja viikkoaikataulut laaditaan yleisaikataulua hyväksi käyttäen. Välipohjarakenteen tuotannossa rakennusvaiheaikataulu toimii runkoaikataulu.

3.3.1 Runkoaikataulu

Runkoaikataulu on yleisaikataulua tarkempi aikataulu, jossa esitetään runkovaiheen eri työtehtävät ja niiden kestot. Runkoaikataulu laaditaan aina työmaalla, ja sen tarkoituksena on varmistaa yleisaikataulussa asetettujen ajallisten tavoitteiden toteutuminen (Aikataulukirja 2008, 28). Työvaiheissa tarvittavat resurssit voidaan mitoittaa käyttämällä Ratu-kortistosta löytyviä tehollisia työmenekkejä eli T3-aikoja. Toinen tapa mitoittaa resurssit on aikaisempien kohteiden tuoman kokemuksen ja työvaiheista vastaavien urakoitsijoiden avulla tapahtuva mitoitus. Kokeneet työnjohtajat ja työpäälliköt perustavatkin usein yleisaikataulun teossa käytettävät resurssit aikaisemmissa kohteissa tarvittuihin resursseihin. Urakoitsijoilta kysytään alustavasti omien resurssiensa suuruutta, joka huomioidaan aikataulutuksessa.

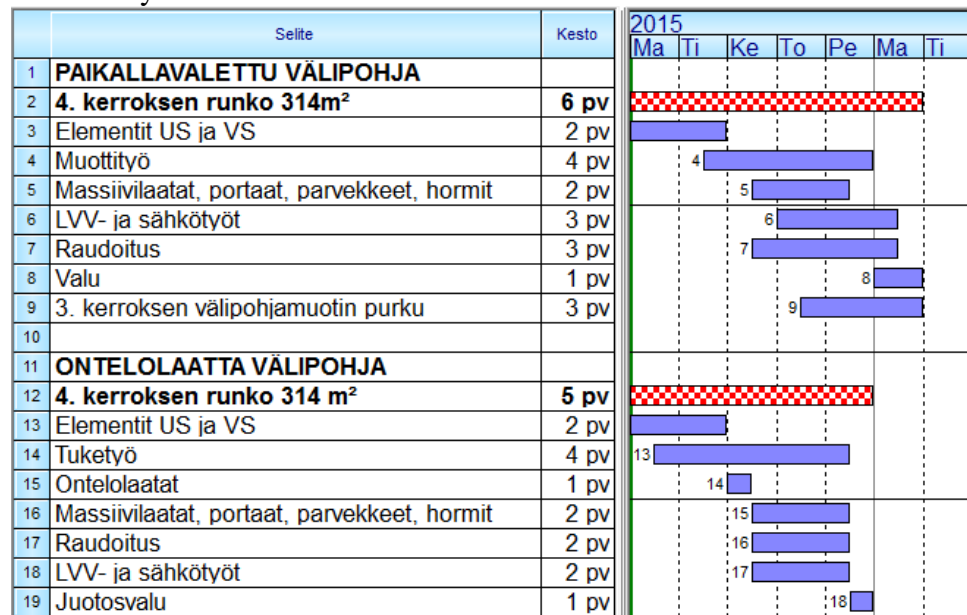
Lähtötietoina runkoaikataululle ovat määräluettelo, urakoitsijan työntekijäresurssit, aikaisempien kohteiden toteumat ja jälkilaskentatiedot sekä Ratu-kortiston T3-työmenekit. Esimerkkikohteen välipohjaan liittyvien töiden osapuolet olivat pääurakoitsijalle entuudestaan hyvin tuttuja, joten aikataulut saatiin mitoitettua yhdessä työnjohtajien ja urakoitsijoiden edustajien kesken. Yhden kerroksen työvaiheisiin mitoitettiin esimerkkikohteessa aikatauluun 5 työpäivää (ks. Kuva 8).

3.3.2 Viikkoaikataulu

Ontelolaattarakenteisen kerrostalon runkovaiheessa kerroksen rakennusajan määrittää suurimmalta osin elementtien lukumäärä. Tuketöiden, raudoituksen, talotekniikan ja aputöiden työaikaa voidaan säädellä työryhmien lukumäärää vaihtelemalla. Paikallavaletun välipohjan tapauksessa kerroksen rakennusajan määrittää suurimmilta osin muotin purkulujuuden saavuttaminen. Kokeneemmat työnjohtajat osaavat muodostaa viikkoaikataulun

kokemuksensa ja osapuolten välisen yhteistyön avulla. Viikkoaikataulun laatimiseen tarvittavat työmenekit voidaan myös katsoa Ratu-kortistosta.

Kuvassa 8 on esitetty periaatteellinen yhden kerroksen tuotantoaikataulu molemmilla välipohjarakenteilla. Aikataulun laadinnassa oli mukana esimerkkikohteen työnjohto. Ontelolaattavälipohjien rakentaminen esimerkkikohteessa toteutui kuvassa esitetyllä tavalla. Mikäli kohde olisi rakennettu paikallavaletuilla välipohjilla, olisi kerroksen tuotantoaikatauluksi määritetty 6 työvuorota työvaiheiden yleisesti lisääntyneen, tahdistavan työmenekin vuoksi. Esimerkiksi talotekniikan tahdistava työmenekki nousee suhteessa paljon, kun viemärihajotukset ja lattialämmityspotket on asennettava raudoitustyön aikana ennen valua rakenteeseen.



Kuva 8. Esimerkki kerroksen tuotantoaikataulusta molemmilla välipohjarakenteilla (Kuva: Toni Aalto).

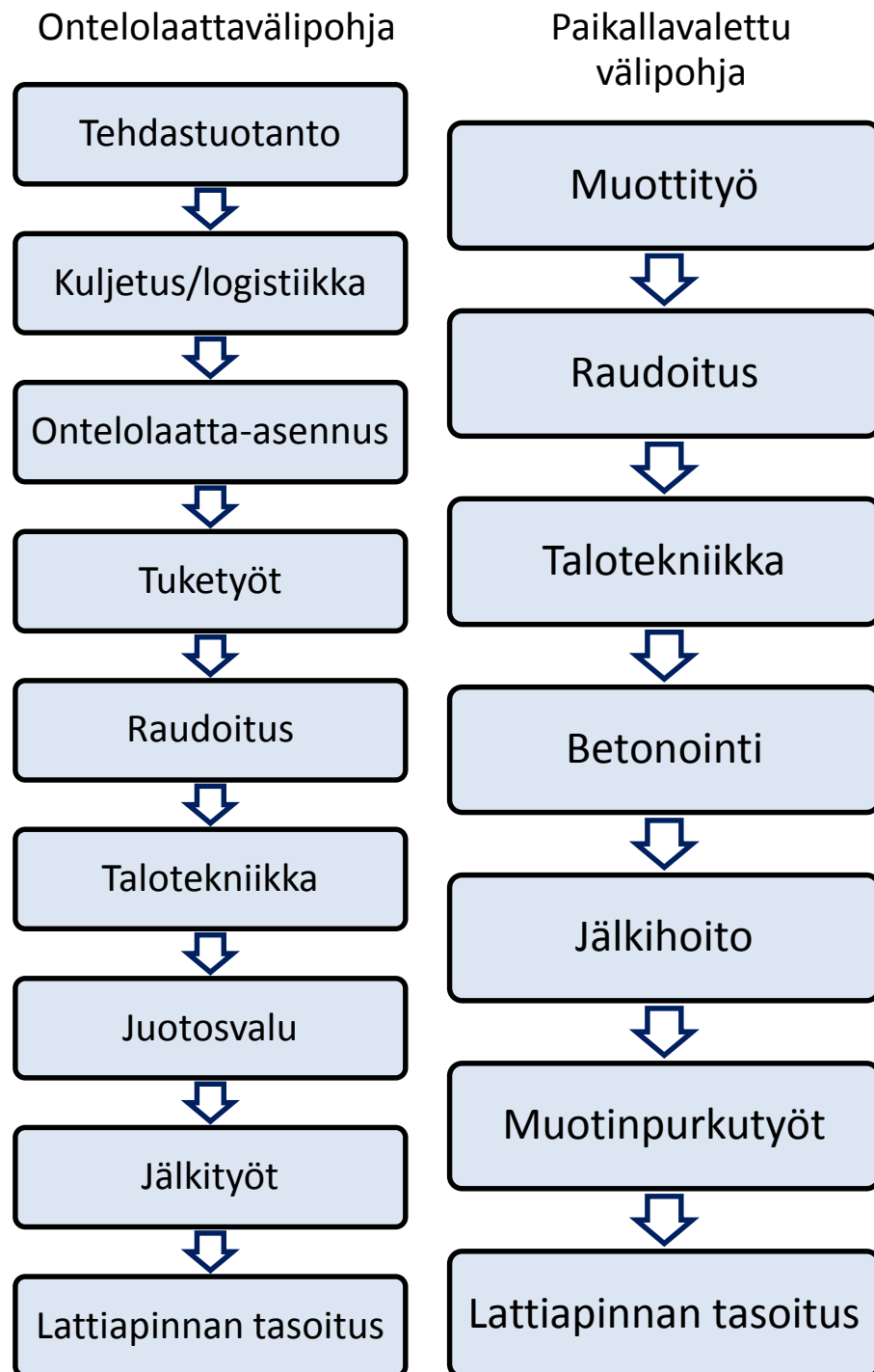
Ontelolaattavälipohjan viikkoaikataulussa ei ole esitetty kylpyhuoneiden kaatolattioiden valua, koska ne eivät tahdistaisivat aikataulua rungon pystyttämisen osalta. Kylpyhuoneiden kaatolattiat tehdään ontelolaattavälipohjan tapauksessa tyypillisesti jälkikäteen ja moneen kerrokseen samanaikaisesti. Näin ollen kuvassa 8 esitetyssä aikataulussa paikallavaluvälipohjalla on suurempi valmiusaste. Ontelolaattavälipohjan kerroksen kaatolattioille voidaan laskea kaksi työvuorota, jotka sisältävät valuvalmistelut, talotekniikkatyöt ja kaatovalun.

Paikallavaletulla välipohjarakenteella runkovaiheen rakennusaika pitenisi päivän joka kerrokselta eli yhteensä viikon. Kesäaikana yhden päivän kustannuslisän voi laskea seuraavasti:

Nosturi	776 €/pv
Työmaakopit	115 €/pv
Sähkölasku	20 €/pv
Työnjohto	300 €/pv
Yhteensä	1 211 €/pv

4 BETONIVÄLIPOHJIEN TUOTANTOTEKNIikka

Ontelolaatta- ja paikallavaletun välipohjan tuotantotekniikat eroavat toisistaan, ja erot näkyvät työmaalla tehtävissä työvaiheissa. Ontelolaatta edustaa valmisosarakentamista, jossa rakennuksen osat pyritään tekemään mahdollisimman pitkälle valmiiksi jo tehtaissa. Paikallavalettu välipohja edustaa perinteisempää betonirakentamista, jossa kaikki rakentamiseen liittyvät osat ja osa-alueet liitetään yhteen suoraan työmaalla. Kuviossa 4 on listattu molempien rakenteiden tuotantotekniikkavaiheet.



Kuvio 4. Betonivälipohjan tuotantotekniikkavaiheet.

4.1 Ontelolaattavälipohjan tuotantotekniikka

Ontelolaatat valmistetaan elementtitehtaalla, josta ne kuljetetaan rakennuspaikalle, asennetaan ja valetaan betonilla yhtenäisiksi laatastoiksi, rakennuksen välipohjaksi. Työvaiheissa esitetyt työ- ja materiaalimenekit on otettu Ratu-kortistosta ja ne ovat T3-menekkejä, ellei muuta lähdettä ole ilmoitettu. Osaa menekeistä on käytetty hyväksi vertailulaskelmissa ja aikataulujen tekemisessä. Tuotantovaiheet on pyritty kuvaamaan työmäärän kannalta, eivätkä ne ole tällä tarkkuudella esitettyinä soveltuvia työohjeiksi.

4.1.1 Tehdastuotanto

Tehtaalla ontelolaatat valmistetaan rakennesuunnitelmien mukaisesti. Suunnitelmat lähetetään elementtitehtaalle jo tarjousvaiheessa. Työmaan tulee toimittaa elementtitehtaalle kirjallinen asennusjärjestys vähintään kuukautta ennen elementtitoimitusten aloittamista. Ontelolaatat pyritään valmistamaan, varastoimaan ja kuljettamaan työmaalle asennusjärjestyksessä, joten kirjallisesti tehty asennusjärjestys on sitova ja siihen liittyvistä muutoksista tulee sopia tehtaan kanssa ennen toimitusta. Kuormatunnukset merkitään tehtaalla myös elementtikaavioihin.

Rakennettavan rakennuksen monimuotoisuus lisää ontelolaatan valmistuskustannuksia, koska ontelolaattoja joudutaan sahaamaan mittoihin sopiviksi. Ontelolaatoista tehtävä urakkasopimus pitää tyypillisesti sisällään ontelolaattojen tehtaalla tapahtuvan suunnittelutyön, mittoihinsa valmistetut ontelolaatat sekä niiden kuljetuksen.

4.1.2 Logistiikka

Elementtitehdas valmistaa ja lastaa kuljetusajoneuvon kyytiin ontelolaatat asennusjärjestyksen mukaisesti. Kuormien toimitus vaatii työmaan työnjohtajalta kuljetuksen sopimista tehtaan kanssa vähintään 1–2 viikkoa ennen toimitusta. Lopullinen varmistus on tehtävä viimeistään 3 vrk ennen toimitusta.

Kuormat pyritään lastaamaan aina täyteen tehtaalla, jolloin maksimoidaan kuljetuskapasiteetin käyttö. Tämä tarkoittaa sitä, että joskus kuorman päälle on lastattu pienempi ontelolaatta, joka ei olekaan asennusjärjestyksessä ensimmäisten joukossa. Silloin kyseinen ontelolaatta on välivarastoitava työmaalle odottamaan asennusjärjestyksen mukaista nostoa.

4.1.3 Asennus

Ontelolaattojen asennus vaatii työmaalle nostokaluston ja kolme asentajaa. Yksi asentaja on ontelolaattakuorman luona kiinnittämässä nostosaksia laataan, kaksi asentajaa on asennuspaikalla vastaanottamassa ja sijoittamassa laattaa oikealle paikalleen. Nosturikuskin ja asentajien välinen kommunikointi laatan siirrossa tapahtuu radiopuhelimen kautta. (Kuva 9.)

Ontelolaattaholvin asennusaika riippuu ontelolaattojen lukumäärästä, sillä pinta-alaltaan pienemmillä laatoilla on sama asennusaika kuin suuremmilla. Tahdistavan työryhmän työsaavutukseksi on laskettu 40 kpl/tv ja ontelolaattatyön työmenekiksi 0,63 tth/kpl. Työmenekkiin on laskettu ontelolaatta-asennuksen lisäksi mittaus ja juotosvalu, mutta aikataulutettaessa on menekkiin lisättävä väliin jäävien työvaiheiden, raudoituksen ja talotekniikka-asennusten lasketut työmenekit.

Kohteen välipohjiin asennettavien ontelolaattojen määrä on n. 40 kpl/kerros. Riippumatta pienistä kerroskohtaisista ontelolaattojen lukumääräeroista kohteen viikko- ja rakennusvaiheaikatauluihin on varattu yksi työvuoro yhden kerroksen välipohjan ontelolaatta-asennuksille.



Kuva 9. Ontelolaatan asennus (kuva: Toni Aalto).

Kohteen elementtiasennuksen suorittaa aliurakoitsija, jonka urakkasopimukseen kuuluvat elementtiasennuksen lisäksi tuketyöt, raudoitukset ja juotosvalut. Tämä on tyypillinen urakkasopimus, mikäli elementtiasennus hankitaan aliurakoitsijalta.

4.1.4 Tuketyöt

Ontelolaattojen asennuksesta jääneet saumat on tukittava alapäin, jotta holvin juotosvalu olisi mahdollista toteuttaa. Laattojen päätysaumat ja kapeat

sivusaumat tukitaan alapäin sahatavaralla, jota puristetaan välipohjaa vasten lattiaan tuetuilla laudoilla. Leveämmille sivusaumoille ja välipohjan paikallavaluosauksille tehdään muotit vanerista, ja ne tuetaan sahatavaralla tai holvituilla (Kuva 10). Paikallavalukaistan ja ontelolaatan väliin tehdään visuaalisista syistä valesauma kolmiorimalla.

Ontelolaattavälipohjan valutukkeiden tekeminen aloitetaan heti ontelolaatta-asennuksen jälkeen. Yhdellä asentajalla se etenee melkein samaa vauhtia kuin ontelolaattojen paikalleenasennus. Työvaiheen työmenekin määrittämisestä vaikeuttaa se, että ontelolaataston tuketyöt tehdään samaan aikaan pystysaumatuoketoiden kanssa. Luvun 5 laskelmissa tuketyöt sisältyvät ontelolaattojen asennuksen työmenekkiin ja aliurakkasopimukseen.



Kuva 10. Ontelolaattavälipohjan saumojen tuketyöt (kuva: Toni Aalto).

4.1.5 Raudoitus

Raudoitusta varten on nosturilla nostettava tarvittavat teräkset ja raudoitusvälikkeet. Näiden lisäksi raudoittaja tarvitsee surrikoukun ja surrilankaa, jolla yhdistetään teräkset. Raudoitustyötä nopeuttaa esivalmistettujen, valmiiksi katkaistujen ja taivutettujen raudoitteiden käyttö. Paikallavalukaistojen runsas määrä taas hidastaa raudoitustyötä. Ontelolaattavälipohjan saumat raudoitetaan rakennesuunnitelmien mukaan. Näin saavutetaan juotosvalun jälkeen yhtenäisenä levynä toimiva, rakennusta jäykistävä laattarakenne. Raudoitus on tarkistettava ja dokumentoitava ennen juotosvalua.

Työmenekki (raudoitus 12 mm)	5,5 tth/1000 kg
Materiaalimenekki (sauman leveys < 200 mm)	1,2kg/m ²

(Ratu 0402 2012.)

4.1.6 Talotekniikka

Taloteknisistä asennuksista lämpöjohtojen kerrosnousujen, viemäroinnin ja sähköputkitusten on edettävä kerroksen rakennusteknisten töiden mukana.

Ontelolaattojen saumoihin on asennettava läpivientikappaleet patteriputkille, jotta nousut tapahtuvat mahdollisimman suoraan ylöspäin asuntojen välillä. Vesi-, viemäri- ja ilmastointiputket viedään ylös yleensä käyttämällä elementtihormia, ja näiden haaroitukset voidaan tehdä myöhemmin. Väli-pohjien sähköputkitukset tehdään ontelolaattakentän saumoihin samaan aikaan raudoitustöiden kanssa. Putket on asennettava niin, että niistä ei koidu rakenteellista haittaa ontelolaattakentälle juotosvalun jälkeen. Toisin sanoen raudoitustyöt on pystyttävä tekemään suunnitelmien mukaan ja sähköputket ”väistävät” raudoituksia. (Kuva 11.)



Kuva 11. Juotosvaluraudoitus ja sähköputkitus (kuva: Toni Aalto).

Työmenekit:

Vesijohtojen läpivientikappaleet	0,10 tth/kpl
Sähköputkitukset	0,11 tth/jm

(Aikataulukirja 2013.)

4.1.7 Juotosvalu

Juotosvalu tehdään, kun ontelolaatat on asennettu paikalleen, kaikki tuke-työt on tehty ja raudoitukset, sähköputkitukset ja lämpöputkien vaatimat läpivientikappaleet on asennettu paikoilleen valua varten. Betonityönjohtaja tilaa työmaalle rakennesuunnittelijan määrittelemän betonin ja sen siirtokalu-aston, ellei työmaalla käytetä nosturia ja nostoastiaa betonin siirrossa. Koh-teen betonin siirrossa käytettiin betonipumppuautoa, jota käytettiin kalus-tona myös kappaleen 5 kustannuslaskennassa. Valussa täytyy olla mukana betonipumppuauton kuljettajan lisäksi yksi työntekijä letkun päässä ohjaa-massa betonin valumista saumoihin, yksi työntekijä tiivistämässä betonia ja yksi työntekijä tasoittamassa pintaa (Kuva 12). Työmenekiksi on laskettu 0,10 tth/ontelolaatta.

Betonin kuivumista voidaan tarvittaessa nopeuttaa lämmittämällä välipoh-
jan alapuolista tilaa lämmittimin. Lämmittimiä on oltava, mikäli ilman läm-
pötila menee betonin kovettumisen aikana alle +5 °C:n.



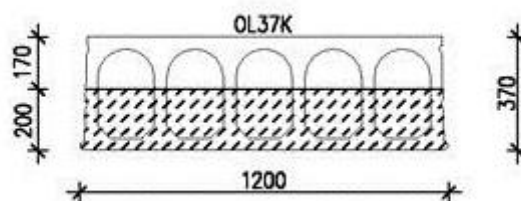
Kuva 12. Juotosvalu (kuva: Toni Aalto).

4.1.8 Liittyvät työt ja jälkityöt

Edellä mainittujen tehtävien jälkeen on huolehdittava jälkitöistä. Välittömästi betonivalun jälkeen on harjattava mahdolliset betonivalumat alempana olevista rakenteista, jotta betoni ei kovetu seiniin ja aiheuta hankalia lisätöitä myöhemmin. Juotosvalun jälkeen betonin kuivuttua tarpeeksi on poistettava kaikki valutukkeet. Valutukkeita voidaan hyväksikäyttää seuraavan välipohjan tuketöissä, joten ne välivarastoidaan seuraavaan kerroksen tuketöitä varten. Tukkeiden purku suoritetaan kahdella miehellä ja työmenekiksi arvioidaan 0,02 tth/m².

Kylpyhuoneiden kaatovalut

Kylpyhuoneiden kohdalla käytetään kylpyhuoneisiin sopivaa laattatyyppiä (Kuva 13). Jälkeenpäin tehtävien viemäröintien, lattialämmitystöiden ja kylpyhuoneen kaatovalua varten ontelolaatan tulee olla kylpyhuoneiden kohdalta syvennettyjä. Syvennykset tehdään suoraan tehtaalla, ja normaalisti 370 mm:n paksuun välipohjaontelolaattaan jätetään 200 mm:n paksu ehjä rakenne, jonka päälle kaatovalu tulee. Tämä tehtävä ei ole rungon pystytyksen osalta tahdistava työvaihe, joten kylpyhuoneiden kaatovalujen ei tarvitse olla aikataulussa kireästi kiinni kerroksen työvaiheissa.



Kuva 13. Kylpyhuonelaatta (Elementtisuunnittelu.fi n.d.).

Työmenekki (laatat, pumppu)	0,20 tth/m ³
Työsaavutus (laatat, pumppu)	120 m ³ /tv

Suoritemääräkerroin	400 = 1	800 = 0,95	200 = 1,05
Talotekniikan työmenekit:			
Viemäröinti halkaisija ≤ 300 mm		0,15 tth/jm	
Kaivojen asennus		0,05 tth/kpl	
Lattialämmityspotkitus		0,10 tth/brm2	

(Aikataulukirja 2013.)

4.1.9 Lattiapinnan tasoitus

Ontelolaattavälipohjan lattiapinnan tasoitus tehdään normaalisti pumpputa-soituksena. Tyypillisesti tasoitus hoidetaan aliurakalla, mutta tasoituksen vaatimat valmistelutyöt tehdään omilla miehillä.

Valmistelutöihin kuuluu tasoitettavan osaston siivous ja puhdistus, läpivientien- ja valurajausten tuketyöt, mahdollisten betonivalumiinien piikkaus-työt sekä seinän ja lattian rajan kittäustyöt tarvittaessa. Lattiapinnan tasoi- tuksen valmistelutöihin on arvioitu kustannuksiksi 3,5 €/m². (Paasikivi 2015.)

Tasoitepinta määräytyy ontelolaattojen kaarevuuden mukaan niin, että laa- tan korkeimmalle kohdalle tulisi jäädä vähintään 5 mm:n tasoitekerros. Laattojen pituuserot kasvattavat kaarevuuseroja, joilla on merkittävä vaiku- tus tasoitemenekkiin. Ontelolaattavälipohjan keskimääräiseksi tasoiteme- nekiksi on arvioitu 25kg/m². (Paasikivi 2015.)

4.2 Paikallavaletun välipohjan tuotantotekniikka

Paikallavaluvälipohja tehdään nimensä mukaisesti työmaalla paikan päällä. Paikallavaletun välipohjan työvaiheet ovat muottityö, raudoitus, talotek- niikka, betonointi, betonin jälkihoito ja muotin purkutyöt.

Työvaiheissa esitetyt työmenekit on poimittu Ratu-kortistosta, ellei läh- teessä toisin mainita, ja ne ovat T3-menekkejä. Samoja työmenekkejä käy- tetään hyväksi kappaleen 3.2 aikatauluissa ja luvun 5 vertailulaskelmissa. Tuotantovaiheet on pyritty kuvaamaan työmäärän kannalta, eivätkä ne ole tällä tarkkuudella esitettyinä soveltuvia työohjeiksi.

4.2.1 Muottityö

Välipohjan muottikalustona käytetään yleisesti vakiopalkit ja muottile- vytyt -järjestelmää. Vakiopalkkimuotti-järjestelmään kuuluvat teräksiset tai alumiiniset pystytuet, asennustuet, pudotuspäät sekä niiden varaan asennet- tavat puu- tai alumiinipalkit ja muottivaneri. Lisäksi muottijärjestelmän asentamisen apuna käytetään asennussauvaa.

Välipohjan muottityö aloitetaan esivalmisteluilla ja mittauksella. Aluksi mitataan holvin korkeus ja merkitään se seiniin sekä holvitukiin. Tukijalat

säädetään ennen asennusta lähelle tuentakorkeudelle. Tukijalkoihin kiinnitetään asennustuet ja pudotuspäät. (Ratu 06-3021 1991, 5.)

Holvimuotti pystytetään holvimuottisuunnitelman mukaisesti ja siihen tarvitaan normaalisti kaksi työntekijää. Karkeasti oikeaan korkoon säädetyt tukijalat siirretään ja asennetaan käyttökohteeseen, jossa ne säädetään lopulliseen tuentakorkeuteen. Tukijalat voidaan asentaa myös seinän viereen ja rakennuksen kulmiin. Kun välipohjan tapauksessa muottijärjestelmän alla on valmis betonilaatta, pystytukien alle riittää pohjapuiksi laudat. Pystytukien asentamisen jälkeen tarkistetaan vielä muotin suoruus ja korkeus sekä asennetaan tarvittavat puiset vino- ja vaakasiteet. (Ratu 0398 2012, 5.)

Pystytukien pystytyksen jälkeen asennetaan niskapalkit asennussauvan avulla pystytukiin kiinnitettyihin pudotuspäähaarukoihin. Pudotuspäähaarukoita käytetään niskapalkkien päissä ja keskellä limityskohdissa, joissa palkkien täytyy limittyä 0,5 m. Pudotuspäähaarukkaan mahtuu joko yksi tai kaksi palkkia rinnakkain. (Ramirent, Rami 20 -holvimuottijärjestelmä n.d., 6.)

Niskapalkkien asennuksen jälkeen lisätään tarvittaessa lisätuet, joiden määrä mitoitetaan muottisuunnitelmassa. Seuraavaksi asennetaan koolauspalkit, jotka tukeutuvat niskapalkkeihin. Koolauksen palkkijaon määräävät käytettävä muottilevy ja valettavan laatan paksuus. Muottilevyjen saumojen on osuttava tuelle, ettei levy petä siitä kohtaa. Muottilevyt ladotaan koolauksen varaan tiiviiksi muottipinnaksi ja kiinnitetään koolauspalkkeihin naulaamalla. (Rami 20 -holvimuottijärjestelmä n.d., 6.)

Kun muottipinta on tehty valmiiksi, siihen mitataan ja merkitään LVIS-varausten, topparilinjojen ja kaivojen paikat. Mittauksen jälkeen siihen asennetaan tarvittavat varaukset, täytelevyt, tiivistyslistat ja topparit. (Paukonen 2010, 20.) Muottipinta puhdistetaan ja öljytään. Ennen valua tarkastetaan muotin korkeusasema (Ratu 0398 2012, 12).

Työmenekit:

Aloittavat työt/siirrot nostokoneella	0,05 tth/m ²
Mittaus	0,0025 tth/m ²
Muottityö	0,2 tth/m ²

4.2.2 Raudoitus

Tutkimuksessa on käsitelty kaksi erilaista paikallavaluholvin raudoitustapaa, irtoteräksillä raudoittaminen ja rullaraudoitteella raudoittaminen. Myös kappaleen 5 kustannuslaskennassa on laskettu näillä kahdella eri raudoitustavalla välipohjan kustannukset.

Holviraudoitus irtoteräksillä

Raudoitustyössä työryhmänä käytetään usein kahta työntekijää. Ensimmäisenä pitkät irtoteräksiset katkaistaan ja taivutetaan raudoitussuunnitelmien

mukaisiin mittoihin. Seuraavaksi työtangot asennetaan muottiin korokkeiden päälle, jotka pitävät raudoituksen irti muottipinnasta ja varmistavat suojaavan betonipeitteen. (Ratu 0402 2012, 7–9, 12.)

Työtankojen päälle ladotaan ensimmäisen pääsuunnan teräkset eli alin tankokerros holvimuottiin tehtyjen merkintöjen mukaan. Alimman tankokerroksen päälle asennetaan jakotangot tai toisen pääsuunnan teräkset. Tämän jälkeen tangot sidotaan kentän ympäri jokaisesta risteyskohdasta, minkä jälkeen sidotaan joka toinen tai kolmas rivi tankojen paksuuden ja tankovälin mukaan. Sidontavaiheessa on tarkastettava, että tangot ovat suorassa. Sidontasuuntaa on hyvä vaihdella jäykkyyden lisäämiseksi. (Ratu 0402 2012, 13.)

Yläpinnan työtankoja tukevat tukipukit tai valmiit tukiansaat asennetaan työtankolinjojen kohdalle ja sidotaan noin 60–80 cm:n välein. Tukipukkien tai ansaiden varaan asennetaan yläpinnan työtangot, joihin merkitään yläpinnan raudoituksen jako. (Ratu 0402 2012, 13.)

Yläpinnan teräkset sidotaan työtankoihin merkityille kohdille, ja ne oiotaan alapinnan raudoituksen suuntaisiksi. Sidoksia tulee olla ainakin kolme tankoa kohden. Lopuksi alapinnan teräkset tuetaan vielä suojaavan betonipeitteen varmistavilla välikkeillä työtankojen väliltä. Välikkeitä laitetaan joka toisen tai kolmannen sidoksen kohdalle. Lisäksi välikkeitä asennetaan jokaisen tukipukkien alla olevaan tankoon 1–2 kappaletta. (Ratu 0402 2012, 13.)

Työmenekki:

Raudoitus 8 mm

12 tth/1000 kg

(Ratu 0402 2012.)

Holviraudoitus rullaraudoitteella

Rullaraudoituksen etuna irtoteräksillä raudoittamiseen on sen työnopeus. Tyypillisesti rullaraudoituksen yhteydessä käytetään paljon esivalmistettuja raudoitteita, jolloin paikalla koottavan raudoituksen osuus pysyy mahdollisimman alhaisena. Rullaraudoitus soveltuu parhaiten suurille vapaille kentille, jolloin saadaan mahdollisimman suuri pinta-ala raudoitettua kerralla.

Raudoitusrulla nostetaan holville mahdollisimman tarkasti avautumissuunnan mukaan, minkä näkee raudoitussuunnitelmasta. Rulla levitetään holville (kuva 14) ja tarkastetaan sen asettuminen reuna-, aukko- ja varauskohtiin niin, että suojaavan betonipeitteen kerrospaksuudet täyttyvät. Tarvittaessa tehtävä uudelleen asemointi tapahtuu sitä helpommin, mitä vähemmän rullaa on aukaistu. Rullauksen jälkeen tyypillisesti käytetyt esivalmistetut raudoitteet asennetaan ja sidotaan raudoitussuunnitelman mukaisesti. (Ratu 0402, 2012, 14.)



Kuva 14. Raudoitustyö rullaraidoiteella (Bamtec n.d.).

Raudoitusrullat räätälöidään kohteen mukaan. Laatan muodot ja aukot huomioidaan valmistuksessa, jotta työmaalla tehtävä työ olisi mahdollisimman vähäistä. Yhden maton asennus kestää noin 10 minuuttia maton koon ja muiden ominaisuuksien mukaan. (Celsa Steel Service n.d.; Bamtec n.d.)

Raudoitusmaton työmenekiksi arvioidaan 2 tth/1000 kg (Liikkanen 2009, 27). Näin ollen raudoituksen työmenekki laskisi 17 %:iin irtoraudoituksen työmenekistä. Tällä on merkittävä vaikutus runkovaiheen aikatauluun, mikäli kerroksen rakennusajasta halutaan vähentää yksi päivä. Kuitenkin pelkästään raudoituksen työmenekin pienentyminen ei riitä, vaan myös muotityön ja talotekniikatöiden työryhmiä on lisättävä, jotta luvun 3.3.2 periaatteellisesta aikataulusta saadaan yksi päivä vähennettyä.

Mattoraidoitteen hinnaksi on arvioitu noin 1,00 €/kg, mikä sisältää raudoitteen vaatiman suunnittelutyön. Tämä on noin 0,30 €/kg enemmän kuin irtoraidoitteen materiaalihinta.

4.2.3 Talotekniikka

Rakennuksen taloteknisissä töissä käytetään tyypillisesti aliurakoitsijoita. Talotekniikka jaetaan LV-, ilmanvaihto-, sähkö- ja automaatioasennuksiin, jotka pääurakoitsija teettää osa-alueisiin erikoistuneilla ammattilaisilla.

Paikallavaluholvin talotekniset asennukset tehdään samanaikaisesti holvin raudoitustyön kanssa. Ennen LVIS-asennuksia on tarkistettava holvimuotin ja hormielementtien korkeudet. Pienikin virhe korkeusasemassa voi tehdä LV-asennukset mahdottomiksi. Tyypillisesti mittamies tekee tarkastuksen ja antaa luvan LVIS-asennusten tekemiseen. Mittamies kiinnittää myös LV-putkien läpivientikappaleet holvimuottiin ja merkitsee kaivojen paikat. (Leskinen 2012, 47; Saarinen 2007, 21.)

Sähkömies asentaa alemman kerroksen kattoon tulevat kattorasiat muottilevyn pintaan, ja putkimies asentaa kaivot sekä viemäriputket paikoilleen. Kiinnitykset ja tuenta on tarkistettava huolellisesti, etteivät kaivot ja putket pääse liikkumaan tai putkiin ei pääsisi betonia valun aikana. Pesuhuoneissa ja saunoissa kallistusvalujen tekemistä varten kaivot asennetaan 30 mm holvin yläpinnan alapuolelle. Paikallisissa kallistuksissa, kuten esimerkiksi WC-tiloissa, voidaan kaivot asentaa vain 10 mm holvin yläpinnan alapuo-

lelle. Lattialämmityksen kohdalle asennetaan raudoitustöissä enemmän holvin yläpintaa tukevia tukipukkeja. Lattialämmitys asennetaan holvin yläpinnan raudoituksen päälle asennettuun ohueen raudoitusverkkoon. (Leskinen 2012, 48.) Kokonaistyöryhmät eri talotekniikan osa-alueilla ovat kaikilla 2+0.

Työmenekit:

Viemäröinti halkaisija ≤ 300 mm	0,15 tth/jm
Kaivojen asennus	0,05 tth/kpl
Kattorasioiden asennus	0,07 tth/brm ²
Sähköputkitukset	0,11 tth/jm

(Aikataulukirja 2013)

4.2.4 Betonointi

Ennen betonoinnin aloittamista tarkistetaan muotti-, raudoitus- ja talotekniikkatyöt, siirretään kalusto, työvälit ja -materiaalit työkohteeseen sekä puhdistetaan muottipinta tarvittaessa. Mittamies ottaa korot aina samasta pisteestä ja merkitsee kiinteän koron esimerkiksi hissikuiluun, josta lähdetään nousemaan ylöspäin. Jos korko annetaan useista pisteistä, korko voi karata, jolloin myös virheet lisääntyvät. Pumppaamalla tehtävään betonointiin tilataan pumppubetoniauto, josta betoni pumpataan työkohteeseen. Pumppubetoniautolle on suunniteltava pystytyspaikka. (Ratu 2012, 1, 6–7; Leskinen 2012, 50.)

Paikallavaluholvin valun suunnittelussa ja toteutuksessa on varattava riittävästi aikaa jälkihoidolle ja kuivumiselle. Rakennetta ei saa myöskään kuormittaa liian aikaisin. (Ratu 0403 2012, 10.) Betonipumppuautolla betonointiin osallistuu pumppuauton kuljettajan lisäksi kolme työntekijää. Aivan kuten ontelolaattaholvinkin juotosvalussa, yksi työntekijä on letkun päässä ohjaamassa betonin valumista, yksi on tiivistämässä betonia ja yhden työntekijän tehtävänä on pinnan tasoitus ja hierto. Mikäli valu suoritettaisiin nostoastialla käyttämällä, tarvittaisiin vielä neljäs työmies toimimaan kuoppamiehenä.

Yleensä paikallavaluholvi betonoidaan kuitenkin pumppaamalla, koska holviin tuleva betonimäärä on suuri ja pumppuautolla betonoinnin työmenekki on nostoastiabetonointia pienempi. Lisäksi pumppuautoa käyttämällä vapautetaan nosturi muihin työmaalla tarvittaviin nostoihin. Usein pumppuauton kuljettaja eli puomin ohjaaja on holvilla, mutta mikäli ohjaajan ja työkohteen välillä ei ole näköyhteyttä, käytetään radiopuhelinta. Holvin valu etenee suoraviivaisesti kaista kerrallaan toiselta laidalta toiselle laidalle. Massa lasketaan letkun päästä ja pudotuskorkeuden on hyvä olla 1–1,5 m, jotta vältetään massan erottuminen. Massa tiivistetään sauvatäryttimellä, minkä jälkeen on syytä tarkistaa kerroksen paksuus. Pinnan tasoittamiseen riittää oikolaudalla tai pitkävartisella hiertimellä tasoittaminen, koska betonin päälle tulee myöhemmin erillinen tasoituskerros. (Ratu 0403 2012, 9–10; Leskinen 2012, 51–52.)

Työmenekki (laatat, pumppu) 0,15 tth/m³

Kaatovalut

Ennen kaatovalujen tekemistä mittamies merkitsee pesuhuoneiden ja saunojen sijainnit terästapeilla. Tapit kiinnitetään huoneiden sisänurkkiin. Seuraavaksi merkkitaappien osoittamiin seinälinjoihin ja huoneistojen väliseen betoniseinän viereen tehdään korkopalkit, sillä seinien vierialueella on oltava joka kohdassa sama korko. (Leskinen 2012, 52.)

Pesuhuoneen nurkkiin asennettujen terästappien linjaan asetetaan teräslinjari ja betonipintaan painetaan kevyesti linja, joka osoittaa seinän sisäpinnan. Lattiakaadot valettuun betoniin tehdään linjarilla niin, että toinen pää on koko ajan kaivon päällä ja toinen pää kulkee merkittyä linjaa ja korkoa pitkin. (Leskinen 2012, 52.) Kaatovalut saadaan tehtyä samanaikaisesti välipohjavalun kanssa, jolloin se on kustannustehokkaampaa kuin ontelolaatatavälipohjan kaatovalut, jotka tehdään tyypillisesti erillisenä työvaiheena. (Paasikivi 2015.)

Työmenekki (laatat, pumppu)		0,15 tth/m ³	
Työsaavutus (laatat, pumppu)		120 m ³ /tv	
Suoritemääräkerroin	400 = 1	800 = 0,95	200 = 1,05

(Aikataulukirja 2013.)

4.2.5 Jälkihoito

Betonin kutistuminen aiheuttaa rakenteessa halkeilua, mikä on estettävä. On olemassa myöhäis- ja varhaiskutistumaa, joista ensimmäinen estetään raudoituksen avulla ja jälkimmäinen jälkihoidolla. Rakenteen varhaiskutistumat tapahtuvat 24 tunnin aikana valun aloittamisesta, minkä vuoksi on tärkeää aloittaa jälkihoito heti valun jälkeen. (Betonin jälkihoito n.d., 1.)

”Jälkihoitoaineen levitys on tehokkain ja käytännöllisin jälkihoitokeino, kun se tehdään oikein” (Betonin jälkihoito n.d., 2.)

Holvin valamisen jälkeen betonin pintaan ruiskutetaan jälkihoitoainetta, minkä tarkoituksena on muodostaa betonin pinnalle veden haihtumisen estävä kalvo. Ensimmäisenä ruiskutetaan varhaisjälkihoitoaine heti betonipinnan tasauksen jälkeen. Varsinainen jälkihoitoaine ruiskutetaan, kun betonin pinta on hierretty. Jälkihoitoainetta on ruiskutettava riittävästi, jotta betonin pintaan muodostuvasta kalvosta tulee yhtenäinen. Jälkihoitoaineen levitykseen voidaan käyttää esimerkiksi moottorisoitua reppuruiskua. (Betonin jälkihoito n.d., 2.)

4.2.6 Muotin purkutyöt

Purkutyöt aloitetaan, kun betoni on saavuttanut suunnitelmien mukaisen purkulujuuden. Välipohjan muottijärjestelmän purku aloitetaan poistamalla niskapalkkien välituet, jotka siirretään niskapalkkien kohdalta muottivälikorien kohdalle tukemaan holvia. Kaikkia tukia ei voida poistaa yhtä aikaa,

vaan tuennan on oltava koko ajan paikallaan. Muotti irrotetaan valetusta betonipinnasta pudottamalla pudotuspäähaarukka pikapudotustoiminnalla, jolloin holvimuotti laskeutuu tuen kohdalla noin kuusi senttimetriä alaspäin. Laskemisen jälkeen koolauspalkit käännetään kyljelleen ja työnnetään yhteen asennussauvan avulla. Muottilevyt poistetaan, minkä jälkeen voidaan myös koolauspalkit poistaa. Viimeiseksi nostetaan niskapalkit ja poistetaan osa pystytuista. (Rami 20 -holvimuottijärjestelmä n.d., 7.) Tukijalkoja jätetään vielä paikalleen tukemaan holvia, koska rakenteen nimellislujuutta ei vielä muottien purkuvaiheessa saavuteta. Purkamisen yhteydessä muotit puhdistetaan ja vialliset poistetaan käytöstä. Puhdistuksen jälkeen muotit siirretään välivarastoon tai seuraavaan käyttökohteeseen. (Leskinen 2012, 47.) Työmenekiksi muotipurulle on määritelty 0,25 tth/m². (Ratu 0398 2012, 4.)

4.2.7 Lattiapinnan tasoitus

Paikallavaluvälipohjan lattiapinnan tasoitustarve riippuu valutuloksesta, ja se voidaan tehdä pumpputasoituksena tai osittaistasoituksena. Linjarilla tasoitettu betonipinta vaatii käytännössä pumpputasoitteen, kun hierretyllä betonipinnalla riittää osittainen tasoitus käsin tehtynä. Käytännössä holvivalun yhteydessä tiedetään, käytetäänkö pumpputasoitusta, jolloin pinnan saa jättää hiertämättä. Vaihtoehtoisesti pyritään tekemään holvivalussa jo mahdollisimman tasaista ja laadukasta pintaa, jota ei tarvitse tasoittaa kokonaan. Työmenekki on 0,06 tth/m² sisältäen itsetasoittuvan tasoitteen levityksen ja hionnan.

Lattiapinnan tasoitustöissä voidaan säästää verrattuna ontelolaattavälipohjaan, mikäli lattiabetonointi tasoitetaan ja hierretään huolellisesti. Luvun 5 kustannusvertailussa on laskettu välipohjarakenteen kokonaiskustannukset sekä 20 mm:ä paksulla pumpputasoituksella että osittaistasoituksella.

4.3 Kuivumisajat ja päällystettävyyden raja-arvot

Kerrostaloasuntojen tyypillisimpiä lattianpäällysteitä ovat parketinalusmateriaalin päälle asennettavat laminaatit ja parketit sekä suoraan betonipinnalle liimattavat joustovinyylimatot. Kyseisillä lattianpäällysteillä betonin suhteellinen kosteus saa olla enintään 85 %. (Upofloor n.d.) Päällystettävyyden raja-arvot vaihtelevat tuotteesta ja valmistajasta riippuen noin viisi prosenttiyksikköä. Rakenteen kuivumisajat ovat voimakkaasti olosuhteista riippuvaisia, mikä on nähtävissä kuvista 13 ja 14 (Merikallio 2002, 32).

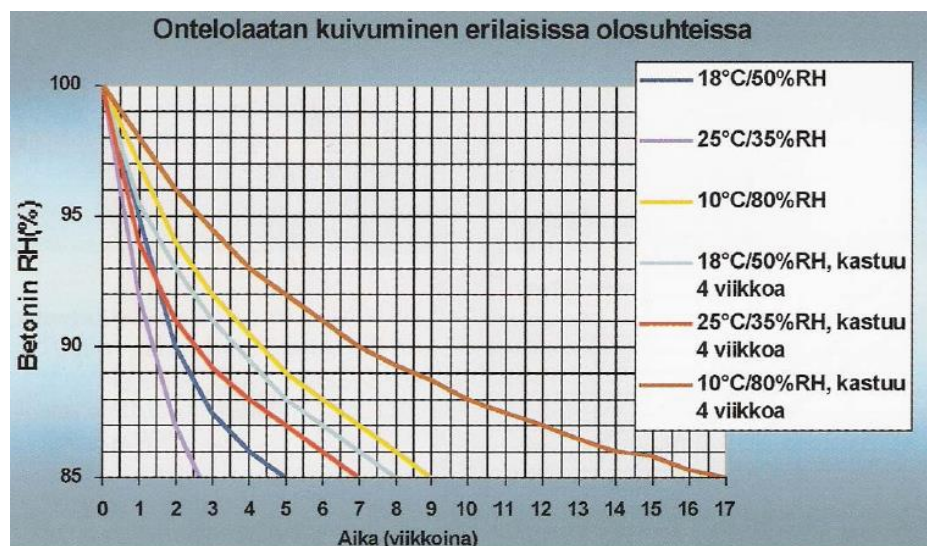
Yleisimmille betonirakenteille voidaan laatia kustannusaika-arviot, kun rakennetyyppi ja tavoitekosteus ovat tiedossa. Työmaalla on kuitenkin aina mitattava rakenteen suhteellinen kosteus ennen päällystystä.

4.3.1 Ontelolaattavälipohjan kuivuminen

Ontelolaattavälipohjan kuivumisaika koostuu ontelolaataston ja pintatasoitteen kuivumisen yhteiskestosta. Ontelolaatat valmistetaan alhaisen vesiseimenttisuhteen betonista, mikä tarkoittaa nopeampaa kuivumista tavalliseen

lattiabetoniin verrattuna. Ontelolaattojen suhteellisen kosteuden asennus-
hetkellä määrittää niiden valmistusajankohta. Tyypillisesti ontelolaatat tuo-
daan työmaalle n. viikko valmistuksen jälkeen, jolloin asennushetkellä ni-
den suhteellinen kosteus olisi n. 95 % (Kuva 15), jos ne eivät ole päässeet
kastumaan välillä. Ontelolaatasto kuivuu 85 %:n suhteelliseen kosteuteen
huonoissakin olosuhteissa n. 10 viikossa, mutta myös tasoitteen kuivumis-
aika tulee huomioida. Jokainen 5 mm:n lattiatasotekerros pidentää kuivu-
misaikaa noin viikolla. (Merikallio 2002, 49.)

Ontelolaatan kuivumisprosessissa ja ulkoisten olosuhteiden vaikutuksesta
onteloihin jäänyt vesi tulee saada pois onteloista. Ontelolaattojen asennuk-
sen jälkeen tehtaalla tehdyt vesireiät avataan, jotta vesi pääsee ontelosta
pois ja rakenne kuivuu nopeammin. Mikäli työmaalla havaitaan ontelolaat-
tojen sisältävän edelleen vettä, voidaan niihin porata lisää reikiä veden ulos-
saamiseksi.



Kuva 15. Ontelolaattavälipohjan kuivuminen eri olosuhteissa (Merikallio 2002, 48).

Kuivumisaika-arvio

Tavoitekosteus 85 %, ilman lämpötila 18 °C ja suhteellinen kosteus 50 %.

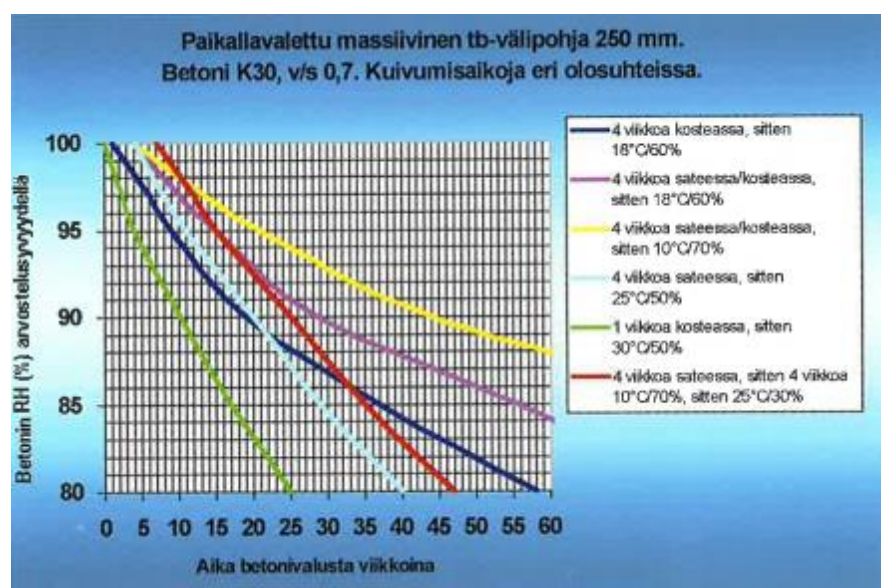
Ontelolaatan suhteellisen kosteuden oletetaan olevan 95 % asennettaessa. Kuvan 15 taulukosta huomataan ontelolaatan kuivuvan em. olosuhteilla asennusvaiheen suhteellisesta kosteudesta 85 %:n suhteelliseen kosteuteen neljässä viikossa. Tähän lisätään ontelolaatan päälle valettava 20 mm:n pintatasoite, mikä lisää kuivumisaikaa viikon/5 mm, eli yhteensä neljä viikkoa. Koko ontelolaattavälipohjarakenteen kuivumisaika olisi siis yhteensä kahdeksan viikkoa asennuksesta.

4.3.2 Paikallavaluvälipohjan kuivuminen

Betonin kuivuminen on riippuvainen monesta eri tekijästä, kuten esimerkiksi käytettävän betonin ominaisuuksista, rakenneratkaisuista ja kuivumisolosuhteista. Useimmissa rakennuskohteissa betonirakenteen kuivumi-

nen tahdistaa sisävalmistusvaihetta ja vaikuttaa siten koko rakentamisaika-
tauluun. Näin ollen betonirakenteen kuivumiselle asetetut vaatimukset on
otettava ajoissa huomioon. (Merikallio 2002, 32.)

Normaalisti kovettuvan ja vesisementtisuhteeltaan noin 0,7 olevan betonin
käyttö välipohjassa on kuivumisaikoja ajatellen lähes mahdotonta. Kuvasta
16 nähdään, että neljä viikkoa kosteudelle alttiina olevalla ja sen jälkeen
+18 °C / RH 60 % -olosuhteissa kuivuneella 250 mm paksulla rakenteella
kestää noin 37 viikkoa kuivua 85 %:n suhteelliseen kosteuteen. Tämän
vuoksi onkin perusteltua käyttää vesisementtisuhteeltaan noin 0,5 olevaa
betonimassaa, jonka ansiosta kuivumisaika käytännössä puolittuu. Kuivu-
misaikaa voidaan vähentää vielä imubetonointimenetelmällä, jossa sitoutu-
matonta vettä poistetaan imumatoilla vastavaletulta betonipinnalta. (Vuori-
nen, Mannonen & Petrow 2005, 91.)

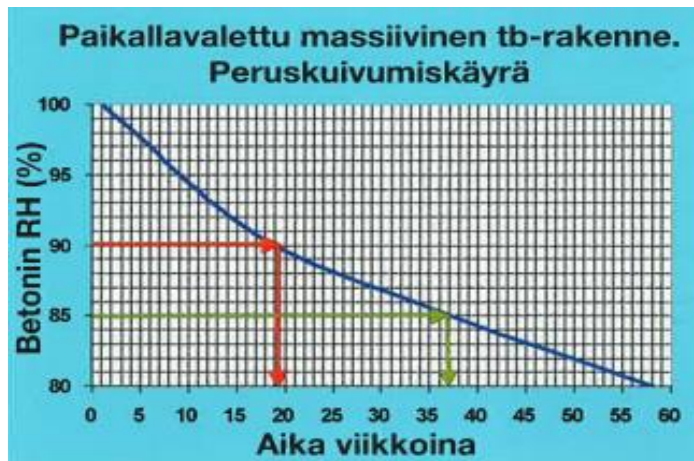


Kuva 16. Paikallavaluvälipohjan kuivuminen eri olosuhteissa (Merikallio 2002, 42).

Kuivumisaika-arvio

Tavoitekosteus 85 %, ilman lämpötilä 18 °C ja suhteellinen kosteus 50 %.

Kohteen paikallavaletun rakenteen (240 mm:n betoni + 20 mm:n pintata-
soite) kuivumisaika-arvio lasketaan peruskuivumiskäyrän (Kuva 17) ja be-
tonin ominaisuus- ja kuivumisolosuhdekertoimien avulla (Kuva 18). Las-
kennassa rakenteen paksuuden määrittämää kerrointa ei suoraan voida ottaa
taulukosta, joten valitaan kertoimeksi arvo 230 mm ja 250 mm paksujen
rakenteiden kertoimien väliltä. Paikallavaletun rakenteen kuivumisaikaksi
saatiin em. olosuhteilla 18,2 viikkoa (Taulukko 1).



Kuva 17. Paikallavaletun massiivilaatan peruskuivumiskäyrä (Merikallio 2002, 41).

Vesisideainesuhde (v/s)	Kerroin
0,7	1,0
0,6	0,7
0,5	0,5
0,4	0,2

Rakenteen paksuus (mm)	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
200	0,7	0,7	0,7	0,8
230	0,9	0,9	0,9	0,9
250	1,0	1,0	1,0	1,0
280	1,3	1,1	1,1	1,1
300	1,6	1,4	1,3	1,2

Kuivumis-suunta	Vesisideainesuhde (v/s)			
	0,7	0,6	0,5	0,4
Kahteen suuntaan	1,0	1,0	1,0	1,0
Yhteen suuntaan	3,2	2,6	2,3	2,0

Olosuhteet				
RH (%)	Lämpötila (°C)			
	10	18	25	30
35	1,2	0,8	0,7	0,6
50	1,2	0,9	0,7	0,6
60	1,3	1,0	0,8	0,7
70	1,4	1,1	0,8	0,7
80	1,7	1,2	1,0	0,9

Kastuminen	Vesisideainesuhde			
	0,4	0,5	0,6	0,7
Kuivassa	1,0	0,9	0,9	0,8
kosteassa yli 2 viikkoa	1,0	1,0	1,0	1,0
kastunut yli 2 viikkoa	1,1	1,2	1,3	1,5

Kuva 18. Paikallavaletun välipohjarakenteen betonin ominaisuus- ja kuivumisolosuhtekertoimet (Merikallio 2002, 41).

Taulukko 1. Paikallavalurakenteen kuivumisaika.

Peruskuivumisaika (vk)		37
Ominaisuuskerroin	Vesisideainesuhde 0,5	0,5
Ominaisuuskerroin	Rakenteen paksuus 240 mm	0,95
Ominaisuuskerroin	Kuivuminen kahteen suuntaan	1
Olosuhdekerroin	18 °C / RH 50 %	0,9
Olosuhdekerroin	Kuivassa	0,9
Kuivumisaika (vk)	Massiivilaatta 240 mm	14,2
	Pintatasoite 20 mm	4
	Yhteensä	18,2

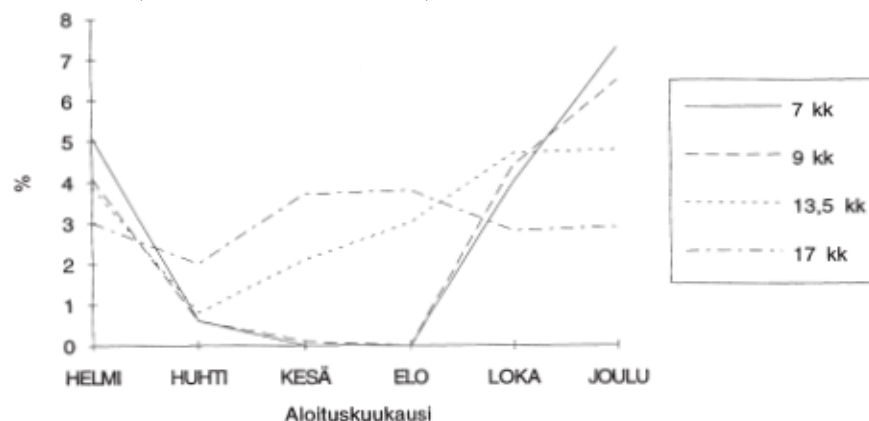
4.4 Talvirakentaminen

Talvikaudeksi lasketaan se aika vuodesta, jolloin vuorokautinen keskilämpötila on nollan alapuolella. Etelä-Suomessa talven pituus on keskimäärin 140 vuorokautta, ja kun tähän lisätään satunnaiset kylmät jaksot syksyisin ja keväisin, koskevat talvityöjärjestelyt melkein puolta vuotuisesta rakennusajasta. (Koskenvesa n.d., 697.)

Talviaikana tapahtuva rakentaminen on lähes poikkeuksetta tuotannollisesti tehottomampaa ja taloudellisesti kannattamattomampaa kuin kesäaikana rakentaminen. Talvella tarvitaan enemmän koneita ja kalustoa ja työmaan energiankulutus on suurempi kuin muina vuodenaikoina. (Koskenvesa n.d., 697.)

4.4.1 Hankesuunnittelu

Talvi tulee ottaa huomioon jo hankesuunnitteluvaiheessa, jolloin voidaan talven vaikutusten ja lisäkustannusten minimoimiseksi selvittää ajoitustekijät. Talven aiheuttamiin lisäkustannuksiin vaikuttavat hankkeen ajoitus, laajuus, rakennusaika ja suunnitelmat. Talvikustannusten osuus kokonaiskustannuksista on sitä pienempi, mitä laajempi ja pitkäkestoisempi hanke on kyseessä. Teknillisen korkeakoulun rakentamistalouden laboratorioissa kehitetyn laskentamallin avulla tehdystä kaaviosta (Kuva 19) selviää, kuinka lyhyempikestoisissa kohteissa työmenekki vaihtelee rajuimmin kesän ja talven välillä. (Koskenvesa n.d., 698.)

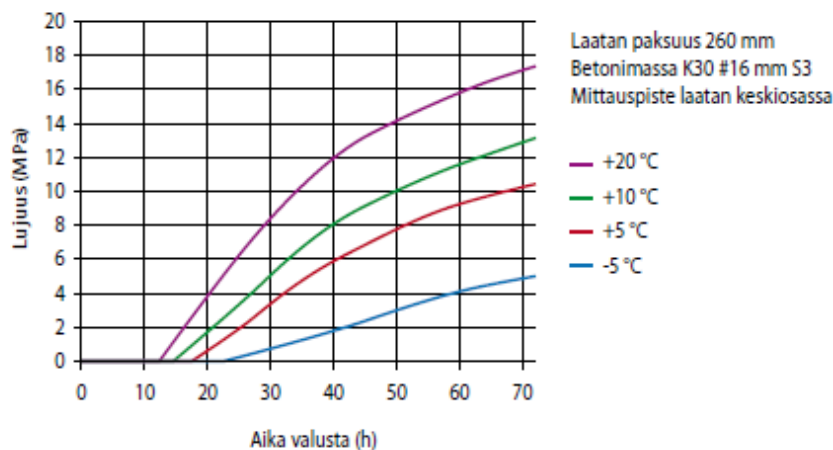


Kuva 19. Laajuudeltaan erilaisten kohteiden työmenekin vaihtelu kesäarvoon nähden prosentteina (Koskenvesa n.d., 699).

4.4.2 Talvibetonointi

Useilla materiaaleilla on lämpötilaraja, minkä alapuolella niitä ei voi käyttää. Työtilan ja alustan lämpötilalle ovat herkkiä mm. betonointityöt. Betonointia alle +5 °C:n kutsutaan talvibetonoinniksi. Kylmyys hidastaa betonin sitoutumis- ja kovettumisreaktiota (kuva 20), ja kovettumisvaiheessa oleva betonirakenne voi vaurioitua, mikäli se altistuu pakkaselle. Tästä syystä talvibetonoinnissa on otettava käyttöön tilanteeseen sovellettuja menetelmiä. (Koskenvesa n.d., 702, 710.)

Useimmissa betonirakenteissa riittävän nopea kovettuminen ja lujuudenkehitys vaativat betonilta + 20 °C:n tai korkeampaa lämpötilaa. Lämpötila ei kuitenkaan saa nousta yli +60 °C:n, jolloin lujuudenkehitys kärsii.

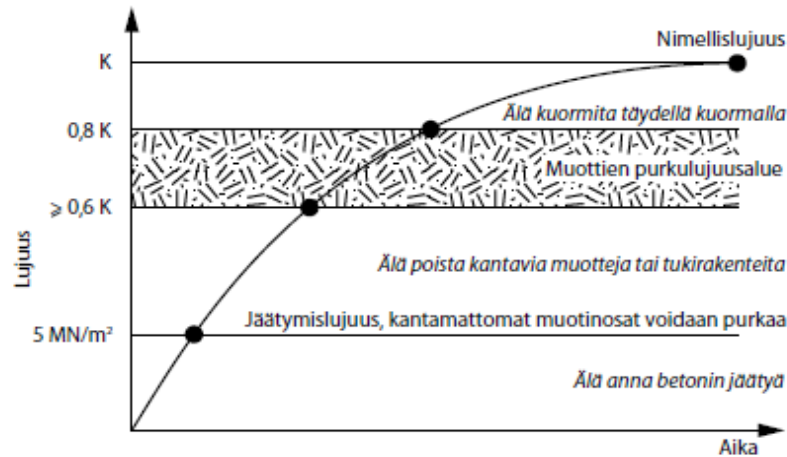


Kuva 20. Lämpötilan vaikutus välipohjan lujuudenkehitykseen (Talvibetonointi 2013, 16).

Kaikissa olosuhteissa on varmistettava, että valettu betonirakenne saavuttaa sille suunnitellun rakenteellisen lujuuden. Kylmissä olosuhteissa betonointiin liittyy kolme tärkeää lujuuden tarkasteluhetkeä (Kuva 21):

- jäätymislajuuden saavuttaminen
- muottien purkulajuuden saavuttaminen
- nimellislujuuden saavuttaminen.

Kovettuvan betonin lujuuden tulee olla ennen jäätymiselle altistumista niin suuri, että se kestää veden jäätymisestä aiheutuvat rakenteen sisäiset rasitukset. Jäätymislajuusrajan alapuolella jäätyessään betoni vaurioituu pysyvästi. Jäätymislajuus on kaikilla lujuusluokilla vähintään 5 MN/m².



Kuva 21. Betonin kovettumisen vaiheet kylmissä olosuhteissa (Talvibetonointi 2013, 17).

Talvibetonoinnissa käytetyn betonin valinnassa on noudatettava rakenne-suunnitelmia. Ennen valua on tarkastettava sää- ja työskentelyolosuhteet, ja betonityönjohto voi yhdessä rakennesuunnittelijan kanssa vielä vaihtaa käytettävää betonilaatua, mikäli olosuhteet niin vaativat. Erilaisia betonilaatua on monia, ja oikean laadun valinnassa auttavat betoniasiantuntija ja betonin valintaopas. (Talvibetonointi 2013, 19.)

Talvibetonoinnissa lujuudenkehitystä voidaan nopeuttaa seuraavin menetelmin:

- Käytetään nopeasti kovettuvaa betonilaatua.
- Korotetaan lujuusluokkaa eli nostetaan betonin suhteituslujuutta.
- Nostetaan betonimassan lämpötilaa.
- Lämmitetään valettua rakennetta.
- Lämmitetään liittyvät rakenteet (kylmäsiltojen poisto).
- Eristetään/suojataan valu tehokkaasti pakkaselta.

(Talvibetonointi 2013, 24.)

Riippumatta lämmitystavasta ja muottitekniikasta talvibetonointi vaatii aina rakenteiden suojaamista. Suojauksen tarkoitus on varmistaa betonirakenteen lujuudenkehitys sekä estää lumen ja jään kertyminen valun päälle. Talvibetonoinnissa suojaudutaan tyypillisesti kylmältä, tuulelta ja lumisateelta. Suojausmenetelmät valitaan sen mukaan, miltä halutaan suojautua. Huomiota on kiinnitettävä suojausten tiivyyteen ja paikalla pysyvyyteen. (Talvibetonointi 2013, 36.)

4.4.3 Talvikustannusten määrittäminen

Talvikustannusten määrittämiseen esimerkkikohteessa on valittu rakennusliikkeen tuotannossa normaalisti käytettävät toimittajat ja rakennusmenetelmät. Työmenekin kasvu on laskettu Ratun ilmoittamilla talvityöhaitta- ja lisäprosentteilla sekä esimerkkikohteen työnjohdon kanssa määrittäen. Vertailulaskennassa rungon pystytykseen aikataulutetaan 2 kk, joista toisen kuukauden keskilämpötilaksi oletetaan noin 0...-2,5 °C ja toisen -12,5...

-17,5 °C. Molempiin menetelmiin on valittu kohteeseen sopiva talvikalusto, ja kalustokustannusten lisäksi lasketaan talven aiheuttaman lisäenergian tarve.

Talvirakentamisen resurssitarvetta nostaa:

- kokonaistyömenekin kasvu
- talvesta johtuvat lisätyöt
- materiaalihukat
- lisääntynyt energiatarve
- rakennusajan piteneminen.

(Koskenvesa n.d., 698)

Työ- ja lisämenekkitiedot

Talven aiheuttama työmenekin kasvu voidaan laskea Ratu C8-0377 -kor-tissa esitetyillä yksittäisten työläjien talvityöhaitoilla ja lisäprosentilla (Taulukko 2).

Taulukko 2. Talvitöiden haitta- ja lisäprosentit (Ratu C8 0377 2010).

Talo 90 Nro	Työläji Nimi	Töiden talvityöhaitta- ja lisäprosentit (%)			
		Lämpötilaluokat			
		0...-2,5	-2,5...-7,5	-7,5...-12,5	alle -12,5
1	Maarakennustyöt				
21	Muottityö				
	lautamuottityö	7	10	15	20
	levymuottityö	7	10	15	20
	kasettimuottityö	7	10	15	20
	suurmuottityö	3	5	10	20
	pöytämuottityö	3	5	10	15
	kulmamuottityö	3	5	10	15
	erikoismuottityö	7	10	15	20
	muottien purku ja puhdistus	7	10	15	20
22	Raudoitus	7	15	25	35
23	Betonointi				
	nostoastiabetonointi				
	- anturat	15	15	40	50
	- seinät ja pilarit	15	15	40	50
	- laatat ja palkit	10	10	35	45
	pumppubetonointi				
	- anturat	15	40	50	60
	- seinät ja pilarit	15	30	40	50
	- laatat ja palkit	15	40	50	60
25	Betonielementtityö				
	laattaelementti	10	20	30	40
	ulkoseinäelementti	10	20	30	40
	kappale-elementti	7	15	25	35
	elementtien jälkityöt	-	5	25	35
	kevytbetonielementti	7	15	25	35

Ratun ilmoittamalla talven työhaitta- ja lisäprosentilla laskettuna esimerkiksi ontelolaattojen välipohjarakenteiden suurimpien työvaiheiden työmenekki kasvaisi ontelolaatoilla rakennettaessa 8,8 %, mikäli talven lämpötila olisi keskimäärin 0...-2,5 °C ja 32,7 %, mikäli lämpötila rakennettaessa olisi alle -12,5°C. Talviaikana paikallavalettuna rakennettävien välipohjien työmenekki kasvaisi 7,4 % lämpötilan ollessa keskimäärin 0...-2,5°C ja 25,5 %, mikäli lämpötila rakennettaessa olisi alle -12,5°C. (Liite 1) Laskelmassa otettiin huomioon muotti-, raudoitus-, betonointi- ja elementtityöt. Talotekniikkatöiden työmenekin kasvua talviaikana ei ole tutkimuksessa laskettu, koska sen ei oleteta muuttuvan suuresti.

Lisätyömenekki, ontelolaattavälipohja:

1. kuukausi 0...-2,5 °C: 2.–4. kerrosten lattioiden rakentaminen
2. kerros = 60 tth–56 tth = 4 tth
3. kerros = 81 tth–75 tth = 6 tth
4. kerros = 81 tth–75 tth = 6 tth

2. kuukausi -12,5...-17,5 °C: 5. ja 7. kerroksen lattioiden rakentaminen
5. kerros = 100 tth–75 tth = 25 tth
7. kerros = 73 tth–55 tth = 18 tth

Yhteensä = (4+6+6+25+18) tth = 59 tth

Ylimääräisen työmenekin kustannus = 59 tth x 30 €/tth = 1 770 €

Lisätyömenekki, paikallavalettu välipohja:

1. kuukausi 0...-2,5 °C: 2.–4. kerrosten lattioiden rakentaminen:
2. kerros = 148 tth–137 tth = 11 tth
3. kerros = 199 tth–185 tth = 14 tth
4. kerros = 199 tth–185 tth = 14 tth

2. kuukausi -12,5...-17,5°C: 5. ja 7. kerroksen lattioiden rakentaminen
5. kerros = 231 tth–185 tth = 46 tth
7. kerros = 169 tth–135 tth = 34 tth

Yhteensä = (11+14+14+46+34) tth = 119 tth

Ylimääräisen työmenekin kustannus = 119 tth x 30 €/tth = 3 570 €

Lämpösuojaustyön työmenekiksi on määritelty 0,02 tth/m². Lämmityksen ja kuivauksen työmenekki määritetään rakennuksen brutto-alan mukaan, joka on kohteessa 2 537 bm². Tällöin lämmitys- ja kuivaustyömenekiksi määräytyy 70 tth/talvikk, mikä tarkoittaa 3,5tth/tv. Lumi- ja jäätöiden työmenekki määräytyy sataneen lumikerroksen paksuuden mukaan. Vertailussa on oletettu, että lunta sataa noin 50 mm yhden kerroksen työn aikana, ja tällöin lumi- ja jäätyömenekiksi määräytyy 0,01 tth/m², mikä tarkoittaa n. 0,5tth/tv. (Ratu C8-0377 2010, 7.)

Lämpösuojaustyömenekki:	1404 m ² x 0,02 tth/m ² = 28 tth
Lämmitys- ja kuivaustyömenekki:	2 kk x 70 tth/kk = 140 tth
Lumi- ja jäätyömenekki:	1404 m ² x 0,01 tth/m ² = 14 tth
Ylimääräisen työmenekin kustannus:	182 tth x 30 €/tth = 5 460 €

Materiaalin lisäkustannukset

Talviaikana materiaalihukat ovat lähes poikkeuksetta suurempia kuin kesäaikana, mutta niiden kustannusvaikutuksia on vaikea arvioida. Tutkimuksessa keskitytään talven aiheuttaman materiaalisän osalta vain suurimpaan yksittäiseen eroja aiheuttavaan tekijään, betonimassan materiaalisään.

Betonitoimituksista peritään talven ajalta runkoaineen lämmityslisä, minkä lisäksi betonimassalta vaaditaan parempia ominaisuuksia. Talvibetonointi edellyttää nopeammin kovettuvia betonilaatuja. Lisäksi vaikeasti lämmitettäviä saumoja voidaan betonoida pakkasbetonilla, jonka lujuuden kehitys jatkuu aina 15 °C:seen saakka. Paikallavaluholvin talvibetonoinnissa käytetään tyypillisesti nopeasti kovettuvaa betonilaatua. Mikäli rakenteen kunollinen lämmitys ja eristys ovat vaikeita, voidaan betonimassa tilata lämmitettynä 30 °C:seen eli ns. kuumabetonina.

Runkoaineen lämmityslisä ajalta 1.11.–30.4.	2,72 €/m ³
Kuumabetonilisä, toimituslämpötila 35 °C (± 5 °C)	12,40 €/m ³
Nopeasti kovettuvan betonin lisä	18,25 €/m ³
Pakkasbetonin lisä verrattuna saumausbetoniin	120,09 €/m ³

(Jatke Uusimaa Oy:n tietokanta n.d.)

Laskennassa on oletettu, että juotosvalussa pakkasbetonia ei tarvitse käyttää, vaan nopeasti kovettuva betonimassa riittää, kun riittävä lämmitys ja rakenteen suojaus varmistetaan. Betonin ei tarvitse myöskään olla lämmitettyä ko. kohteessa. Kohteessa tutkimuksenalainen rakenne sisältää ontelolaattatapauksessa 62 m³ saumausbetonia ja paikallavalutapauksessa 337 m³ C25/30-betonia (Rasitusluokka XC1). Molempien rakenteiden betoniin on laskettu kuljetuksen lämmityslisä ja nopeasti kovettuvan betonin lisähinta.

Esimerkkikohteen betonin talvilisät:

OL:n juotosvalun betonitalvilisä:
62 m³ x (2,72 + 18,25) €/m³ = 1 296 €

PV-välipohjan betonitalvilisä:
337 m³ x (2,72 + 18,25) €/m³ = 7 066 €

Talvikalusto

Talvityökaluston tarve riippuu työmaan olosuhteista, rakennusvaiheesta ja työmaan järjestelyistä. Kaluston valinta vaikuttaa työmaan energiantarpeeseen. Sääsuojien käyttö vähentää lumi- ja jäätöiden määrää ja lämmityksen tarvetta.

Erillistä talvityökalustoa tarvitsevia talvilisätyötehtäviä ovat mm.

- lumi- ja jäätyöt
 - roudan rikkominen ja sulatus
 - lämpösuojaus
 - lämmitys ja kuivaus.
- (Ratu C8-0377 2010, 5.)

Välipohjan alempaan kerrokseen järjestetään kuumailmalämmitys pitämään suuren paikallavalun tai ontelolaataston juotosvalun lämpimänä. Lämmityksen energianlähteeksi käytetään nestekaasua. Jokaiseen alemmassa kerroksessa olevaan asuntoon järjestetään yksi lämmitin. Lisäksi yläpuoliset valurakenteet on peitettävä suojapeitteellä. Ennen betonointia on

varmistettava, että muotit ja raudoitus on puhtaana lumesta ja jäädästä. Mikäli muotit ja raudoitus eivät ole sulaneet lämmityksestä ja suojauksesta, ne voidaan puhdistaa höyrypuhaltimella.

Talvi- ja kesäajan kustannusvertailuun on valittu samat lämmittimet ja suojapeitteet molemmille menetelmille. Lämmittämiä lasketaan seitsemän kappaletta, koska huoneistoja on kerroksessa kuusi ja yksi lämmitin on varalla, mikäli jokin lämmitin menee rikki. Suojapeitteitä ostetaan omaksi noin 340 m².

Lämmittimien vuokra = 7 x 3,9 €/tv x 40 tv = 1 092 €
Suojapeitteet ja kiinnikkeet omaksi ostettuina = 2 832 €

Energiatarve

Talviaikana työmaan energian kulutus kasvaa, ja tästä aiheutuneet talvilisäkustannukset on laskettava kustannuslaskennassa. Betonivalujen- ja työmaarakennusten lämmittäminen, lumen ja jään sulatus sekä valaistus ja koneiden käyttö vievät energiaa, jotka lasketaan talvilisäkustannuksiin. (Ratu C8-0377 2010, 4.) Tutkimuksessa keskityttiin suurimpaan yksittäiseen lisäenergian tarpeeseen, rakenteen lämmitykseen.

Betonivalujen lämmitykseen valittiin tutkimuksessa nestekaasulla toimivat kuumailmapuhaltimet. Nestekaasua on laskettu menevän n. 2 500 kg viiden kerroksen lämmitykseen kahden talvikuukauden aikana. Kustannuksiksi tästä tulee 3 248 € (Liite 2).

4.4.4 Vaikutukset aikatauluun

Pistekerrostaloa rakennettaessa kerroksen välipohjan pinta-ala on suhteellisen pieni, jolloin runkovaiheessa kerroksen työvaiheet pyritään mahdollistamaan mahdollisimman lyhyelle ajalle. Jotkut pyrkivät myös talviaikana aikataulutamaan kerroksen pystytyksen menetelmästä riippumatta viikkoon, jolloin valupäivä saataisiin järjestettyä aina perjantaille. Talven aiheuttamien lisätyömenekkien takia tämä voi tarkoittaa normaalia kahdeksan tunnin työpäivää pidempiä päiviä. Kuitenkin kerroksen työvaiheet voidaan aikatauluttaa eri tavoin kohteen, rakennusmenetelmän ja projektin johtajien mukaan. Talviaikana on usein syytä aikatauluttaa kerroksen työvaiheille noin yksi työpäivä enemmän kuin kesäaikana.

Rakennusajan kasvaessa myös kaluston vuokraus- ja työmaan pyörittämiskustannukset nousevat kohteessa. Yksi lisäpäivä rakennusaikaan vaikuttaa kustannuksiin talven aikana 1252 €/pv. Kulut on laskettu seuraavasti:

7x kuumailmalämmitin	27 €/pv
Nestekaasusäiliö 2500 kg	14 €/pv
Nosturi	776 €/pv
Työmaakopit	115 €/pv
Sähkölasku	20 €/pv
Työnjohto	300 €/pv

5 KUSTANNUSLASKENTA

Kappaleen kustannuslaskenta perustuu opinnäytetyön kohdetyömaahan, As Oy Espoon Magneetikatu 8:aan. Laskennan avulla on selvitetty, mitä kyseisen työmaan välipohjarakenteen aiheuttamat kustannukset olisivat kokonaisuudessaan kahdella eri rakenteella niin kesä- että talviaikana. Paikallavaletun välipohjan tapauksesta on selvitetty raudoitustekniikan vaikutus kustannuksiin laskemalla sekä irtoraudoituksen että mattoraudoituksen kustannuserot. Lisäksi on laskettu erikseen paikallavaletun välipohjarakenteen kustannukset osittaispintatasoituksella 20 mm:n pintatasoitukseen sijaan.

5.1 Kustannuslaskennan vaiheet

Kustannuslaskijan lähtötiedot koostuvat määräluettelosta, jonka tyypillisesti laskee määrälaskentatoimisto. Kun kohteen rakenteiden määrät ovat selvillä, tehdään ennakkotarjouskyselyt urakoitsijoille ja tavarantoimittajille. Tarjouspyynnön saaneet urakoitsijat ja tavarantoimittajat perustavat tarjouksensa huolella tehtyyn tarjouspyyntöön. Rakenteiden työn, materiaalin ja kaluston hinnoittelussa käytetään hyväksi yrityksen toteumista saatuja jälkilaskentatietoja. Kun rakenteista on saatu hinta, tehdään yhteenveto koko kohteesta. Urakkalaskenta-aika on esimerkkikohteen tapaisella hankkeella noin kuukausi. (Pelkonen 2015.)

5.2 Työn kustannukset

Ontelolaattavälipohjan työn kustannuksiin on laskettu tuketöiden, ontelolaatta-asennuksen, kannakepalkki-asennuksen, raudoituksen, juotosvalun ja jälkityön työkuukustannukset sekä pintatasoitetyöt.

Paikallavaletun välipohjan työn kustannuksiin laskettiin muottityön, raudoituksen, betonoinnin ja jälkitöiden sekä pintatasoitetöiden kustannukset.

As Oy Espoon Magneetikadun LVIA-urakoitsija arvioi, että urakkahinta nousisi välipohjarakenteen vesi- ja viemäritöiden osalta n. 10 %, mikäli välipohjat vaihdettaisiin ontelolaatoista paikallavaluvälipohjiin. Hinnan nousu perustuu työn hidastuvuuteen, kun hajoitukset joudutaan tekemään raudoitustyön yhteydessä sekä materiaalin kustannuslisään kannakkeiden osalta. (Taipale 2015.) Välipohjan vesi- ja viemäritöiden osuudeksi on laskettu 10 % koko kohteen vesi- ja viemäritöistä. Edellä mainittu LVIA-kustannuslisä on otettu huomioon paikallavaluvälipohjan laskelmissa. Sähköurakointikustannukset on arvioitu samansuuruisiksi molemmilla menetelmillä ja laskelmiin on arvioitu välipohjarakenteen sähköurakan kustannuksiksi 10 % koko kohteen sähköurakoinnista.

Jatke Uusimaa Oy käyttää työvaiheiden toteutuksessa aliurakoitsijoita, joiden kanssa tehdyt aliurakkasopimukset sisältävät usein tehtävissä tarvittavia työvälineitä ja kalustoa. Työhön lasketut kustannukset sisältävät näin ollen hieman kalustokustannuksia. Kappaleessa 4.4.3 lasketut talven aiheuttamat lisätyömenekit on laskettu mukaan talvitoteutukseen.

5.3 Materiaalin kustannukset

Ontelolaattavälipohjan materiaalikustannuksiin on laskettu ontelolaatat, teräksiset ontelolaattojen kannakepalkit, juotosvaluissa käytettävä betoni, raudoitusteräs ja tuketöissä tarvittava puutavara.

Paikallavaletun välipohjan materiaalikustannuksiin on laskettu raudoitusteräs, betoni, betonilaatan reunamuottimateriaali ja pintatasoite.

Talven aiheuttama lisääntynyt energian tarve on lisätty kohtaan materiaali. Myös kappaleessa 4.4.3 läpikäytyt materiaalikustannuslisät on lisätty talvi-toteutuskustannuksiin.

5.4 Kalustokustannukset

Kalustokustannuksia on sisällytetty työ- ja materiaalikustannuksiin, koska Jatke Uusimaa Oy käyttää työvaiheiden toteutuksessa aliurakoitsijoita. Aliurakoitsijoiden kanssa tehdyt aliurakkasopimukset sisältävät suurimman osan työvaiheiden vaatimista työvälineistä. Myös materiaalikustannuksiin sisällytetyt ontelolaatat sisältävät asennuksessa tarvittavaa kalustoa kuten nostosakset ja -puomit.

Ontelolaattavälipohjan kalustoon on laskettu nosturi, betonin kuljetus ja pumppauskalusto sekä talviaikana tarvittava talvikalusto, joka on käyty läpi kappaleessa 4.4.3.

Paikallavaletun välipohjan vertailulaskuja varten muottikalustotoimittajille lähetettiin tarjouspyyntöjä muottikalustosta. Laskennassa on käytetty todellista tarjousta muottikalustosta. Muiksi kalustokustannuksiksi paikallavaletulle välipohjalle laskettiin nosturi sekä betonin kuljetus- ja pumppauskalusto. Paikallavaletun välipohjan laskennassa käytetty talvikalusto on esitetty kappaleessa 4.4.3.

5.5 Kustannukset rakennettaessa kesäaikana

Ontelolaattavälipohja kesätoteutuksena

Työ	Materiaali	Kalusto	Yhteensä	/m ²
57 074 €	91 582 €	7 412 €	156 067 €	111 €

Paikallavaluvälipohja kesätoteutuksena, irtoraudoitus

Työ	Materiaali	Kalusto	Yhteensä	/m ²
102 109 €	67 471 €	13 007 €	182 587 €	130 €

Paikallavaluvälipohja kesätoteutuksena, mattoraudoitus

Työ	Materiaali	Kalusto	Yhteensä	/m ²
94 029 €	73 312 €	13 007 €	180 348 €	128 €

Paikallavaluvälipohjan kustannukset osittaispintatasoituksella

Paikallavaluvälipohja irtoraudoitus

Työ	Materiaali	Kalusto	Yhteensä	/m ²
97 921 €	59 700 €	13 007 €	170 628 €	122 €

Paikallavaluvälipohja mattoraudoitus

Työ	Materiaali	Kalusto	Yhteensä	/m ²
89 841 €	65 541 €	13 007 €	168 389 €	120 €

5.6 Kustannukset rakennettaessa talviaikana

Ontelolaattavälipohja talvitoteutuksena

Työ	Materiaali	Kalusto	Yhteensä	/m²
64 304 €	99 373 €	10 788 €	174 465 €	124 €

Talven lisäävä vaikutus on 13 €/m².

Paikallavaluvälipohja talvitoteutuksena

Työ	Materiaali	Kalusto	Yhteensä	/m²
111 139 €	81 032 €	16 383 €	208 554 €	149 €

Talven lisäävä vaikutus on 19 €/m².

6 YHTEENVETO

Työn tavoitteena oli selvittää, kumpi välipohjarakenne, ontelolaatasto vai paikallavalettu välipohja, olisi ollut kannattavampi vaihtoehto välipohjarakenteeksi As Oy Espoon Magneettikadun työmaalla. Kohteeksi valittiin juuri As Oy Espoon Magneettikadun työmaa, koska sen katsottiin edustavan tämän päivän pistekerrostalorakentamista. Näin ollen tuloksia voidaan käyttää hyväksi myös muissa rakennettavissa pistekerrostalokohteissa. Vertailussa huomioitiin suunnitteluvaatimukset, tuotantomenetelmät, -kustannukset ja -aikataulu.

6.1 Tuotannonvertailu

Työmenekkilaskelmasta huomataan, että ontelolaattavälipohjalla työmenekki on noin neljä kertaa pienempi kuin paikallavaletulla välipohjalla. Tämä tarkoittaa sitä, että mikäli paikallavaletuilla välipohjilla tehtävät kerroksen työvaiheet halutaan tehdä yhtä nopeasti kuin työvaiheet ontelolaattavälipohjilla, on työmaalla oltava noin neljä kertaa enemmän työryhmiä työvaiheissa. Työnjohdon kannalta suurempi työ- ja työntekijämäärä aiheuttaa enemmän tehtävää ja on vaikeammin hallittavissa kuin pienempi työ- ja työntekijämäärä. Käytännössä kuitenkin paikallavaletun välipohjan työvaiheille varataan aikataulussa enemmän työaikaa, mikä usein näkyy rakennusajan pitenemisestä. Nämä seikat tekevät ontelolaattavälipohjasta paremman vaihtoehdon.

Ontelolaattavälipohjan jälkitöihin on sisällytetty märkätilojen kaatolattiavalut ja talotekniikka näiden osalta. Paikallavaletun välipohjan jälkitöiden määrä on siis pienempi, kun lattiavalun aikana saadaan valettua kylpyhuoneiden kaatolattiat samalla kertaa. Koska paikallavaletussa välipohjassa kerrosnousun yhteydessä tehdään samanaikaisesti kaatolattiat ja talotekniikka kylpyhuoneisiin, on kerroksen työvaiheille varattava enemmän aikaa tai työryhmiä. Paikallavaletun välipohjan tapauksessa kylpyhuoneiden kaatolattiat tulee tehdä kustannustehokkaammin, mutta ne aiheuttavat kuitenkin lisää tahdistavaa työmenekkiä kerroksen työvaiheisiin.

Ontelolaattarakenteen kuivumisaika-arvio on ns. normaaleissa olosuhteissa paikallavalettua rakennetta yli puolet nopeampi. Hyöty ontelolaatan nopeammasta kuivumisajasta saadaan kuitenkin vasta, jos päällystämiseen pyritään aikataulussa nopeammin, kuin mitä paikallavaletun rakenteen arvioitu kuivumisaika on. Normaalityöntilanteessa, kun onteloraakenteeseen kerääntynyt vesi on saatu pois, ei ontelolaattavälipohjan kuivuminen ennen päällystystä aiheuta työmaalla enää suuria toimenpiteitä. Paikallavaletun välipohjan pidemmän kuivumisajan vuoksi on tarkemmin huolehdittava hyvistä kuivumisolosuhteista, jotta tavoitekosteus saavutetaan ennen päällystystä.

6.2 Aikatauluvertailu

Esimerkkikohteen työnjohdon kanssa laatimani viikkoaikataulun perusteella paikallavaletulla välipohjarakenteella runkovaiheen rakennusaika pitenisi päivän jokaisen kerroksen osalta, eli yhteensä viikon. Aikatauluun

huomioitiin normaalit työryhmät työvaiheisiin ja irtoraudoituksen käyttö raudoitustyössä. Yhden lisäpäivän kerroksen työvaiheisiin paikallavaletun välipohjan osalta aiheutti pääosin työvaiheiden yleisesti lisääntyneet, tahdistavat työmenekit. Raudoitusrullien käyttäminen raudoituksessa sekä muottityön ja talotekniikkatöiden työryhmien lisääminen mahdollistaisi kerroksen pystyttämisen viikossa.

6.3 Kustannusvertailu

Ontelolaataston tuotantokustannukset tulivat laskennassa halvemmiksi kuin paikallavaletun välipohjan. Ontelolaattavälipohjan hinnaksi muodostui kesäaikana 111 €/m², ja paikallavaletun välipohjan vastaavasti 130 €/m² irtoraudoitteella. Välipohjarakenteen aiheuttamat kustannukset olisivat nousseet siis 19 €/m² eli yhteensä n. 27 000 euroa, mikäli välipohjarakenteeksi olisi valittu paikallavalettu betonirakenne irtoraudoituksin.

Mattoraudoitteen käytöllä rakenteen kokonaiskustannukset tulisivat irtoraudoitusta halvemmaksi. Verrattuna irtoraudoitteeseen, mattoraudoitetta käyttämällä raudoitustyön kustannukset vähenevät noin viidennekseen, mutta teräksen osalta materiaalikustannukset kasvavat n. 0,30 €/kg. Kokonaiskustannukset tulisivat n. 2 €/m² irtoraudoitteen käyttämistä halvemmaksi. Kuitenkaan mattoraudoitteen käyttämisellä ei saavutettaisi ontelolaatan kustannustehokkuutta esimerkkikohteen tapauksessa.

Käyttämällä paikallavaletussa välipohjassa osittaistasoitusta 20 mm paksun pintatasoituksen sijaan kohteen välipohjan kustannukset laskisivat n. 8 €/m². Ontelolaattavälipohjan ja osittaistasoituksella sekä mattoraudoitteella toteutetun paikallavaletun välipohjan kustannuseroksi muodostui 9 €/m². Ero on esimerkkikohteessa yhteensä n. 13 000 euroa.

Talven lisäävä vaikutus kustannuksiin oli ontelolaatastolla keskimäärin 13 €/m² eli n. 12 % ja paikallavaletulla välipohjalla noin 19 €/m² eli n. 15 %. Talvi vaikuttaa siis paikallavalettuun välipohjaan kustannusten osalta enemmän.

6.4 Pohdinta

Tutkimustulosten perusteella päätelen ontelolaattavälipojan soveltuvan paremmin tällä hetkellä asuinkerrostalotuotantoon esimerkkikohteen kaltaisissa hankkeissa. Paikallavalettu välipohjarakenne voisi olla kilpailukykyisempi vielä monimuotoisemmassa kerrostalorakentamisessa.

Mielestäni tämän työn kaltaisia tutkimuksia tulisi tehdä useista eri kohteista, jotta kustannuksiin, aikatauluihin ja tuotantotekniikkaan vaikuttavat tekijät voitaisiin yleistää tiettyä rakennusmenetelmää koskevaksi. Näin pääurakoitsija uskaltaisi luottaa vielä enemmän tuloksiin, ja työmaakohtaiset vaikutukset tiedostettaisiin paremmin.

LÄHTEET

Bamtec n.d. Bamtec Reinforcement Technology. Viitattu 26.3.2015.
http://www.bamtec.com/bamtec_en/index.htm

Betonin jälkihoito. n.d. Rudus. Viitattu 5.5.2015.
Talvibetonointi. 2013. Betoni. Viitattu 5.5.2015.
<http://www.betoni.com/Download/24140/TALVIBETONOINTI-kirja%202013.pdf>

Betoni n.d. Jälkihoito. Viitattu 22.4.2015
<http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen/betonityot/jalkihoito>

Betonointisuunnitelma n.d. Betoniteollisuus ry. Viitattu 22.4.2015
<http://www.betoni.com/paikallavalurakentaminen/betonityot/betonointi-suunnitelma>

Celsa Steel Service n.d. Bamtec. Viitattu 24.5.2015
<http://celsa-steelservice.fi/tuotteet/bamtec/>

Elementtisuunnittelu n.d. Ontelolaatat. Viitattu 24.4.2015
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/laatat/ontelolaatat>

Elementtisuunnittelu n.d. Elementtirakentamisen historia. Viitattu 24.4.2015
<http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/elementtirakentamisen-historia>

FISEa. 2015. Betonityönjohtajan pätevyysvaatimukset. Viitattu 26.3.2015
http://www.fise.fi/default/www/suomi/patevyysvaatimukset_lomakkeet_nimikkeiden_kaannokset/uudisrakentamisen_tyonjohto/betonirakenteet/1_luokan_betonirakenteiden_tyonjohtajan_patevyysvaatimukset/

FISEb. 2015. Betonielementtien asennustyönjohtajan pätevyysvaatimukset. Viitattu 26.3.2015
http://www.fise.fi/default/www/suomi/patevyysvaatimukset_lomakkeet_nimikkeiden_kaannokset/uudisrakentamisen_tyonjohto/betonirakenteet/betonielementtien_asennustyonjohtajan_patevyysvaatimukset/

Helimäki, H. & Kylliäinen, M. 2001. Betonivälipohjien askeläänieristys. Viitattu 26.5.2015
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010304.pdf>

Hytönen, Y. & Seppänen, M. 2009. Tehdään elementeistä. Helsinki: SBK-säätiö.

Ilonen P. 2010. Kerrostalojen perusrakenteet ja talotekniikka 1880-luvulta nykypäivään. Kerrostalojen hoito ja korjaaminen. Viitattu 25.3.2015
http://www.rakennusperinto.fi/Hoito/Korjaus_artikkeli/fi_FI/Kerrostalojen_perusrakenteet_talotekniikka/

- Kivitalo 2013. Muottien pintamateriaalit. Viitattu 4.4.2015
<http://www.kivitalo.fi/betonirakentaminen/muotit/muottien-pintamateriaalit.html>
- Koskenvesa, A. n.d. Talvirakentaminen. Viitattu 2.5.2015
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK99s697.pdf>
- Leskinen, M. 2012. Paikallavalurungon työvaiheiden menetelmäkuvaus. Savonian ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Tutkintotyö.
- Liikkanen, T 2009. Kuitubetonin käyttö kantavassa rakenteessa. Metropolian ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Tutkintotyö.
- Lujabetoni n.d. Betonin jälkihoito. Viitattu 2.5.2015
http://www.lujabetoni.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/luja/embeds/lujabetoniwwstructure/17527_betonin_jalkihoito.pdf_1477424063.pdf
- Merikallio, T. 2002. Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy
- Paavonen, P. 2013. Asuinkerrostalon rakennesuunnittelu. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Tutkintotyö.
- Palolahti, T., Lahtinen, M. & Mäki, T. 2010. Betonielementtien nostot. Suomen Rakennusmedia Oy.
<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110502.pdf>
- Paukkonen, O. 2010. Paikallavalettujen betonilaattarakenteiden jännitystöiden laadunvarmistus työmaalla. Metropolian ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Tutkintotyö.
- Puuinfo 2012. Puurakentamisen merkittävä puute poistuu: Alalle vihdoin yhtenäinen avoin standardi. Viitattu 4.5.2014
<http://www.puuinfo.fi/tiedote/puurakentamisen-merkitt%C3%A4v%C3%A4-puute-poistuu-alalle-vihdoin-yhten%C3%A4inen-avoin-standardi>
- RakMk C1 1998. Ääneneristys ja meluntorjunta rakennuksessa.
- Ramirent n.d. a. Muotit ja tuentakalustot. Viitattu 5.5.2015
http://www.ramirent.fi/files/attachments/ramirent_fi/tuote-esitteet/turva-ja_muottitekniikka/rami_muotit_yleisesite_2008_2_.pdf
- Ramirent n.d. RAMI 20 holvimuottijärjestelmä Viitattu 5.6.2015
http://www.ramirent.fi/files/attachments/ramirent_fi/tuote-esitteet/turva-ja_muottitekniikka/rami_20_-holvimuot_jarj_.pdf
- Ratu C2-0299 2007. Rakennustyömaan aluesuunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ratu KI-6027 2015. Rakennushankkeen työturvallisuus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ratu 5012 2011. Urakoitsijoiden oma turvallisuussuunnittelu. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RatuTT 05-00469 2004. Putoamissuojaussuunnitelma. Helsinki: Rakennustieto Oy.

RatuTT 05-00442 2004. Elementtien asennussuunnitelma. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ratu C8-0377 2011. Talvityöt ja -kustannukset. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ratu 06-3021. 1991. Holvimuotit, palkkimuotit ja pilarimuotit. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Rudus n.d. Betonikoulu, osa 3. Viitattu 5.5.2015

<http://www.rudus.fi/aineistot/rudus-koulut/betonikoulu/osa-3-betonin-valinta>

Saarinen, J. 2007. Betonivälipohjan tuotanto- ja kustannustekijöiden vertailu. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Tutkintotyö.

Sippola, J. 2013. Tehokas paikallavalurakentaminen. Vaasan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Tutkintotyö.

Syrjynen, J., Pahkala, M. & Vuorinen, P. n.d. Paikallavalurungon toteutus. Viitattu 14.5.2015

<https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK010504.pdf>

Upofloor. 2014. Asennus ja hoito. Viitattu 5.6.2015

<http://www.upofloor.fi/Resilient/Asennus---Hoito/>

Valmisbetoni n.d. Paikallavalurakentamisen historia. Viitattu 5.6.2015

<http://www.valmisbetoni.fi/paikallavalurakentamisen/historia>

Vuorinen, P., Mannonen, P. & Petrow, S. 2005. Kestävä kivitalo. Suomen Rakennusmedia.

Haastattelut/kyselyt

Mustonen, M. DI, projektipäällikkö. Insinööritoimisto Mäkeläinen. Haastattelut 7.4.2015 ja 4.5.2015.

Paasikivi, M. RI, vastaava työnjohtaja. Jatke Uusimaa Oy. Haastattelu 14.4.2015.

Pelkonen, T. Tarjouslaskija. Jatke Uusimaa Oy. Haastattelu 13.5.2015.

Silvennoinen, V. LVI-insinööri, Toimitusjohtaja. Insinööritoimisto LVI-CAD Oy. Haastattelu 21.4.2015.

Taipale, R. Asennuspäällikkö. Lahden LVI-Expertti Oy. puhelinhaastattelu 7.5.2015.

Tanskanen, J. Sähköinsinööri, Suunnitteluvastaava, Insinööritoimisto J.Tanskanen Oy. Sähköpostihaastattelu 7.5.2015.

Vainio, S. RM-opiskelija, Työmaamestari. Pylon Rakennus Oy. Kysely 10.4.2015.