

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma
Talonstrakentaminen, projektinhallinta

Saku Petriläinen

Kantavien betoniväliseinien tuotanto- ja kustannustekijät asuinrakentamisessa: elementti vs. paikallavalurakentaminen

Tiivistelmä

Saku Petriläinen

Kantavien betoniväliseinien tuotanto- ja kustannustekijät asuinrakentamisessa: elementti vs. paikallavalurakentaminen, 56 sivua

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutusohjelma

Talonrakentaminen, projektinhallinta

Opinnäytetyö 2019

Ohjaajat: lehtori Jari-Pekka Sinkko, Saimaan ammattikorkeakoulu; laskentainsinööri Timo Myllärinen, Skanska Talonrakennus Oy

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä asuinkerrostalojen kantavien väliseinien toteutukseen paikallavalettuina sekä elementtirakenteisina. Työssä käytiin yksityiskohtaisesti läpi molempien vaihtoehtojen työvaiheet sekä niihin liittyviä työturvallisuusasioita, sääolosuhteita ja tarvittavia resursseja. Osana työtä vertailtiin myös näiden kahden rakentamistavan toteutuksen kustannuksia. Lisäksi työn tilaajalle Skanska Talonrakennus Oy:lle toteutettiin jälkilaskenta paikalla valetuista seinistä Lappeenrantaan vuonna 2019 valmistuvasta kerrostalokohteesta.

Työn teoria-aineisto kerättiin rakennusalan internet- ja kirjallisuuslähteistä. Kustannuksien vertailussa käytettiin RT-Kustannuslaskennan hintatietoja sekä Skanska Konevuokrauksen vuokraushinnastoa. Tarvittavat piirustukset määrälaskentaa varten saatiin käyttöön Skanska Talonrakennus Oy:ltä.

Opinnäytetyön lopputuloksena saatiin jälkilaskenta-aineisto, jota voidaan mahdollisesti käyttää hyödyksi seuraavien kohteiden paikallavalettujen seinien kustannuslaskennassa. Lisäksi työtä tehdessä syntyi laskenta-alusta, jolla voidaan laskea väliseinäelementtien ja paikallarakentamisen kustannuksia. Työ antaa yksityiskohtaista tietoa paikallavalettujen- ja elementtirakenteisten seinien tuotannollista tekijöistä ja niiden välisistä eroista.

Asiasanat: betonointi, elementti, jälkilaskenta, muottityö, paikallavalu, raudoitus

Abstract

Saku Petriläinen

The production of load-bearing concrete walls and cost factors in residential construction: element or cast in-situ, 56 Pages

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Construction and Civil Engineering

Housebuilding, project management

Bachelor's Thesis 2019

Instructors: Mr Jari-Pekka Sinkko, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences; Timo Myllärinen, Cost accountant engineer, Skanska Talonrakennus Oy

The purpose of the thesis was to get familiarized with construction of load-bearing partition walls. The work compares precast and cast-in-place concrete walls in a block of flats. The study compared both construction styles' costs, working phases, safety at work, weather conditions and required resources. Also, the actual cost calculation of cast-in-place concrete walls preparations was done for one block of flats in the city of Lappeenranta. Skanska Talonrakennus Oy commissioned this study.

The theoretical material was gathered from the Internet and literature sources in the construction industry. In comparing of costs RT-Kustannuslaskenta and Skanska Konevuokraus prices were used. The needed construction plans for quantity surveying are from Skanska Talonrakennus Oy.

The results of the work were the actual cost calculation. This can be helpful in the next target with cast-in-place concrete walls. During this work also a calculation base was made which can be used in the precast and cast-in-place concrete walls cost calculation. The thesis gives a good knowledge for construction and differences of cast-in-place and precast concrete walls.

Keywords: concreting, prefabricated unit, actual cost calculation, formwork, cast-in-place, reinforcing

Sisällys

1	Johdanto.....	7
1.1	Opinnäytetyön tavoite ja sisältö	7
1.2	Työn rajaus.....	8
1.3	Työn suoritus ja työssä käytettävät menetelmät.....	8
2	Suhdanteet	8
3	Väliseinien elementtirakentaminen	10
3.1	Työn vaiheet	10
3.1.1	Elementtien vastaanotto ja varastointi	10
3.1.2	Mittaus	11
3.1.3	Elementtien nosto ja asennus	11
3.1.4	Pystysaumat.....	13
3.1.5	Lopettavat työt.....	14
3.2	Tarvittavat resurssit ja tuotannon nopeus	14
3.3	Elementtiasennuksen työturvallisuus	16
3.3.1	Nostokalusto ja -välineet	16
3.3.2	Tarvikkeet	17
3.3.3	Elementtien asentaminen.....	18
3.3.4	Putoamissuojaus	18
3.4	Sääolosuhteet.....	19
4	Paikallarakennetut väliseinät	20
4.1	Järjestelmämuotit.....	21
4.2	Työn vaiheet	22
4.2.1	Mittaus	22
4.2.2	Muottityöt	22
4.2.3	Raudoitus.....	24
4.2.4	Betonointi	25
4.2.5	Talvibetonointi	27
4.2.6	Jälkihoito	30
4.3	Tarvittavat resurssit ja tuotannon nopeus	31
4.3.1	Muottityö	31
4.3.2	Raudoitus.....	32
4.3.3	Betonointi	34
4.4	Työturvallisuus.....	35
4.4.1	Muottityön turvallisuus.....	35
4.4.2	Raudoitustyön turvallisuus.....	35
4.4.3	Betonoinnin turvallisuus	36
4.5	Sääolosuhteet.....	37
5	Betonipintojen jälkityöt	37
6	Kustannuksien vertailu.....	38
6.1	Elementtityön kustannukset	39
6.2	Väliseinien paikallarakentamisen kustannukset	40
6.3	Paikallarakentamisen ja elementtityön vertailu sekä tulokset	43
6.4	Talven vaikutus.....	43
7	Jälkilaskenta	46
7.1	Periaate ja tarkoitus	46
7.2	Toteutus.....	47
7.3	Hyödyntäminen jatkossa.....	47
8	Tulokset.....	48

8.1	Elementti vs. paikallarakentaminen.....	48
8.2	Jälkilaskenta	49
9	Yhteenveto ja pohdinta	49
9.1	Opinnäytetyön tavoitteiden täytyminen	50
9.2	Oppimisprosessi	51
	Kuvat	52
	Taulukot.....	52
	Lähteet	54

Käsitteet

Työmenekki	Työntekijän, työryhmän tai koneen tarvitsema aika yhden suoriteyksikön aikaansaamiseksi. Työmenekin yksikkö on tth/yksikkö. (Talonrakennusteollisuus ry 2011, s. 78)
Kokonaistyömenekki	Suoritteen tekemiseen tarvittava aikamäärä. Yksikkö on tth. (Talonrakennusteollisuus ry 2011, s. 78)
Työnkesto	Työn tekemiseen menevä aika, joka voidaan laskea jakamalla työntekijätunnit työryhmän koolla tai työryhmän yhdessä vuorossa tekemillä työtunneilla. Työnkesto ilmoitetaan tunteina tai työvuoroina. (Talonrakennusteollisuus ry 2011, s. 78)
Työlaji	Yksi työkokonaisuus. (Talonrakennusteollisuus ry 2011, s. 76).
Työnosa	Työlajin osa. Esimerkiksi elementtiasennuksessa mitaus. (Talonrakennusteollisuus ry 2011, s. 76)
T3	Tehollinen aika eli työvuoroaika. Tavoitteellisia työmenekkejä, jotka eivät sisällä yli tunnin kestäviä häiriöitä tai keskeytyksiä. (Talonrakennusteollisuus ry 2011, s. 62)
TL3	Työvaiheen lisäaika. Tarkoittaa yli tunnin mittaisia työn keskeytyksiä, pieniä erillisiä työvaiheita tai koneiden ja laitteiden rikkoutumista tai huoltoja, odotusaikoja, säähaittoja, tapaturmia tms. TL3-kertoimet vaihtelevat 1,0-1,30 välillä työlajista riippuen. (Talonrakennusteollisuus ry 2011, s. 62)
T4	Kokonaisaika eli työvaiheaika saadaan kertomalla T3 aika TL3-kertoimella. Se sisältää kaikki työhön käytetyt tunnit, tunnin mittaiset ja pidemmät työskentelyn keskeytykset. (Talonrakennusteollisuus ry 2011, s. 62)
TTH	Työntekijätunti. (Talonrakennusteollisuus ry 2011, s. 78)
TV	Työvuoro.

1 Johdanto

Suomessa käytetään betonia noin viisi miljoonaa kuutiometriä vuodessa talo- ja infrarakentamisessa. Elementti ja betonituotteisiin menee noin puolet tästä määrästä. Kun tuotteet valmistetaan tehtaassa, laatu on usein tasaisempaa ja ympäristöhaitat saadaan minimoitua. Yleensä valmisosia käyttämällä rakennusaikaa saadaan lyhennettyä. Kaikista runkorakenteista betonielementtien osuus on noin kolmannes ja julkisivuista noin 15 %. (Betoniteollisuus ry a; Betoniteollisuus ry c.)

Suomessa käytetään vuosittain kaksi miljoonaa kuutiometriä valmisbetonia, joka tuotetaan teollisesti. Valmisbetonia käytetään rakennuksen seiniin, välipohjiin, lattioihin ja perustuksiin. Paikallavaletun rakenteen tuotantotekniikka eroaa elementeistä erityisesti, mutta myös sen tekniset ominaisuudet ovat erilaiset. Paikallavalurakentaminen tuo suunnittelulle vapautta ja muotoiltavuutta. (Betoniteollisuus ry b; Betoniteollisuus ry d.)

1.1 Opinnäytetyön tavoite ja sisältö

Työskentelin vuoden 2018 kevätlukukauden sekä kesän Skanska Talonrakennus Oy:llä Lappeenrannassa kerrostalokohteessa, jossa kantavat väliseinät toteutettiin paikallavalettuina. Myös hissi- ja porraskuilut paikallavalettiin. Tulin mukaan hankkeeseen perustustöiden jälkeen ja olin vesikattotöihin asti, joten näin kuinka väliseinien paikallarakentaminen tapahtuu työmaalla käytännössä. Talven, kevään ja kesän eri sääolosuhteista johtuvat vaikutukset ja niihin varautuminen tulivat tutuiksi sekä niiden vaikutus kustannuksiin ja aikatauluun.

Työn tavoitteena on perehtyä asuinkerrostalojen kantavien väliseinien toteutukseen paikallavalettuina sekä elementtirakenteisina ja oppia niiden rakentamisen vaiheet yksityiskohtaisesti. Lisäksi tavoitteena on syventyä niiden kustannuksiin ja tuottaa Skanska Talonrakennus Oy:lle jälkilaskenta-aineisto paikallavalettavien seinien osalta Lappeenrantaan 2019 valmistuvasta kerrostalokohteesta.

Työssä vertaillaan kantavia väliseiniä elementtirakenteisina sekä paikallavalettuina järjestelmämuoteilla. Tarkoituksena on perehtyä näiden rakentamisen vai-

heisiin, tarvittaviin resursseihin, tuotannon nopeuteen, työturvallisuuteen, kustannuksiin sekä työhön vaikuttaviin olosuhteisiin. Työssä tutkitaan myös edellä mainittujen tekijöiden vaikutuksia kustannuksiin.

1.2 Työn rajaus

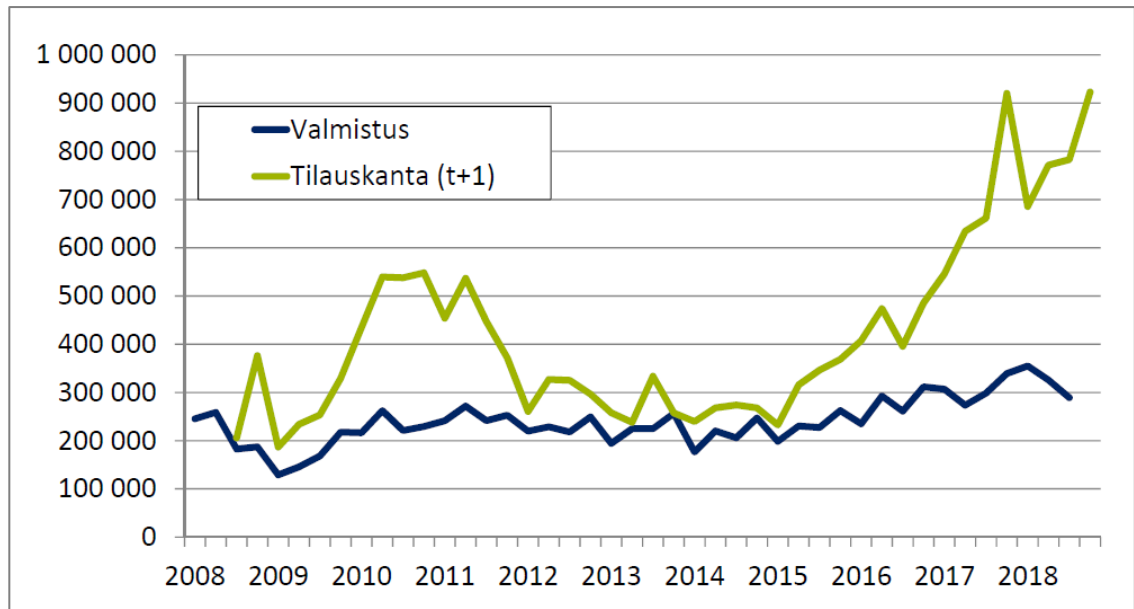
Työ on rajattu käsittelemään ainoastaan asuinkerrostalojen kantavia väliseiniä kustannus- ja tuotantoteknisestä näkökulmasta. Rakenteelliseen kantavuuteen suunnittelun näkökulmasta, muihin kantaviin rakenteisiin tai väliseinätyyppeihin ei oteta työssä kantaa. Paikallavalurakentamisessa tutustutaan ainoastaan järjestelmämuoteilla toteutettuihin väliseiniin.

1.3 Työn suoritus ja työssä käytettävät menetelmät

Työ suoritetaan teoriapohjaisesti internet- ja kirjallisuuslähteitä käyttämällä. Työssä ei tehdä haastatteluja eikä muita tutkimuksia. Jälkilaskenta tehdään tilaajan käyttöön Microsoft Excel-ohjelman avulla Lappeenrantaan vuonna 2019 valmistuvasta asuinkerrostalokohteesta.

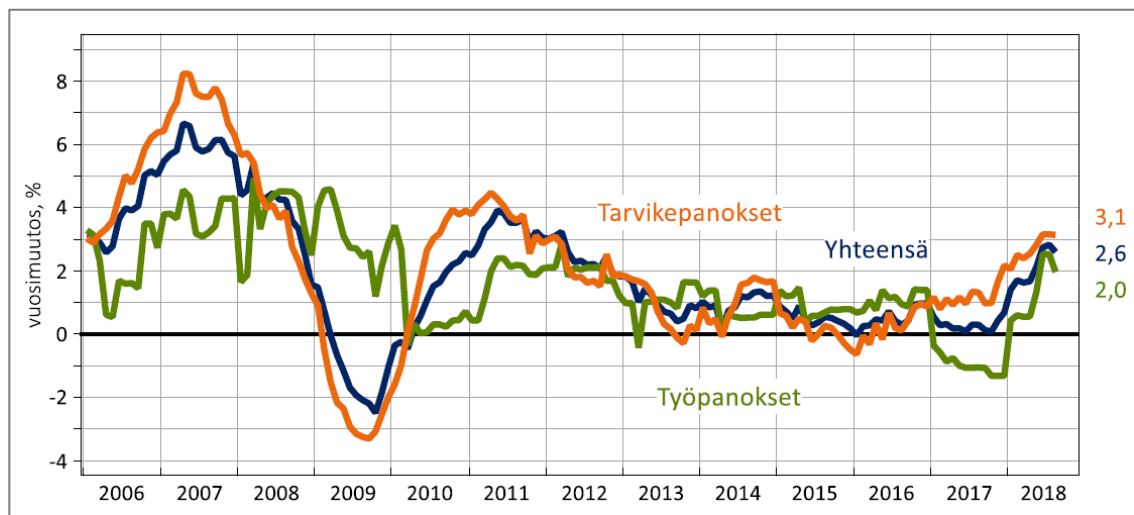
2 Suhdanteet

Betonisten seinäelementtien hinnat reagoivat suhdanteisiin, joten niiden hinnat vaihtelevat kysynnän mukaan. Seinäelementit ovat yksilöllisiä niiden koon, aukkojen, raudoituksen ja LVIS-tarvikkeiden vaihteluiden takia. Tämän takia elementtejä ei voida tehdä varastoon, mikä vaikuttaa myös elementtien hintaan. Kun elementtien kysyntä kasvaa paljon myös niiden toimitusajat pitenevät, koska suureen kysyntään ei voida vastata tuotannollisesti. Paikalla rakentaessa suhdanteet vaikuttavat betonin ja teräksen hintoihin. Kuvasta 1 huomataan seinäelementtien tilauskannan olevan tällä hetkellä taas nousussa.



Kuva 1. Seinäelementtien tilauskanta ja tuotanto neliömetreinä (Rakennusteollisuus RT 2018 a)

Nousevat rakennuskustannukset asuinrakentamisessa vaikuttavat asuntojen hintoihin mikä voi karkottaa ostajia. Kustannuksien nousulla voi olla merkitystä myös hankkeiden aloittamiseen. Rakentajan on etsittävä vaihtoehtoista kustannustehokkaampaa tapaa rakentaa. Kuvassa 2 on tarvike- ja työpanoksien vuosimuutos.



Kuva 2. Rakennuskustannusindeksi (Rakennusteollisuus RT 2018 b)

3 Väliseinien elementtirakentaminen

Väliseinäelementti on betoninen kokonaisuus, joka sisältää tarvittavan raudoituksen, sähköputkitukset sekä muut tarvikkeet ja varusteet. Se toimii asuintilojen jakavana elementtinä, jolle on asetettu omat ääni- ja palotekniset ominaisuudet. Väliseinän minimipaksuudeksi suositellaan 200 mm asuinrakennuksissa. (Betoniteollisuus ry f.)

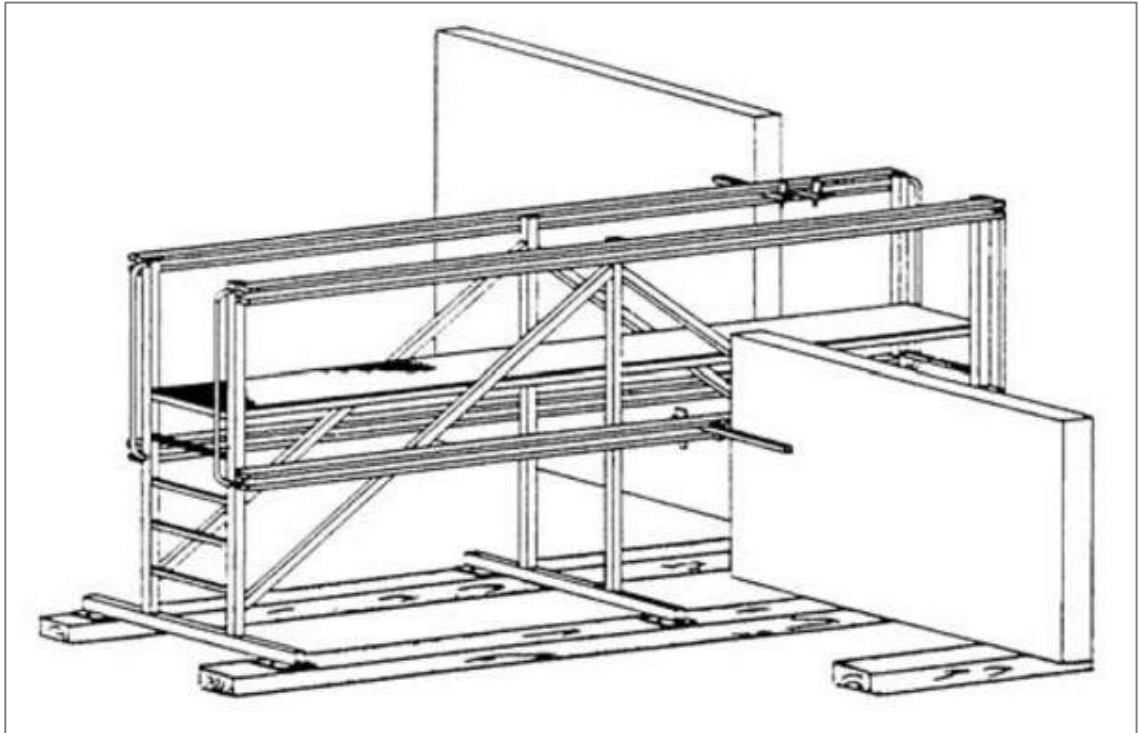
3.1 Työn vaiheet

Elementtiasennuksen vaiheita ovat elementtien vastaanotto ja mahdollinen väli-varastointi, paikkojen mittaus, nosto ja asennus, pystysaumojen juottaminen sekä lopettavat työt. Tässä osassa käydään koko prosessi tarkemmin läpi. (Ratu 0392 2012.)

3.1.1 Elementtien vastaanotto ja varastointi

Elementit toimitetaan työmaalle tehtaalta ennalta sovitun aikataulun mukaisesti. Kuorman purkupaikalla on tarkistettava elementtien mahdolliset laatu puutteet, kolhut, lohkeamat ja likaantumiset, joita saattaa aiheutua jo tehtaalla varastoinnissa tai kuljetuksessa. Puutteet ja virheet merkittään rahtikirjaan, sekä tarvittaessa reklamoidaan elementtitoimittajalle. (Ratu 0392 2012.)

Elementit voidaan asentaa suoraan kuormasta tai purkaa varastointipaikalle elementtikampatelineeseen. Elementtikampatelineen, eli fakin, maapohjan tulee olla kantava, tasainen ja kova. Elementtien ja maan väliin asetetaan aluspuut, joiden päällä elementit lepäävät. Elementtifakeissa on keskellä kulkutie ja suojakaiteet. (Ratu 0392 2012; Suomenbetoniyhdistys ry 2012, s. 486.) Kuvassa 3 on esitetty elementtikampateline.



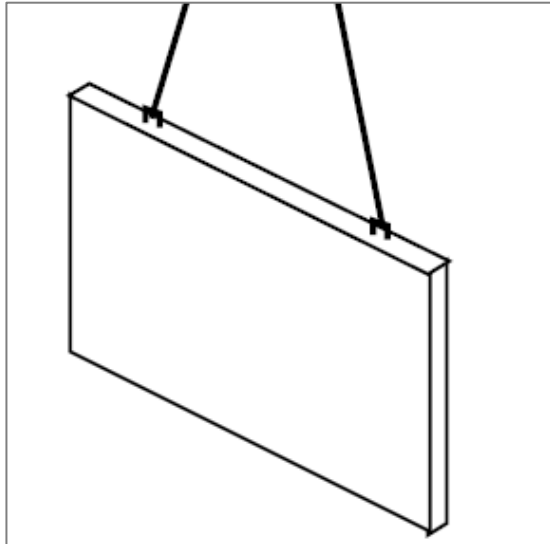
Kuva 3. Havainnollistava kuva elementtikampatelineestä (Ramirent)

3.1.2 Mittaus

Ennen mittauksen aloitusta suuret epätasaisuudet, lika, vesi, jää sekä muut epäpuhtaudet poistetaan asennusalustalta. Väliseinäelementtien paikat voidaan mitata takymetrillä, teodoliitillä tai mitalla rakennuksen mittalinjoista tai -pisteistä. Elementtien linjat merkitään asennusalustaan seinän toista reunaa pitkin esimerkiksi merkkilankaa käyttäen niin, että ne ovat näkyvissä koko asennuksen ajan. Linjalle asetetaan asennuspaloja, joilla asennusalusta tasataan vaakasuoraan. (Ratu 0392 2012.)

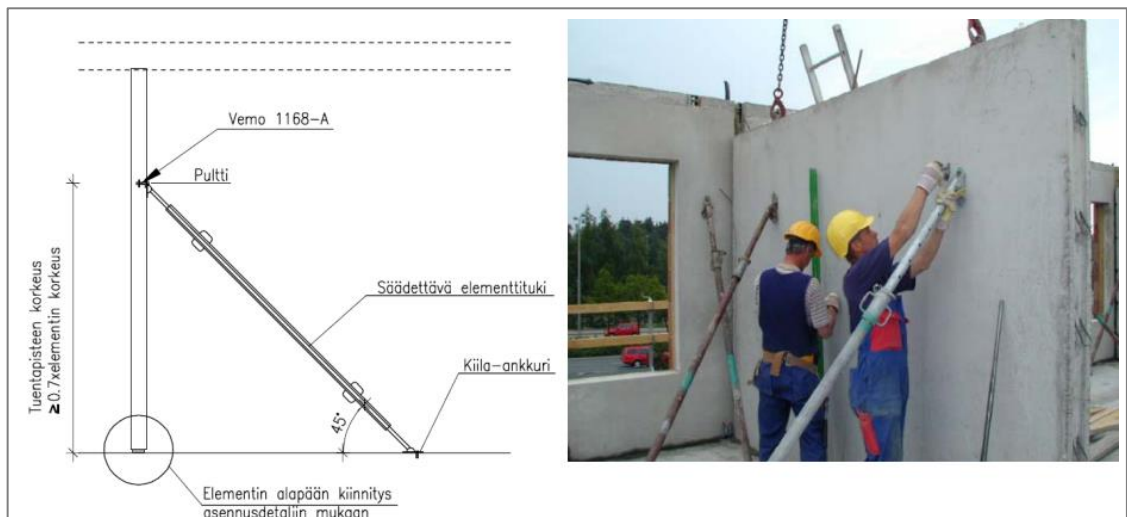
3.1.3 Elementtien nosto ja asennus

Seinäelementti nostetaan nostolenkeistä nostorakseilla. Ennen nostoa on varmistettava, että nostoraksit ovat lukkiutuneet ja taakan kulkureitin alla ei pääse henkilöitä liikkumaan. Kuvassa 4 on havainnollistus elementin nostosta. Mikäli aukolliseen elementtiin ei ole asennettu tukea valmiiksi tehtaalla, se täytyy vahvistaa. Elementti voidaan nostaa asennuspaikalle käyttämällä apuna käsimerkkejä, jotka merkinantajan ja nosturinkuljettajan on tunnettava. Kuljettajalla ja asentajilla tulee olla joko näkö- tai radioyhteys. (Ratu 0392 2012.)



Kuva 4. Havainnollistava kuva elementin nostosta (Ratu 0392 2012)

Noston aikana osa työryhmästä levittää alasaumaan asennuslinjalle juotosbetonin, ellei sitä valeta jälkivaluna. Mikäli alasauma valetaan jälkivaluna, se voidaan valaa yhdessä pystysaumojen kanssa. Kun elementti on nostettu lähelle asennuspaikkaa, se ohjataan käsin tai ohjausköyden avulla asennuspalojen päälle niin, että mahdolliset välipohjan sähköputket asettuvat elementin varauksiin. Elementin paino siirretään rauhallisesti asennuspalojen varaan niin, että nostorakset jäävät kuitenkin tiukalle. Elementtien yläpäässä oleviin sisäkierreankkureihin pulttataan elementtituki ja tuen alapää pulttataan välipohjaan. Elementin pystysuoruus tarkastetaan pitkällä vesivaa'alla ja sitä voidaan korjata elementtituen kierreillä. (Ratu 0392 2012.) Kuvassa 5 on esitetty esimerkki elementin tukemisesta.



Kuva 5. Elementin tukeminen (Suikka 2010)

Elementtien asentamisen jälkeen tarkistetaan linjan suoruus. Mikäli linja on pitkä, oionta voidaan tehdä osissa. Seinälinjan oionnan tarkoituksena on tarkistaa elementtien yhteinen suoruus, korkeusasema, työvirheet, mittavirheet ja mahdolliset elementtien virheet, esimerkiksi pullistumat. Tämä tarkemittaus voidaan suorittaa käyttämällä teodoliittia, vaaituskojetta sekä mittaa. Elementit säädetään ja mahdolliset virheet häivytetään elementtitekniikalla säätämällä sekä siirtämällä elementtejä asennuskankia apuna käyttäen. (RATU 0392 2012; Huhtiniemi & Kiviniemi 1992, 128.)

3.1.4 Pystysaumot

Väliseinäelementtien liittäminen toisiinsa voidaan toteuttaa juottamalla tai pumpaamalla. Elementtien saumoihin asennetaan raudoitukset suunnitelmien mukaisesti. (Ratu 0392 2012.)

Juotosbetonia käytettäessä on tehtävä tiivis tukelaudoitus molemmille puolille elementtien saumoihin, jotta notkea juotosbetoni ei karkaa saumasta. Tällöin sauma on juotettava seinien yläpäästä. Juotosbetonia ei tarvitse täyryttää ja hyvin yleisesti se valmistetaan työmaalla säkitetyistä valmismassasta, johon lisätään vain vesi. (Ratu 0392 2012.)

Pumpatessa elementtien saumat eivät tarvitse tukelaudoitusta, mutta sauman täytyminen tulee varmistaa, jotta teräkset peittyvät kauttaaltaan. Tämän takia suositellaan tukelaudoituksen käyttöä toisella puolella saumaa. Käytettävä massa on melko notkeaa ja sitä pumpataan hieman seinäpinnan yli. Kuvassa 6 pystysauman pumppaus käynnissä. Saumat viimeistellään massan hieman jäykistettyä elementtien molemmilta puolilta. Seinäpinnan yli jätettyä massaa painatetaan vielä saumaan, jotta se saadaan täyteen. Ylimääräinen massa poistetaan esimerkiksi teräslastaa apuna käyttäen seinäpinnan tasoon. (Betoniteollisuus ry k.)



Kuva 6. Pystysaumabetonointi käynnissä (Fescon 2013)

3.1.5 Lopettavat työt

Elementtien ala- ja pystysaumot tarkistetaan ja mahdolliset betonimassojen pursheet sekä roiskeet tasoitetaan tai poistetaan ennen betonin kovettumista. Näin vältetään ylimääräisiltä pintojen piikkaus- ja paikkaustöiltä. Saumoja on jälkihoitettava peittämällä tai kastelemalla käytettyjen betonimassojen ja olosuhteiden mukaan. Juotosvalussa käytetyt tukkolaudoitukset voidaan poistaa, kun betoni on kovettunut riittävästi. Elementtitukien poistaminen voidaan suorittaa, kun pystysaumojen betoni on saavuttanut riittävän lujuuden, jonka rakennesuunnittelija on määrittänyt. (Ratu 0392 2012.)

3.2 Tarvittavat resurssit ja tuotannon nopeus

Elementtien asennustyöryhmään kuuluu usein kolme työntekijää ja nosturilaitteen kuljettaja. Kaikki työntekijät hallitsevat elementtiasennuksen työvaiheet, mutta jokaisella on oma osa-alueensa asennuksessa. (Huhtiniemi & Kiviniemi, 125.)

Väliseinäelementtien asennuksen työmenekki T3 on 1,77 tth/kpl. Tämä sisältää välivarastoinnin, mittauksen ja elementin asennuksen. Työmenekkiin vaikuttaa juotostapa. Taulukossa 1 on esitetty työmenekit sekä suoritemäärän vaikutus ja taulukossa 2 talvihaitan kertoimet. (Ratu 0392 2012.)

Työnosa	Työmenekki [tth/kpl]	Työmenekki [tth/m2]	
Välivarastointi	0,2	0,025	
Mittaus	0,12	0,015	
Väliseinäelementti	1,45	0,18	
Tukkolaudoitus, saumavalu ja laudoituksen purku	0,5	0,06	
Pystysaumapumppaus, tukkolaudoituksella ja sen purulla	0,25	0,03	
Suoritemäärän vaikutus			
m2	alle 200	100-1000	yli 1000
kpl	alle 25	25-100	yli 100
kerroin	1,2	1,0	0,9

Taulukko 1. Väliseinäelementti asennuksen työmenekit ja suoritemäärän vaikutukset (Ratu 0392 2012)

Lämpötila	0...-2,5	...-7,5	...-12,5	alle -12,5
Kerroin	1,10	1,20	1,30	1,40

Taulukko 2. Talvilämpötilan haittakerroin (Ratu 0392 2012)

Esimerkki:

Tässä esimerkissä lasketaan yhden kerroksen väliseinäelementtien asentamiseen kuluva aika kolmen työntekijän ryhmällä. Oletetaan kerroksessa olevan 16 kappaletta väliseinäelementtejä ja niiden pystysaumot juotettaisiin pumppamalla. Työryhmän työn kesto voidaan laskea kaavalla 1 ja 2.

$$\text{Kokonaistyömenekki [tth]} = \text{Määrä [yks]} \times \text{Työmenekki [tth/yks]} \quad (1)$$

$$Työn\ kesto\ [tv] = \frac{Kokonaistyömenekki\ [tth]}{Työryhmä\ \times\ 8\ [h/tv]} \quad (2)$$

Kokonaistyömenekki = 16 x 2,02 = 32,32 tth

Työn kesto = 32,32 / (3 x 8) = 1,35 tv

3.3 Elementtiasennuksen työturvallisuus

3.3.1 Nostokalusto ja -välineet

Elementtien nostoissa ja asennuksessa käytetään rakennustyömaalle valittua nostokalustoa, torninosturia tai ajoneuvonosturia. Asuntorakentamisen työmaalla on lähes aina käytössä torninosturi, jonka suorituskyky valitaan suurimman taakan mukaan riittäväksi. Muita huomioitavia seikkoja ovat mm. nostoetäisyydet ja -korkeudet, mahdolliset esteet, elementtien päämitat sekä maapohjan kantavuus. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Torninosturin saa pystyttää ainoastaan siihen perehtynyt ammattiryhmä. Pystytyksen jälkeen nosturille tehdään käyttöönottotarkastus ja vuoden välein käyttöönottotarkastuksesta suoritetaan määräaikaistarkastukset, joista tehdään pöytäkirjat. Päivittäisiin tarkastuksiin kuuluu turvakytkimien, jarrujen, nostoapuvälineiden, varo- ja hallintalaitteiden tarkastus sekä muut valmistajan turvallisuustarkastukset. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Nostoapuvälineenä väliseinäelementtien nostoissa käytetään nostorakseja ja -koukkuja. Nostoapuväline on komponentti, joka kiinnitetään nostolaitteen ja taakan väliin. Kuvassa 7 on esimerkki nostorakseista. Sen tunnuslevystä selviää suurin sallittu kuorma ja sallitut nostokulmat. Mikäli tunnuslevyä ei ole, kyseistä nostoapuvälinettä ei saa käyttää. Nostoapuvälineen kuntoa tulee seurata jatkuvasti nostojen aikana ja ne tarkastetaan aina ennen nostotyön aloitusta silmämääräisesti. (Betoniteollisuus ry 2010.)



Kuva 7. Esimerkki nostorakseista (Haklift Oy 2018)

3.3.2 Tarvikkeet

Elementtiasennuksen tarvikkeet tulee nostaa niille tarkoitetuissa nostokehikoissa, esimerkiksi elementtituet. Nostokehikossa tulee lukea enimmäiskuorma eikä sitä saa ylittää. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Suurlaastisäkit voidaan nostaa niissä olevista nostosilmukoista puomilla tai koukulla ja noston alla liikkuminen tulee estää. Mikäli laastisäkin kudus on rikkoutunut, laastisäkkiä ei saa nostaa. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Irtotavarat voidaan nostaa nostolaitteen rakseilla hirttämällä nostettava nippu, esimerkiksi puutavara. Nipun kiristys varmistetaan koenostolla ja se tulee aina nostaa vaakatasossa nostoraksit kaksi kertaa kuorman ympärillä sidottuna. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Pientyökalut ja tarvikkeet kuten esimerkiksi iskuporakone, ruuviväännin, sirkkeli ja tasolaser voidaan säilöä holvikontissa, missä ne pysyvät sääsuojassa ja niitä on helppo varastoida ja siirtää aina seuraavaan kerrokseen.

3.3.3 Elementtien asentaminen

Elementtiasennuksessa on monia työturvallisuuteen liittyviä riskejä, kuten kuorman purku, nostot, varastointi ja putoamisvaara lähes jokaisessa työvaiheessa. Työmaan on aina laadittava kirjallinen elementtiasennussuunnitelma ennen työn aloittamista, missä otetaan huomioon muun muassa seuraavia asioita

- *kohdetiedot työmaasta*
- *asennettavat elementit*
- *nostoissa tarvittava nostokalusto ja nostoapuvälineet*
- *tiedot elementtien kuljetuksesta työmaalla*
- *kuorman purku, vastaanotto ja varastointi*
- *nostot, asennus ja asennusjärjestys*
- *asennustoleranssit ja seurantamittaukset*
- *asennuksen aikainen tuenta ja vähimmäistukipinnat*
- *elementtien lopulliset kiinnitykset*
- *asennuksessa tarvittavat työtasot ja putoamissuojaukset*
- *suunnittelun varmistukset (Betoniteollisuus ry 2010, s. 34).*

Työmaalla työskentelevät henkilöt eivät saa joutua nostettavan taakan alle, joten nostoalue tulee rajata kulkuesteellä tai heidän liikkuminen nostoalueelle on jollain muulla tavalla estettävä. Nosturin kuljettajalla ja asentajilla tulee olla näkö- tai radioyhteys. Elementtiasennuksen mestan tulisi olla siisti ja ainoastaan tarvittavat työkonet ja -tarvikkeet löytyisivät alueelta. Asennustyön jälkeen nostoraksit saa irrottaa, kun elementti on tuettuna. Nostoraksit voidaan irrottaa käyttämällä nojattikkaita, mutta tikkaiden liukuminen ja kaatuminen on estettävä. Turvallisempi tapa on valita siirreltävä alumiininen teline tai käyttää nostorakseja missä on laukaisinnaru. (Betoniteollisuus ry 2010.)

3.3.4 Putoamissuojaus

Putoamissuojaus voidaan toteuttaa teknisin menetelmin ja henkilökohtaisella putoamissuojauksella. Tekniset menetelmät ovat rakenteellisia esimerkiksi suoja-kaiteet, -kannet, kulkuesteet ja aukkosuojat. Ensisijaisesti on pyrittävä putoaminen estämään teknisillä menetelmillä, mutta jos tekniset menetelmät eivät ole

mahdollisia on käytettävä henkilökohtaisia putoamissuojaimia. Näitä ovat turva- ja kokovaljaat, tuki- ja varmistusvyöt sekä liitosköysi. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Väliseinäelementtien asentamisessa putoamissuojausta tarvitaan erityisesti hissi- ja porraskuilussa. Hissi- ja porraskuilujen elementtien asentamisen aikana suojaukset on poistettava, joten on käytettävä henkilökohtaista putoamisensuojausta. Alue tulee myös rajata kahden metrin alueelta, jotta muut henkilöt eivät asennuksen aikana joudu putoamisvaaraan.

Mikäli asennustyössä käytetään yli 0,5 m korkeaa työtelineettä tulee sen olla varustettu nousutiellä ja putoamiskorkeuden ylittäessä kaksi metriä on telineellä oltava suojakaiteet käsi- ja välijohteella. Jos työtelineeltä voi pudota työkaluja tai muita materiaaleja on teline varustettava jalkalistalla. Suojakorkeuden tulee olla vähintään yksi metri. (Betoniteollisuus ry 2010.)

3.4 Sääolosuhteet

Työskenneltäessä talvella on suojauduttava pakkasta vastaan oikealla pukeutumisella. Lumen ja jään aiheuttama liukkaus tulee ottaa huomioon ja pyrittävä poistamaan. Sakean lumisateen takia asennustyö voidaan joutua keskeyttämään. Talvi on melko pimeää vuodenaikaa, joten se on huomioitava työmaan valaistuksessa. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Talviolosuhteissa juotosvalujen onnistumiseksi on elementtien saumat pidettävä puhtaana lumesta ja jäädä sekä lämmitettävä riittävästi. Valun jälkeen sauma täytyy suojata ja sitä täytyy lämmittää lankalämmityksellä tai valettavan betonin tulee olla pakkasbetonia. (Sahlstedt, Koskenvesa, Lindberg, Kivimäki, Palolahti & Lahtinen 2013.) Saumavalujen riskejä on esitetty taulukossa 3. Lisää talvibetonoinnista kohdassa 4.2.5.

Kuumana kesäpäivänä on suojauduttava liialta auringonvalolta ja kuumuudelta. Tärkeintä on muistaa juoda runsaasti ja tarkkailla omaa sekä työkaverin kuntoa. Työturvallisuuslain mukaan työnantajalla on velvollisuus huolehtia työilman lämpötilasta, niin että siitä aiheutuu mahdollisimman vähän haittaa työntekijän terveydelle ja turvallisuudelle. Työnantajan on rajoitettava työskentelyä tilassa, mi-

käli lämpötila ylittää +28 astetta. Runkotyössä teknisillä toimilla lämpötilaa ei pystytä alentamaan, joten työskentelyjaksoa on lyhennettävä. (Betoniteollisuus ry 2010; Työsuojelu 2018.)

Olosuhteet voivat aiheuttaa poikkeuksellista vaaraa, jolloin elementtien nostotyö on keskeytettävä. Näitä ovat muun muassa rankkasade, sakea lumipyry ja tuulen nopeuden ylittäminen 15 m/s. (Betoniteollisuus ry 2010.)

Laiminlyönti	Suositteluvia tapoja
Suojaus ei ole onnistunut ja saumoissa on lunta	Saumojen puhdistaminen paineilmalla lumesta. Saumojen sulattaminen jäätä ja kuivaaminen kaasuliekillä.
Saumojen sulattamiseen käytetään höyryä.	Työn aikana syntyvä vesi joka voi jäätyä saumaan ennen betonointia.
Valu tehdään vasten kylmiä elementtejä	Saumoja ympäröivät elementit tulee lämmittää.
Ei huomioida pakkasbetonin hidasta lujuudenkehitystä	Alavaakasaumojen minimilujuus ennen seuraavan kerroksen asennusta vähintään 5 MPa. Ympäröivien rakenteiden lämmitys. Betonin lujuudenkehityksen varmistaminen

Taulukko 3. Elementtisaumauksen tyypillisimmät riskit (Sahlstedt ym. 2013)

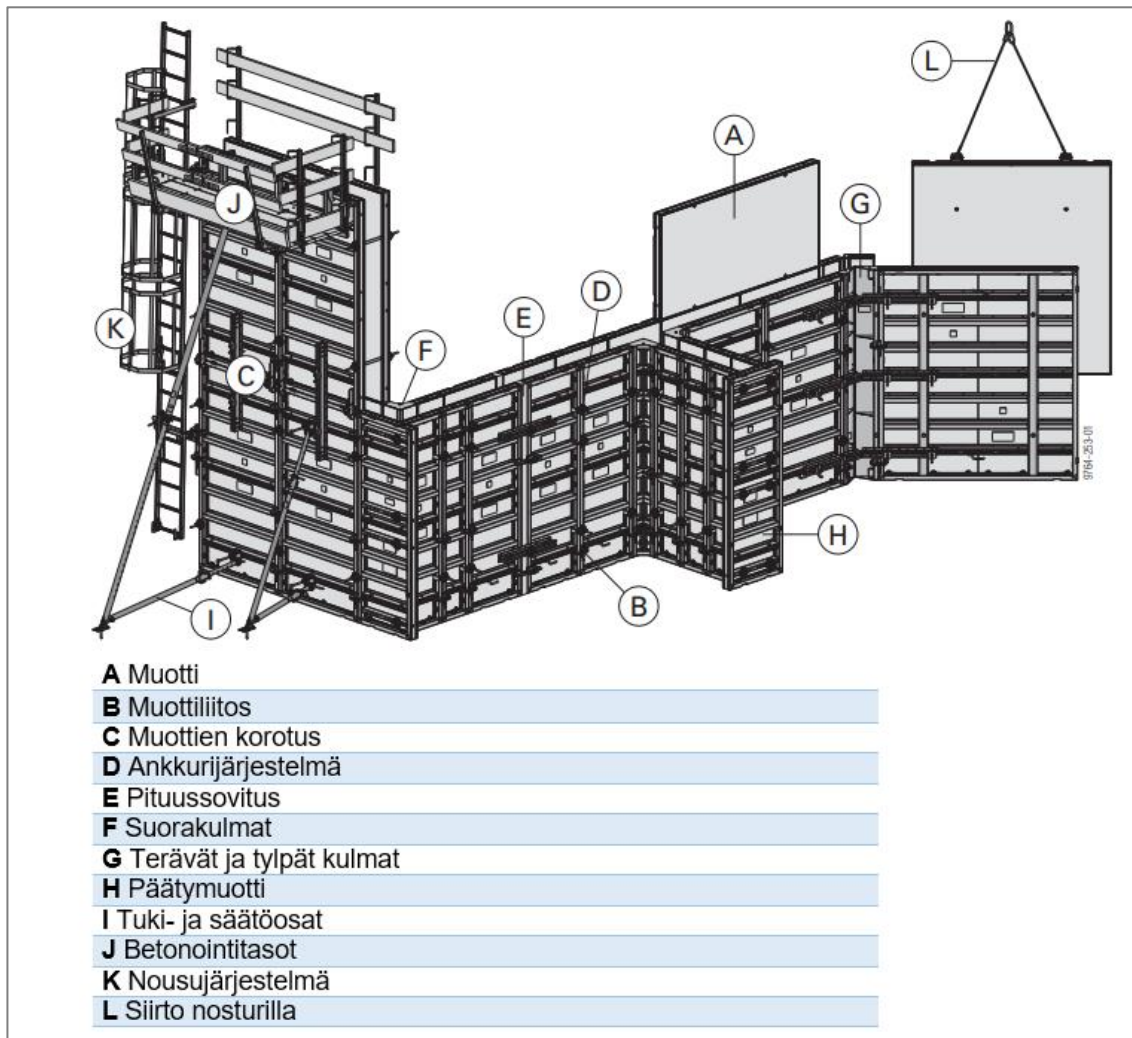
4 Paikallarakennetut väliseinät

Paikallavaletuilla väliseinillä tarkoitetaan rakennustyömaalla tapahtuvaa tuotantotapaa, joka sisältää muotti-, rauditus- ja betonointityöt sekä mahdolliset LVIS-asennukset. Paikallavalurakentamisen etuina ovat suunnittelun vapaus ja saumattomammat seinät sekä rakennustyönäikaiset muutokset ovat helpommin toteutettavissa kuin elementeillä rakennettaessa. (Betoniteollisuus ry b; Betoniteollisuus ry g.)

4.1 Järjestelmämuotit

Järjestelmämuotit kootaan muottielementeistä vakiokiinnikkeillä. Muottielementeistä saadaan helposti muokattava muottikalusto, joka sopii rakennuksen kaikkiin pystyrakenteisiin kuten seiniin, porrashuoneen seiniin, hissikuiluihin ja pilareihin. (Suomen betoniyhdistys ry 2012.) Kuvassa 8 on esitetty järjestelmämuotin osia.

Järjestelmämuotit vaativat nosturia kasauksessa, asennus- ja purkutyössä. Muottien käytön ennakkosuunnittelu on tärkeää, nimittäin sillä löydetään taloudellisin ratkaisu muottikiertoon. Lopulliseen betonipintaan vaikuttaa muottipinnan kunto, puhtaus ja saumojen tiiviys, sekä työmaa-aikainen huolto. (Kestävä kivitalo.)



Kuva 8. Doka järjestelmämuotin osia (Doka 2012)

Muottikierrolla tarkoitetaan muottityötä pystytyksestä purkuun ja uudelleen pystytykseen. Muottikierron aikana muotti siis pystytetään, raudoitetaan, asennetaan varaukset ja LVIS-asennukset sekä betonoidaan. Muottikierron lopuksi muotti irrotetaan, kun vaadittu purkulujuus on saavutettu sekä muotti huolletaan ja siirretään seuraavaan kohteeseen. (Suomen betoniyhdistys ry 2012, s. 238.)

Muottikierto suunnitellaan työmaalla ja kierrolla on tarkoitus löytää taloudellisin ratkaisu valitulla muottikalustolla. Muottikierron suunnittelun kahdeksan vaihetta ovat

1. valettavan alueen jaksottelu kertavaluosiin
2. työvaiheiden välisten riippuvuuksien selvittäminen
3. muottityön- ja kaluston määrän laskeminen
4. aika- ja työmenekkien laskeminen
5. työryhmien suunnittelu
6. muottityön aikataulun laatiminen
7. tarkistuksien ja valintojen tekeminen
8. muottisuunnitelman täydentäminen (Suomen betoniyhdistys ry 2012, s. 239).

4.2 Työn vaiheet

Paikallavaluseinien työvaiheita ovat mittaus, muottityöt, raudoitustyöt, betonointi ja jälkihoito.

4.2.1 Mittaus

Paikallavalettavien väliseinien työt alkavat mittaamalla seinien paikat rakennuksen mittalinjoista tai -pisteistä takymetrillä, teodoliitillä tai mitalla. Väliseinien linjat merkitään asennusalustaan ja linjalle voidaan kiinnittää ohjausjuoksu, jota vasten muotti on helppo nostaa. (Ratu 0399 2012.)

4.2.2 Muottityöt

Muottityö aloitetaan kasaamalla muottikiertoon ja rakenteen mittoihin sopivat muottikonaisuudet. Muotteihin kiinnitetään tarvittavat jäykisteet ja siteet. En-

simmäinen muottipuolisko nostetaan asennuslinjalle tarkasti, jonka jälkeen muotituet kiinnitetään asennusalustaan ja muotti säädetään tukien avulla pystysuoraan. Muotin nostoapuvälineet voi irrottaa, kun muotti on tuettuna. Tämä työvaihe toistetaan jokaiselle asennettavalle linjalle ja muottipuoliskolle muottikierron mukaisesti. (Ratu 0399 2012.)

Pystytettyihin muotteihin asennetaan tarvittavat varaukset ja rajoittimet, jotka voidaan tehdä puutavarasta. Näitä ovat mm. oviaukot, LVIS-tekniset varaukset ja seinien päätyrajoittimet. Varaukset naulataan muotteihin tiukasti, niin etteivät ne pääse betonoinnin aikana liikkumaan. Liian runsasta naulausta on varottava, ettei muotin pinta vaurioidu. Varausten ja rajoittimien asentamisen jälkeen muottipinta puhdistetaan mahdollisesta liasta ja öljytään. (Ratu 0399 2012.) Kuvassa 9 muottipuolisko on valmis raudoitettavaksi ja LVIS-asennuksia varten.



Kuva 9. Muottipuolisko ja rajoittimet paikoilleen asennettuna

Raudoitus- ja LVIS-asennuksien jälkeen voidaan asentaa toinen muottipuolisko eli tuplata muotti. Ensimmäiseen muottipuoliskoon asennetaan tarvittavat tankovälikkeet ja toinen muottipuolisko voidaan nostaa paikoilleen. Puoliskot sidotaan

seinän läpi menevillä muottisiteillä ja -lukoilla toisiinsa. Ennen betonointia on tarkistettava muottien tuenta ja suoruus. Suoruus tarkistetaan myös betonoinnin jälkeen. (Ratu 0399 2012.)

Muotit voidaan purkaa, kun vaadittu purkulujuus on saavutettu, mikä on yleensä 60 % betonin nimellislujudesta. Purkutyö aloitetaan kiinnittämällä nostoapuväline viimeiseksi asennettuun muottipuoliskoon, eli siihen missä ei ole tukia. Muottisiteet irrotetaan ja kangella kiilaamalla muotti irrotetaan betoniseinästä. Muotti puhdistetaan välittömästi ja se voidaan siirtää suoraan seuraavaan asennus- tai varastointipaikkaan, missä se voidaan öljytä valmiiksi seuraavaa valua varten. (Ratu 0399 2012.)

4.2.3 Raudoitus

Muottipuolikkaan, varauksien, rajoittimien ja muotin öljyämisen jälkeen voidaan aloittaa varsinainen raudoitus työ. Muottien asennuksen aikana raudoittajat ovat valmistelleet tarvittavat teräkset työpisteellään. Teräkset katkotaan ja taivutetaan piirustuksien mukaisesti käsi- tai konekäyttöisillä teräksen katkaisu- ja taivutus-koneilla. Seinät voidaan raudoittaa yksittäistangoista, raudoiteverkoista, raudoite-elementeistä tai näitä yhdistelemällä. (Ruohomäki, Jormalainen, Pärssinen, Saarikivi & Söderholm 1999, 71; Ratu 0402 2012.)

Seinän raudoitus alkaa merkitsemällä vaaka- ja pystysuuntaiset jakomerkit muottiin. Merkitsemisen jälkeen osaan pystymerkeistä kiinnitetään raudoitusvälikkeet ja välikkeisiin kiinnitetään työteräkset, jotka toimivat myös varsinaisina teräksinä. Työteräkset toimivat siis pohjana raudoituksen asennustyölle. Työteräksien asentamisen jälkeen asennetaan vaakateräkset sitomalla ne työteräksiin jakomerkkien mukaisesti. Loput pystytangot sidotaan vaakatangoihin, jonka jälkeen voidaan asentaa U:n muotoiset asennuspukit. Pukkeihin sidotaan pystytangot ja toteutetaan raudoitus samalla tavalla kuin muottipintaan tehty raudoitus, mutta pystyteräkset tulevat vaakateräksien sisäpuolelle lähemmäs muottia. Raudoituksen kaikki risteyskohdat tulee sitoa toisiinsa ja varmistaa, että raudoitukset eivät pääse betonoinnin aikana liikkumaan. (Ruohomäki ym. 1999.) Kuvassa 10 muottipuolikas on raudoitettuna.



Kuva 10. Raudoitettu seinä valmis lämpölankojen asennusta varten

Raudoitusverkkoja tai raudoituselementtejä käyttämällä periaate on sama kuin yksittäistangoilla. Raudoitteiden paikat merkitään ja raudoitusvälikkeet kiinnitetään muottiin. Verkot tai elementit kiinnitetään välikkeisiin ja varmistetaan niiden kiinni pysyvyys, tarvittaessa leikataan muotissa olevien varauksien aukot verkkoon tai elementtiin. Verkkoja käyttäessä on kuitenkin tehtävä myös asennuspuikit. (Ratu 0402 2012.)

4.2.4 Betonointi

Väliseinien betonointi voidaan aloittaa muottitöiden, raudoitus ja tarvittavien LVIS-töiden jälkeen. Muottien suoruus tulee tarkistaa ennen betonointia ja betonoinnin jälkeen. Betonointi voidaan suorittaa kahdella tapaa, nostoastialla tai pumppaamalla. (Ratu 0403 2012.) Kuvassa 11 on nostoastia ja kuvassa 12 betonipumppuauto.

Nostoastialla betonoitaessa betoni otetaan suoraan betoniautosta astiaan tai välisiilon kautta. Betoni siirretään nosturilla työkohteeseen käsimerkein tai radiopu-

helimella. Betonoitaessa on oltava koko ajan näkö- tai radiopuhelinyhteys ohjauspaikan kanssa. Nostoastiassa tulee olla valuputki- tai sukka, sillä asuinkerrosta-
lon väliseinän korkeus on noin 2,6...2,8 metriä ja betonin pudotuskorkeus saa olla enintään 1...1,5 metriä. (Ratu 0403 2012.)



Kuva 11. Eichinger 1017 nostoastia (BAU-MET Oy)

Betonin pumppaaminen voidaan suorittaa kuljetuspumppuautolla tai betonipumppuautolla. Pumput ovat tehokkaita, joten valunopeus pitäisi pystyä silti pitämään suunnitellussa. Betonointi on pumpulla muuten samanlaista kuin nostoastialla. Pumpun ohjaajalla on oltava näkö- tai radioyhteys valajiin, mutta näköyhteyden avulla pumppua voidaan ohjata käsimerkein helpommin. (Ratu 0403 2012.)



Kuva 12. Ruduksen betonipumppuauto (Rudus Oy)

Onnistuneen betonoinnin tuloksena betoni on muotissa tasalaatuinen, saumaton ja täyttynyt tasaiseksi. Onnistuneen betonoinnin edellytyksiä ovat koko prosessi valamisesta tiivistämiseen ja jälkihoitoon. Seinien valamisen tärkeimmät onnistumisen edellytykset ovat:

- betonin pudotuskorkeus ei saa ylittää metriä
- betoni ei saa iskeytyä vinosti raudoitukseen tai muottipintaan
- valetaan tasaisina 30...50 cm:n kerroksina keskeytyksittä koko muotin pituudelta samalla täryttäen
- tärytys ulotettava noin 15 cm edelliseen kerrokseen
- edellinen kerros ei saa sitoutua
- betonin täryttäminen enintään 40 cm välein 15...20 sekunnin pistoilla
- muottia tai raudoituksen tärytystä vältettävä
- yläosien tiivistämiseen on kiinnitettävä erityistä huomiota niihin kertyvän ilman hitaamman ja vaikeamman poistumisen takia
- suunniteltua valunopeutta ei saa ylittää (Betoniteollisuus ry h).

4.2.5 Talvibetonointi

Talvibetonoinnista voidaan puhua, kun lämpötila laskee alle +5 °C:n. Taulukossa 4 on esitetty keskilämpötiloja eri puolilta Suomea kuukausittain. Esitetyt arvot ovat interpoloituja 10x10 kilometrin ruudukosta ja ne perustuvat niin sanottuun hila-aineistoon. Arvot voivat poiketa havaintoasemien arvoista, mutta ne luovat

alueellisen jakauman myös sieltä mistä varsinaisia säähavaintoja ei ole saatavilla. (Sahlstedt ym. 2013; Ilmatieteenlaitos.)

Betonille alhainen lämpötila tarkoittaa sitoutumis- ja kovettumisreaktion hidastumista, jos betonin lämpötilaa ei pystytä pitämään yllä. Betonimassan minimilämpötilan on oltava +5 °C, mutta lujuudenkehitys on niin hidasta, ettei se yleensä riitä normaaliin rakentamistahtiin. Massan lämpötila valitaan kuitenkin korkeammaksi mitä alhaisempi ulkolämpötila on. Betonimassan lämmittäminen yli +60 °C:n alentaa betonin loppulujuutta ja tätä tilannetta kutsutaan betonin lämpökäsittelyksi. (Uusitalo ym. 2000; Sahlstedt ym. 2013.)

Keskilämpötila (°C)	Havaintokaupunki									
	Helsinki	Turku	Tampere	Lappeenranta	Jyväskylä	Joensuu	Vaasa	Kajaani	Oulu	Rovaniemi
Tammi	-3,9	-4,0	-6,1	-7,5	-7,9	-9,6	-6,1	-10,8	-9,5	-11,4
Helmi	-4,7	-4,8	-6,7	-7,9	-8,2	-9,7	-6,6	-10,5	-9,2	-10,9
Maalis	-1,3	-1,4	-2,4	-3,1	-3,4	-4,4	-2,9	-5,3	-5,1	-6,0
Huhti	3,8	4,0	3,5	3,2	2,5	1,5	2,7	0,9	0,8	0,0
Touko	10,0	10,0	9,9	10,0	9,3	8,7	8,7	7,8	7,3	6,6
Kesä	14,5	14,4	14,4	14,7	13,9	14,1	13,6	13,0	13,2	12,5
Heinä	17,7	17,5	17,4	17,8	16,7	17,2	16,4	15,7	16,3	15,4
Elo	16,2	16,2	15,6	15,7	14,3	14,4	14,8	12,9	14,1	12,7
Syys	11,5	11,2	10,5	10,4	9,1	9,4	9,8	7,7	9,2	7,3
Loka	6,6	6,4	5,3	4,9	4,0	3,9	4,8	2,2	3,5	1,1
Marras	1,5	1,3	-2,0	-1,1	-1,6	-2,3	-0,5	-3,6	-2,6	-5,2
Joulu	-2,0	-2,1	-4,1	-5,3	-5,8	-7,1	-4,4	-8,3	-7,0	-9,4

< 0 °C	5-10 °C
0-5 °C	> 10 °C

Taulukko 4. Keskilämpötilat mitattu vuosilta 1980 – 2010 eri puolilta Suomea (Ilmatieteenlaitos; Sahlstedt ym. 2013)

Tärkeimmät betonin lujuudenkehityksen tarkasteluhetket talvibetonoitaessa ovat

- jäätymslujuuden saavuttaminen, mikä on kaikilla betoniluokilla vähintään 5 MN/m²
- muottien purkulujuuden saavuttaminen mikä on yleisohjeellisesti 60 % betonin nimellisljuudesta
- nimellisljuuden saavuttaminen eli betonin lujuusluokka (Sahlstedt ym. 2013).

Jäätymslujuudella tarkoitetaan sitä lujuutta, kun betoni kestää veden jäätymisestä aiheutuneet sisäiset rasitukset. Jos jäätymslujuutta ei saavuteta betonin loppulujuus jää vajaaksi sekä muut ominaisuudet kärsivät. (Sahlstedt ym. 2013.)

Talvibetonoinnissa on tärkeää seurata tuoreen ja kovettuvan betonin lämpötilaa. Lämpötiloja voidaan mitata perinteisellä lämpömittarilla, jolloin lämpötila mitataan betoniin asetetuista putkista tai elektronisilla mittareilla betoniin asennettujen antureiden avulla. Lämpötiloja mittaamalla pystytään laskemaan ja arvioimaan betonin lujuudenkehitys. Lämpötiloja tulisi seurata rakenteen kriittisistä pisteistä. Mittauskohtia rakenteissa ovat muun muassa seinien ja pilareiden alaosat sekä yläosat joihin kohdistuu yläpuolisista rakenteista suuria kuormia. (Sahlstedt ym. 2013.)

Betonin lujuudenkehitystä voidaan nopeuttaa usealla eri tavalla ja nopeuttamisen tarve riippuu tietysti työmaan aikataulusta ja muottikierrosta. Taulukossa 5 on esitetty keinoja muotinpurkulujuuden saavuttamiseksi. Lujuudenkehityksen nopeuttamista voidaan toteuttaa seuraavin keinoin:

- käytetään nopeasti kovettuvaa betonia
- korotetaan betonin lujuusluokkaa
- nostetaan betonimassan lämpötilaa
- lämmitetään valettua rakennetta
- lämmitetään liittyvät rakenteet
- eristetään tai suojataan valu
- yhdistellään edellä mainittuja. (Sahlstedt ym. 2013.)

Muottien purkulujuuteen tarvittava aika	Betoni	Lämmitys ja suojaus
1-2 vrk	Normaalisti kovettuvan betonin lujuusluokan korottaminen	Betonin lämmitys ja suojaus
	Nopeasti kovettuvan betonin lujuusluokan korottaminen	Betonin lämmitys ja suojaus
	Kuumabetoni	Reuna-alueiden lämmitys, suojaus
3 tai yli 3 vrk	Normaalisti kovettuva betoni	Tehokas lämmitys ja suojaus
	Kuumabetoni	Reuna-alueiden lämmitys ja suojaus
Arvioitava tapauskohtaisesti	Pakkasessa kovettuva betoni	Lämmitystä ei välttämättä tarvita. Suojattava.
	Tuotekohtaiset erot ja rajoitukset tulee huomioida	

Taulukko 5. Muotinpurkulujuuden nopeuttamisen keinoja (Sahlstedt ym. 2013)

Betonia voidaan lämmittää kuumailma-, infrapunasäteily- tai lankalämmityksellä. Kuumailma- ja infrapunasäteilylämmityksellä tilan tulee kuitenkin olla tiivis, joten nämä vaihtoehdot voidaan seiniä betonoitaessa poistaa. (Sahlstedt ym. 2013.)

Lankalämmitys toimii betonimuotin sisällä, joten se lämmittää betonia suoraan. Vaihtoehtoina ovat lämmityslanka tai -kaapeli. Lämmityskaapeli voidaan kytkeä suoraan verkkovirtaan, kun taas lämmityslangalla joudutaan käyttämään välissä muuntajia, jotka muuttavat työmaanjakokeskuksen kolmivaihevirrannan suojajännitteeksi. Lankalämmityksen etuna on se, että muottien purkamisen jälkeenkin rakenteen lämmitystä voidaan jatkaa. (Sahlstedt ym. 2013.)

4.2.6 Jälkihoito

Työmaalla paikallavaletun rakenteen jälkihoito on aloitettava välittömästi betonoinnin jälkeen. Jälkihoidolla pyritään aikaansaamaan olosuhteet, jossa rakenne saavuttaa sille asetetut ominaisuudet. Jälkihoidolla minimoidaan rakenteen halkeilu ja varmistetaan loppulujuuden saavuttaminen. Jälkihoito aika on vähintään kolme vuorokautta, mutta pakkas- ja kulutusrasituksen tai kemiallisen rasituksen

alaisilla rakenteilla se on vähintään seitsemän vuorokautta. (Suomen betoniyhdistys ry 2012, 331; Betoniteollisuus ry i.)

Muottia vasten olevat pinnat säilyttävät kosteuden itsestään, joten seinissä vain muottien avoin yläpinta tulee jälkihoitaa. Jälkihoito voidaan suorittaa kastelemalla betonipintaa, suojaamalla se muovikalvolla tai levittämällä jälkihoitoainetta. Seinän yläpään peittäminen muovilla on hyvä vaihtoehto jälkihoitoon, sillä kastelua ei tarvita vaan haihtuva kosteus tiivistyy muoviin. Muovilla peittäminen tulee kuitenkin olla huolellisesti tehty, kuten saumakohtien teippaukset ja muovin kiinnittäminen muotteihin. Muovi suojaa myös mahdolliselta sateelta. (Betoniteollisuus ry i.)

Betonin lujuudenkehitys tulee varmistaa kylmissä olosuhteissa lämpöeristämällä, lämmittämällä ja lujuudenkehitystä seuraamalla. Kohdassa 4.2.5 on kerrottu tarkemmin talvibetonoinnista. (Suomen betoniyhdistys ry 2012, s. 332.)

4.3 Tarvittavat resurssit ja tuotannon nopeus

4.3.1 Muottityö

Muottityöryhmään kuuluu kolme työntekijää sekä nostokoneen kuljettaja. Työmenekki T3 on 0,49 tth/muotti-m², mikä sisältää esivalmistuksen, paikan mittauksen, muotin pystytyksen ja purun sekä sen puhdistuksen ja öljyämisestä purun jälkeen. Taulukossa 6 on esitetty muottityön työmenekit ja suoritemäärien vaikutukset. (Ratu 0399 2012.)

Työnosa		Työmenekki [tth/muotti-m2]			
Siirrot nostokoneella		0,05			
Esivalmistus		0,04			
Mittaustyö		0,03			
Muotin pystytys		0,25			
Muotin purku, lajittelu ja karkea puhdistus		0,1			
Muottitarvikkeiden puhdistus, öljyäminen ja kokoaminen taakoiksi		0,02			
Talven vaikutus, lisä		+0,04			
Suoritemäärän vaikutus					
muotti-m2	<= 500	1000	2000	4000	>=8000
kerroin	1,1	1,05	1,0	0,95	0,9

Taulukko 6. Järjestelmämuottityön menekit ja suoritemääräkertoimet (Ratu 0399 2012)

Esimerkki:

Tässä esimerkissä lasketaan yhden kerroksen väliseinien muottityöhön kuluva aika kolmen työntekijän ryhmällä. Oletetaan kerroksessa olevan 80 m² muotittavaa seinien pinta-alaa. Kaavoilla 1 ja 2 lasketaan työryhmän työnkesto.

$$\text{Kokonaistyömenekki} = 80 \times 0,49 = 39,2 \text{ tth}$$

$$\text{Työnkesto} = 39,2 / (3 \times 8) = 1,6 \text{ tv}$$

4.3.2 Raudoitus

Raudoitustyöryhmä on 1–2 työntekijää riippuen raudoituksen määrästä ja aika-
taulusta. Raudoitustyön työmenekki T3 riippuu raudoitettavasta osasta ja teräksen poikkileikkauksen koosta. Työ sisältää raudoituksen katkaisun, taivutuksen, niputuksen, nostot ja asennuksen. Taulukossa 7 on esitetty raudoitustyön menekit ja suoritemäärän vaikutukset. (Ratu 0402 2012.)

Työnosa		Työmenekit [tth/1000kg]			
Siirrot					
-käsiniirrot, lyhyet siirtomatkat		0,5			
-nosturi		0,1			
Raudoitus					
Seinät 8 mm		13,0			
Seinät 10 mm		7,3			
Hissikuilu 8mm		12,0			
Hissikuilu 10 mm		10,0			
Koneellinen katkaisu ja taivutus		3,3			
-läpimitta pieni					
Suoritemäärän vaikutus					
kg	<=5000	10000	20000	40000	>= 8000
kerroin	1,10	1,05	1,00	0,95	0,90

Taulukko 7. Väliseiniä raudoituksen työmenekit ja suoritemäärän vaikutukset (Ratu 0402 2012)

Esimerkki:

Lasketaan raudoitustyöhön kuuluva aika kohdan 4.3.1 väliseinille. Raudoitustyö suoritetaan kahden työntekijän ryhmänä. Katkaisu ja taivutus suoritetaan koneellisesti ja nostoissa käytetään apuna nosturia. Oletetaan raudoituksen määrän olevan 2 kg/m² jolloin raudoituksen määräksi saadaan 160 kg. Harjateräksen koko on halkaisijaltaan 10 mm, työmenekki on silloin 10,7 tth/1000kg. Lasketaan työhön kuuluva aika kaavoilla 1 ja 2.

$$\text{Kokonaistyömenekki} = 160 \times 10,7 / 1000 = 1,71 \text{ tth}$$

$$\text{Työn kesto} = 1,71 / 2 \times 8 = 0,12 \text{ tv}$$

4.3.3 Betonointi

Betonointiryhmään kuuluu 2–3 työntekijää sekä nostoastiabetonoinnissa nostokoneen kuljettaja. Betonointityöt voidaan suorittaa, kun muotti- ja raudoitustyöt ovat valmiit. Betonoinnin työmenekki T3 nostoastiabetonoinnissa on 0,34 tth/m³ ja pumputessa 0,33 tth/m³. Taulukossa 8 on esitetty seinien betonoinnin työmenekit ja suoritemäärän vaikutukset. (Ratu 0403 2012.)

Työnosa		Työmenekki [tth/m ³]				
Aloittavat työt		0,04				
Pumppubetonointi		0,26				
Nostoastiabetonointi		0,27				
Lopettavat työt		0,03				
Suoritemäärän vaikutus						
m ³	50	100	200	400	800	1600
kerroin	1,15	1,10	1,05	1,0	0,95	0,90

Taulukko 8. Seinien betonoinnin työmenekit ja suoritemäärän vaikutukset (Ratu 0403 2012)

Esimerkki:

Lasketaan kohdan 4.3.1 seinämuottien betonointiin kuluva aika kaavoilla 1 ja 2 kahden työntekijän ryhmänä. Työ suoritetaan pumppubetonointina ja seinän paksuus on 200 mm. Betonoitavaa on siis 16 m³ ja työhön kuuluu aloittavat sekä lopettavat työt.

$$\text{Kokonaistyömenekki} = 16 \times 0,2612 = 4,2 \text{ tth}$$

$$\text{Työn kesto} = 4,2 / 2 \times 8 = 0,26 \text{ tv}$$

4.4 Työturvallisuus

4.4.1 Muottityön turvallisuus

Muottityön vaaroja ovat muun muassa muotin kaatuminen, muotin putoaminen nostoissa, muotin heiluminen, muotin ja rakenteiden väliin puristuksiin joutuminen ja henkilöiden putoaminen. (Palolahti, Koskenvesa, Lindberg, Sahlstedt & Mittaviiva Oy 2008.)

Muotit jäykistetään, sidotaan ja tuetaan muottivalmistajan ohjeiden mukaisesti. Muottien nostojen aikana nostoalueella liikkuminen tulee estää ja muotteja tulee nostaa ainoastaan muottivalmistajan ohjeiden ja siihen soveltuvien nostoapuvälineiden kanssa. Muottien työnaikainen tukeminen tehdään muottisuunnitelman mukaisesti. (Palolahti ym. 2008.)

Muottiin asennettavat työtasot, telineet ja tikkaat kiinnitetään muottiin valmistajan ohjeiden mukaisesti, ennen muottien asennusta. Jos muotin työtasolle eli valuteleineelle kiipeämiseksi ei saada tai pystytä asentamaan tikkaita on pystytettävä erillinen teline, josta voidaan turvallisesti nousta ylös. Mikäli kaiteita joudutaan poistamaan työtasolta, on käytettävä henkilökohtaista putoamissuojausta. (Palolahti ym. 2008.)

Muottien purkuvaiheessa alueella ei saa olla muita työntekijöitä ja purkuvaiheessa on oltava riittävän sivussa sillä muotti voi heilahtaa rajusti. Muotit puretaan vastaavan työnjohtajan tai rakennesuunnittelijan luvalla, purkujärjestyksen mukaisesti. Muotissa eikä muotin työtelineellä saa olla putoavia osia, jotka voivat aiheuttaa vaaraa. (Palolahti ym. 2008.)

4.4.2 Raudoitustyön turvallisuus

Raudoitteiden esivalmistuspisteellä ja varsinaisen työn suorituspaikalla on huolehdittava riittävästä valaistuksesta sekä yleissiisteydestä. Työntekijöiden tulee olla perehtyneitä raudoitetaivuttimen ja -katkaisimen käyttöön. Seinää raudoittaessa tai raudoituselementtejä kasattaessa esiin pistävät pystyraudoitteet tulee suojata ja sidelangat taivuttaa aina kohti rakenteen sisäosia. Hukkapätkille eli jääteteräksille on oltava oma keräyslaatikko, johon jätteet kerätään työn edetessä. (Talorakennusteollisuus ry 2018, 74.)

Tankoniput nostetaan tarkastetuilla kiristyvillä nostoapuvälineillä kuten ketju- tai liukurakseilla. Raudoituselementtejä saa nostaa ainoastaan suunnittelijan hyväksymistä apunostolenkeistä. Sidontalangoista ei koskaan saa nostaa, sillä langat eivät kestä nostoa. (Talorakennusteollisuus ry 2018, 74.)

Raudoitustyössä käytettävien pukkien ja telineiden on oltava määräysten mukaisia. Henkilökohtaista putoamissuojausta on käytettävä, jos telineen putoamissuojaukset on tilapäisesti poistettu. (Talorakennusteollisuus ry 2018, 74.)

4.4.3 Betonoinnin turvallisuus

Ennen betonointia on tutustuttava betonointisuunnitelmaan. Väliseinämuoteissa olevien työtasojen kunto ja putoamissuojaus on tarkistettava sekä tarvittaessa korjattava. Perussuojainvarustuksen lisäksi on arvioitava tarvittavat lisäsuojaukset kuten vedenpitävät työkäsineet ja kasvonsuojus, sillä tuore betoni voi aiheuttaa ihoärsytystä tai allergisen palovamman. Betonin tärytyksessä on käytettävä kuulosuojaimia, kun melutaso ylittää 85 dB. (Talorakennusteollisuus ry 2018, 75; Betoniteollisuus ry j.)

Nostoastian kuormitettavuus vaihtelee 1100–4000 kg välillä eikä nostoastian kuormituksen rajaa saa ylittää. Nostoastiassa tulee olla merkintä maksimikuormasta, valmistajasta, valmistenumeroista ja CE-merkistä. Nostoastian kunto tarkastetaan aina ennen käyttöä ja sitä huolletaan tarvittaessa. Huomiota on kiinnitettävä runkoon, kiinnityskoukkuihin, nostolenkkeihin, lukituslaitteisiin ja tyhjennysluukkuun. Betonoitaessa voidaan käyttää toista merkinantajaa, jos nostoastian käyttäjä ei voi jatkuvasti ohjata sen liikkumista betonoinnin edetessä. (Talorakennusteollisuus ry 2018, 168.)

Betonipumpun pystyttämällä vaikutetaan ratkaisevasti turvalliseen lopputulokseen. Pystytyspaikan maan tulee olla kantava ja sen on sijaittava niin, ettei mahdollisia ilmajohtoja ole tiellä. Betonipumpun pystytyksen jälkeen suoritetaan pystytystarkastus, missä tarkastetaan muun muassa syöttöputkiston kunto, pääletkun kiinnitys, tukijalkojen perustus, pumppuauton rakenteellinen tarkastus, kuljettajan näköyhteys valukohteeseen ja pumppuauton käyttö- ja huolto-ohjeet sekä muut tarvittavat asiapaperit. Jos betonisylintereihin pääsee ilmaa, se kertyy

putkistoon paineilmaksi, tällöin pumppu on pysäytettävä välittömästi. (Talonrakennusteollisuus ry 2018, 75; Rakennustuoteteollisuus ry 2010.)

4.5 Sääolosuhteet

Paikallarakentamisessa kuumuus ja kylmyys vaikuttavat samoin kuin elementeillä rakennettaessa. Kuumuuden ja kylmyyden vaikutuksista kerrotaan lisää opinnäytetyön kohdassa 3.4.

Järjestelmämuottien kevyen rakenteen ja suuren pinta-alan vuoksi tuulen vaikutus tulee huomioida muottityössä. Elementtien nostolle on asetettu raja-arvoksi 15 m/s, mutta järjestelmämuoteille ei ole kerrottu tarkempaa rajaa. Muotit lähtevät voimakkaaseen pyörimisliikkeeseen kovassa tuulessa mikä aiheuttaa vaaraa, jolloin muotteja ei nosteta. (Keskitalo.)

Talvella lumen ja jään poisto muoteista sekä raudoituksesta aiheuttaa lisätöitä. Suojaamattomaan muottiin kertynyt lumi tai jää voidaan poistaa höyryttämällä juuri ennen valua, niin että sulanut lumi ja jää ei pääse uudelleen jäätymään muotin pohjalle. (Keskitalo.)

5 Betonipintojen jälkityöt

Betonipinnoille joudutaan hyvin usein tekemään etuoikaisua, ennen varsinaisia tasoitus ja maalaustöitä. Näitä ovat betonipintojen ylihionta, oikaisu laastilla tai ruiskubetonointi. (Ratu 0408 2012.)

Jälkityöt betonipinnoille voivat syntyä monesta eri tekijästä kuten rakentamis-, valmistus-, paikalleen mittaus-, asennus-, ulottuvuus-, kulma-, muoto-, suoruu- tai tasopoikkeamasta. Lisäksi paikallavalettavien seinien muottisiteistä aiheutuvien reikien paikkaus on yksi jälkityö. (RT 02-10996 2010.)

Betonisille väliseinäelementeille on esitetty kaksi mittatarkkuusluokkaa tuotestandardissa SFS-EN 14992. Luokat ovat A ja B, joista A on tiukempi. Luokka B on niin sanottu normaaliluokka ja A on erikoisluokka. Normaaliluokkaa käytetään lähes aina tavanomaisissa rakennuksissa. Toleranssilla tarkoitetaan mitan

sallittua vaihtelua, jonka tarkemmat käsitteet ovat toleranssiväli ja toleranssileveys. Väliseinän valmistustoleranssit normaaliluokassa ovat seuraavat:

- pituus ja korkeus ± 10 mm
- paksuus ± 5 mm
- ristimittojen ero 15 mm
- kierous ± 15 mm
- sijainti pinnan suunnassa ± 15 mm
- sijainti syvyysuunnassa ± 5 mm
- ovet ja ikkunat
 - o joka suunnassa ± 15 mm
 - o kulmien sijainti 10 mm
- elementin käyritysmä $L/400$, L =pituus. (Betoniteollisuus ry l.)

Pintojen suoruudet tarkastetaan ja merkitään oikaistavat tai ylihiottavat alueet. Oikaistavien alueiden rakenteet, varusteet ja laitteet suojataan, etteivät ne vaurioidu työn aikana. Pölyävissä työvaiheissa pölyntorjunta suunnitellaan etukäteen ja käytetään pölyä kerääviä koneita ja imureita sekä tarvittaessa rajataan pölyävät tilat. (Ratu 0408 2012.)

6 Kustannuksien vertailu

Väliseinien paikallarakentamisen ja elementtirakentamisen kustannuksia vertaillaan samasta kohteesta, johon tämän opinnäytetyön jälkilaskentakin suoritetaan. Kohde on kahdeksankerroksinen asuinkerrostalo, jossa kerrokset 2–8 ovat identtisiä ja jokaisessa kerroksessa on viisi asuntoa. Ensimmäisessä kerroksessa sijaitsee rakennuksen väestönsuoja, yleiset tilat, sähköpääkeskus, lämmönjakuhuone, teletila sekä kaksi asuntoa.

Kustannuslaskelmissa käytetään RT-kustannuslaskennan mukaisia yksikköhintoja materiaaleille ja työtä suorittaville työntekijöille. Kalustokustannukset on laskettu RT-kustannuslaskennan sekä Skanska Konevuokrauksen hintojen mukaan. Laskelmissa työ suoritetaan omana työnä eli ei ole erillisiä urakoita. Työt sisältävät sosiaalikulut 66 %, materiaali- ja kalustolaskelmat on laskettu alv. 0 %

hinnoin. Määrät on laskettu rakennuksen rakennekuvista ja -detaljeista. Laskelmissa ei ole huomioitu kustannuksiin vaikuttavia aikataulullisia riippuvuuksia.

6.1 Elementtityön kustannukset

Elementtiasennustyön suoritus on laskettu yksinkertaisesti ja teoreettisesti kolmella elementtiasentajalla. Työmenekkeinä on käytetty Ratu:n työmenekkejä. Laskennassa ei ole otettu huomioon esimerkiksi sitä, että mittauksen voi suorittaa mittakirvesmies tai pystysaumapumpppauksessa aliurakoitsija. Elementtiasennuksen määrä on laskettu neliöiden avulla, sillä määrää on vaikea arvioida kapaleittain. Taulukossa 9 on esitetty elementtiasennustyöhön kuluva T3 aika ja kustannukset. Taulukoissa SMK tarkoittaa suoritämääräkerrointa.

Työnosa	Määrä	Yksikkö	Työosan työmenekki [tth/yks]	Yhteensä [tth]	SMK	Kokonaistyömenekki [tth]	Työnkesto [h]	Työnkesto [tv]	Kustannus [€]
Välivarastointi	1091	m2	0,025	27,3	0,9	24,5	8,2	1,0	926,2
Mittaus	1091	m2	0,015	16,4	0,9	14,7	4,9	0,6	555,7
Asennus	1091	m2	0,18	196,4	0,9	176,7	58,9	7,4	6668,8
Pystysaumapumpppaus tukkolaudoituks	1091	m2	0,03	32,7	0,9	29,5	9,8	1,2	1111,5
			YHT.	272,75		245	81,8	10,2	9262,2

Taulukko 9. Väliseinäelementtityön menekit ja kustannukset työosittain koko kerrostaloon

Elementtiasennuksessa tarvittavat kalustokustannukset on laskettu täysin Skanska Konevuokrauksen vuokraushintoja käyttämällä. Kalustokustannuksissa ei ole huomioitu tarvittavaa nostolaitteistoa kuten torninosturia. Kustannukset muodostuvat pelkästään väliseinäelementtityön työnkeston mukaan, eikä laskelmissa ole huomioitu rakennuksen muun rungon tuotantoa. Taulukossa 10 on esitetty tarvittava kalusto ja kustannukset. Käsityökaluissa on huomioitu mutterinväännin ja iskuporakone.

Kalusto	Määrä	Yksikkö	Vuokra [€/pv]	Vuokrapäivät	Kustannus [€]
Robotti takymetri	1	kpl	137,45	11	1511,95
Tasolaser	1	kpl	36,41	11	400,51
Elementtituki	40	kpl	0,37	11	162,8
Nostokori elementituille	1	kpl	2,52	11	27,72
Alumiinitelineet	1	kpl	10,33	11	113,63
Elementtipukki	1	kpl	20,11	11	221,21
Betonisekoitin	1	kpl	23,67	11	260,37
Kottikärry nostokorvilla	1	kpl	5,36	11	58,96
Roskakärry	1	kpl	7,2	11	79,2
Käsityökalut			21,07	12	252,84
				YHT.	3089,19

Taulukko 10. Väliseinäelementtityöhön tarvittavan kaluston määrä ja kustannukset

Väliseinäelementtien materiaalikustannukset on laskettu RT-kustannuslaskennan tietojen mukaisesti. Pystysaumojen määrä on arvioitu mahdollisen elementtijaon mukaan. Taulukossa 11 on väliseinäelementtien ja materiaalien kustannukset. Kustannukset on laskettu samalla periaatteella kuin kalustokustannukset.

Materiaali	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta [€]	Yhteensä [€]
Väliseinäelementit	1091	m ²	80,4	87716,4
Sementtilaasti K30, alasaumat	1600	kg	0,11	176
Pystysaumausbetoni, teräset ja laudoitus	569,7	m	6,65	3788,5
Kiinnitystarvikkeet				1000
			YHT.	92680,91

Taulukko 11. Elementtityön materiaali kustannukset.

Väliseinäelementtityön materiaalien ja kaluston kuljetuksista aiheutuvia kustannuksia ei ole huomioitu työssä, sillä toimittajan ja urakoitsijan väliset sopimukset voivat poiketa toisistaan paljon.

6.2 Väliseinien paikallarakentamisen kustannukset

Väliseinien paikallarakentamiseen liittyvät kustannukset on laskettu käyttämällä kolmea muottikirvesmiestä, joiden ansio on sama kuin elementtiasentajilla. Raudoitus- ja betonointityön laskelmissa on käytetty kahta työntekijää. Paikallarakentamisen muottityöt on laskettu järjestelmämuoteilla tehtäviksi. Saadut työnkestit ovat Ratu:n menekeillä laskettuja T3 aikoja.

Taulukossa 12 on esitetty muottitöihin kuluva aika ja työn kustannukset. Muottityöntekijät suorittavat kaikki muottityöhön kuuluvat tehtävät. Taulukossa 13 on esitetty raudoitustyöhön kuluva aika ja kustannukset sekä taulukossa 14 betonointiin kuluva aika ja kustannukset. Raudoituksessa käytetty työmenekki on 10 millimetrin harjateräksen työmenekki ja betonointi tapahtuu pumppaamalla.

Työnosa	Määrä	Yksikkö	Työnosan työmenekki [tth/yks]	Yhteensä [tth]	SMK	Kokonaistyömenekki [tth]	Työnkesto [h]	Työnkesto [tv]	Kustannus [€]
Siirrot nostokoneella	1091	m2	0,05	54,6	1,05	57,3	19,1	2,4	2161,2
Esivalmistus	1091	m2	0,04	43,6	1,05	45,8	15,3	1,9	1728,9
Mittaustyö	1091	m2	0,03	32,7	1,05	34,4	11,5	1,4	1296,7
Muotin pystytys	1091	m2	0,25	272,8	1,05	286,4	95,5	11,9	10805,9
Muotin purku, lajittelu ja karkea puhdistus	1091	m2	0,1	109,1	1,05	114,6	38,2	4,8	4322,4
Muottitarvikkeiden puhdistus, öljyäminen ja kokoaminen	1091	m2	0,02	21,8	1,05	22,9	7,6	1,0	864,5
YHT.				534,6		561,3	187,1	23,4	21179,6

Taulukko 12. Muottityöhön kuluva aika ja kustannukset

Työnosa	Määrä	Yksikkö	Työnosan työmenekki [tth/yks]	Yhteensä [tth]	SMK	Kokonaistyömenekki [tth]	Työnkesto [h]	Työnkesto [tv]	Kustannus [€]
Siirrot, nosturi	12895	kg	0,2	2,6	1,1	2,8	1,4	0,2	84,5
Raudoitus, seinät	12895	kg	7,3	94,1	1,1	103,5	51,8	6,5	3085,4
Koneellinen katkaisu ja taivutus	12895	kg	3,3	42,6	1,1	46,8	23,4	2,9	1394,8
YHT.				139,3		153,2	76,6	9,6	4564,7

Taulukko 13. Raudoitukseen kuluva aika ja kustannukset

Työnosa	Määrä	Yksikkö	Työnosan työmenekki [tth/yks]	Yhteensä [tth]	SMK	Kokonaistyömenekki [tth]	Työnkesto [h]	Työnkesto [tv]	Kustannus [€]
Aloittavat työt	215	m3	0,04	8,6	1,05	9,0	4,5	0,6	174,1
Betonointi	215	m3	0,26	55,9	1,05	58,7	29,3	3,7	1131,6
Lopettavat työt	215	m3	0,03	6,45	1,05	6,8	3,4	0,4	130,6
YHT.				70,95		74,5	37,2	4,7	1436,3

Taulukko 14. Betonointiin kuluva aika ja kustannukset pumppaamalla

Muottityöhön tarvittavan kaluston hinnat on otettu Skanska Konevuokrauksen vuokraushinnoista ja RT- Kustannuslaskennan hinnoista. Muottikalusto sisältää kaikki tarvittavat osat, tuet, työtasot ja tikkaat. Muottikaluston hintaa on hieman muokattu kohteen todellisesta hinnasta, sillä RT-Kustannuslaskennan antama hinta järjestelmämuotin vuokrasta oli todella alhainen. Muottikalustoon kuuluu yksi kuilumuotti, muuten muotit eivät sisällä kulmia. Taulukossa 15 on esitetty paikallarakentamisen kalustokustannukset.

Kalusto	Määrä	Yksikkö	Vuokra [€/pv]	Vuokra-aika [pv]	Kustannus [€]
Robotti takymetri	1	kpl	137,45	35	4810,75
Muottikalusto sis. tarvikkeet, työtasot ja tikkaat	70	m2	267	35	9345
Raudoitteen taivuttaja	1	kpl	52,29	35	1830,15
Raudoitteen katkoja	1	kpl	33,52	35	1173,2
Betonivibra	1	kpl	31,11	35	1088,85
Roskakärry	2	kpl	7,2	35	504
Elementtikompateline (muottien turvalliseen varastointiin)	1	kpl	17,3	35	605,5
Jiirisaha	1	kpl	8,81	35	308,35
Betonipumppu	37	h			3700
				YHT.	23365,8

Taulukko 15. Paikallarakentamisen kalustokustannukset

Paikallarakentamisen materiaalikustannuksissa on huomioitu väliseiniä liittymien ulkoseiniin ja elementtihormeihin pumppaamalla. Sahatavarat varauksiin ja rajoittimiin on laskettu kahden kerroksen määrällä, sillä hyvin öljyttynä ja puhdistettuna ne ovat uudelleen käytettävissä. Taulukossa 16 on esitetty paikallarakentamisen materiaalikustannukset.

Materiaali	Määrä	Yksikkö	Yksikköhinta [€]	Yhteensä [€]
Betoni C30/37 #16 sis. pumppauksen hukka	227	m3	100	22700
Teräs A500HW, 10 mm	12895	kg	0,82	10573,9
Pystysauma betoni, teräs ja laudoitus	187	m	6,65	1243,55
Sahatavara varauksiin	60	jm	3,2	192
Sidelanka	90	kg	2,5	225
Vaijerilenkki	350	kpl	1	350
			YHT.	35284,45

Taulukko 16. Paikallarakentamisen materiaali menekit ja kustannukset.

6.3 Paikallarakentamisen ja elementtityön vertailu sekä tulokset

Paikallarakentamiseen ja elementtityöhön kuluva työaika laskettiin T3 aikana, joka ei ota huomioon keskeytyksiä. Kaluston vuokraus perustui saatuun työaikaan, joten muun rakennuksen rungon rakentamisajan vaikutusta ei ole huomioitu vuokrissa. Taulukossa 17 on esitetty kokonaiskustannukset molemmille vaihtoehdoille.

	Väliseinäelementti	Paikallarakentaminen
Työ [€]	9262,21	27180,59
Materiaalit [€]	92680,91	35284,45
Kalusto [€]	3068,12	23365,80
YHT.	105011,24	85830,84
ERO	19 180,40 €	

Taulukko 17. Vihreällä esitetty kustannukseltaan halvempi vaihtoehto ja viimeisessä sarakkeessa töiden erotus

Laskelmien mukaan kohteen väliseinien paikallarakentaminen hyvissä olosuhteissa ilman häiriöitä on 19201,47 euroa halvempi vaihtoehto kuin rakentaminen elementeillä. Suurimmat vaikutukset ovat tietysti elementtien hinnoilla ja paikallarakentamisessa yksi suuri tekijä on muottikaluston vuokraushinta.

6.4 Talven vaikutus

Talvella on omat vaikutuksensa rakentamiseen. Talvi lisää lumi- ja jäätöitä, lämpösuojauksia sekä rakenteiden lämmitystä. Talvirakentaminen lisää koneita, kalustoa, energiankulutusta, työmenekkiä ja rakennusmateriaalien kulutusta. Talven vaikutukset useimmiten viivästyttävät rakentamista ja ne lisäävät kustannuksia. Työn vaatimaa lisätyötä voidaan kuitenkin korvata suuremmilla työryhmillä tai lisäämällä resursseja, mikä aiheuttaa kustannuksia, mutta se voi vähentää viivästyksiä. Talven vaikutukset tuleekin ottaa huomioon jo aikaisessa vaiheessa. Taulukossa 18 on esitetty runkotyövaiheen lisäkustannukset prosentteina.

Kustannuslajit	Runkotyövaiheen lisäkustannukset (%)
Työmenekkilisä	0,6...0,7
Materiaalilisä	0,6...0,9
Energialisä	1,2...1,4
Kone- ja kalustolisä	1,2...1,4
Talvilisätyöt	0,7...0,9
Aikakustannuslisä	1,0...1,2
Yhteensä	5,5...7,5

Taulukko 18. Talven vaikutukset runkotyövaiheen kustannuksiin (Ratu C8-0377 2010)

Talven heikommät sää- ja valaistusolosuhteet, lämpötila, lumisade, lumi, jää ja talviolosuhteet pienentävät työsaavutusta ja lisäävät töiden keskeytyksiä. Talvilisätyitä ovat esimerkiksi elementtiasennusryhmän tekemät suojaus-, lumi- ja jäätyöt. Materiaalihukkaa lisää esimerkiksi muottien purussa rakenteeseen kiinni jäätyneet muottitavarat, jotka irrotessaan rikkoontuvat helposti. Materiaalien kustannuksiin vaikuttaa tarvittavat peitteet, lämmityslangat ja pakkasbetonin käyttö. Talvella tarvitaan lisää koneita ja kalustoa lämmitykseen, lumen ja jään poistoon tai sulatukseen mistä aiheutuu taas lisäkustannuksia. Energiatarve kasvaa, kun joudutaan lämmittämään betonivaluja, valaisemaan työmaata, sulattamiseen ja koneiden käyttöön. (Ratu C8-0377 2010.)

Taulukossa 19 on esitetty talvirakentamisen vaikutus elementtityön työaikaan ja kustannuksiin. Elementtityössä talviolosuhteet vaikuttavat 20 % lämpötilan ollessa -2,5...-7,5 astetta. Taulukossa 20 esitetään talviolosuhteiden vaikutus paikallarakentamisen työaikaan ja kustannuksiin, jos rakennus rakennettaisiin vain talviaikaan lämpötilan ollessa -2,5...-7,5 astetta.

Olosuhde	Kokonaistyö menekki [tth]	Työnkesto [h]	Työnkesto [tv]	Kustannus [€]
Kesä	245,0	81,8	10,2	9262,20
Talvi -2,5...-7,5	294,0	98,2	12,2	11093,15
Ero	49,0	16,4	2,0	1830,95

Taulukko 19. Talviolosuhteiden vaikutus rakennettaessa väliseinät elementeillä

Olosuhde	Kokonaistyö menekki [tth]	Työnkesto [h]	Työnkesto [tv]	Kustannus [€]
Kesä	789,0	301,0	38	28125,55
Talvi -2,5...-7,5	890,5	342,3	43	30414,14
Ero	101,5	41,4	5,2	2288,59

Taulukko 20. Talviolosuhteiden vaikutus muottityöhön on 10 %, raudoitukseen 15 % ja betonointiin pumpulla 30 %

Materiaalikustannuksien vaikutus elementtirakentamisessa on pieni, mutta paikalla rakentaessa kustannuksia lisää betonin ominaisuuksien muuttaminen ja betonin lämmittäminen. Taulukkoon 21 on koottu yhteen elementti- ja paikallarakentamisen erot talvella ja kesällä.

	Paikalla- rakentaminen	Elementti- rakentaminen
Työvuorot kesä [tv]	37,6	10,2
Työvuorot talvi [tv]	42,8	12,2
Työkustannus kesä [€]	28128,55	9262,21
Työkustannus talvi [€]	30414,14	11093,15
Materiaalit kesä [€]	35284,45	92680,91
Materiaalit talvi [€]	46052,84	93006,36
Kalusto kesä [€]	23365,8	3068,12
Kalusto talvi [€]	27860,84	3625,96
Kokonaiskustannus kesä [€]	85830,84	105011,24
Kokonaiskustannus talvi [€]	104327,82	107725,47

Taulukko 21. Elementti- ja paikallavalurakentamisen aika- ja kustannuserot kahdeksan kerroksisessa kerrostalossa.

7 Jälkilaskenta

7.1 Periaate ja tarkoitus

Jälkilaskenta suoritetaan rakennuskohteen ja sen osien toteutuneiden kustannusten perusteella. Tarkoituksena on tarkistaa taloudellinen onnistuminen ja laskea määrät ja hinnat. Tällä voidaan tuottaa tietoa yritykselle uusien kohteiden kustannusarvio- ja tarjouslaskentaan varten sekä ylläpitää kustannustiedostoja. (Lindholm 2009; Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1999.)

Jälkilaskennalla saatua tietoa verrataan kustannuslaskelmiin eli tavoitetta ja toteumaa verrataan toisiinsa. Tällä voidaan löytää erot kustannuslaskennan ja tuotannon välillä. Tieto on tärkeää, koska sillä voidaan kehittää yrityksen tuotantoprosessia ja kustannuslaskentaa, mutta tietojen oikeellisuus ja käyttökelpoisuus tulee tarkistaa jälkilaskentaa tehtäessä. Hankkeessa tavoitekustannukset voivat ylittyä ja alittua. (Lindholm 2009.)

7.2 Toteutus

Jälkilaskenta jakaantuu kolmeen osaan. Ensin hankkeen aikana kerätään järjestelmällisesti kustannustietoa tarkkailunimikkeestä ja jälkilaskenta suoritetaan kustannusnimikkeen. Tarkkailunimikkeen suunnitelmanmukaiset ja tuotannon toteutuksen mukaiset kustannustiedot kerätään jälkilaskentaa varten. (Enkovaara ym. 1999.)

Hankkeen jälkeen pidetään jälkilaskentakokous, johon osallistuu työtä suunnitellut työnjohto, työmaan johto ja kustannuslaskijat. Kokouksessa käydään läpi tarkkailunimikkeet sekä niiden tavoitekustannus ja toteuma. Tavoitekustannuksista poikkeavat nimikkeet ja litterat käydään läpi ja syyt poikkeamiin selvitetään. (Lindholm 2009.)

Hankkeen valmistuttua ja jälkilaskennan jälkeen tehdään kohdekansio. Kohdekansioon kerätään kaikki tiedot hankkeen kustannuslaskennasta, tarjoushinnan määrittämisen asiakirjoista ja toteutukseen liittyvistä asiakirjoista. Lisäksi kohdekansiossa ovat kerrotaan tiedot hankkeen laadusta, ominaisuuksista, olosuhteista sekä kustannustavoitteista ja toteutuneista kustannuksista. (Lindholm 2009; Enkovaara ym. 1999.)

Kun kohde tai kohteen osa on mennyt hyvin, siitä voidaan tehdä viitekohde eli niin sanottu mallikohde. Viitekohdetta voidaan käyttää apuna vastaavassa uudessa kohteessa tai sen osan laskennassa (Enkovaara ym. 1999.)

7.3 Hyödyntäminen jatkossa

Jälkilaskenta-aineistoista kerätään yritykselle tilastoja, joita voidaan hyödyntää kustannustason ja kustannusarvioiden tarkkuuden tutkimiseen. Aineistoa tulisi kerätä samoin periaattein hankkeista, jotta tilastojen käsittely olisi luotettavaa.

Kun tilastoja on kerätty, voidaan niitä hyödyntää myös tuotannosuunnitteluun ja tavoitebudjetin asettamiseen sekä työmaatekniikan kustannusstandardien luomiseen. (Enkovaara ym.1999.)

Tilastotietojen avulla voidaan myös löytää ne nimikkeet, joissa on jostain syystä kustannuseroja tavoitteen ja toteuman välillä. Yrityksen laskentajärjestelmän ylläpidon toimenpiteet voidaan kohdistaa niihin nimikkeisiin. (Enkovaara ym. 1999.)

8 Tulokset

8.1 Elementti vs. paikallarakentaminen

Opinnäytetyössä vertailtiin kahdeksankerroksisen asuinkerrostalon kantavien väliseinien, hissi- ja porraskuilujen toteutusta paikallavalurakenteisina ja elementteinä. Rakennus on todellisuudessa suunniteltu ja toteutettu paikallavalurakenteisena. Seinien, hissi- ja porraskuilujen pinta-alojen mukaan on laskettu toteutus elementtirakenteisena. Molempien töiden kestot on laskettu käyttämällä kirjaa Rakennustöiden menekit 2015.

Paikallavalurakentamiseen kuluva aika laskettiin käyttämällä järjestelmämuotteja. Hinnat kalustolle, materiaaleille ja työlle on saatu käyttämällä RT-Kustannuslaskennan antamia hintoja sekä Skanska Konevuokrauksen vuokraushinnastoa. Järjestelmämuottien vuokraushintaa on hieman muutettu RT-Kustannuslaskennan antamasta hinnasta korkeammaksi, sillä se oli hyvin alhainen. Elementtien neliö hintana käytettiin 80,4 euroa.

Laskennan tuloksena saatiin paikallavalurakentamisesta halvempi vaihtoehto olosuhteista riippumatta. Talviolosuhteissa paikallavalurakentaminen jäi kuitenkin vain 3397,65 € halvemmaksi kuin elementtirakentaminen. Laskenta toteutettiin tehollisella T3 työvuoroajalla, eikä paikallavalurakentamisessa huomioitu työn kestossa riippuvuuksia. Työn kokonaiskesto lyhenisi paikallavalurakentamisessa, sillä siinä on alku – alku-riippuvuus, eli raudoituksen voi aloittaa jo, kun muottityö on aloitettu. Tällä on merkitystä koko hankkeen käyttö- ja yhteiskustannuksiin.

8.2 Jälkilaskenta

Jälkilaskennassa verrattiin hankkeen tavoitekustannuksia ja toteutuneita kustannuksia. Käytössä oli Excel-pohjainen muottityölle tarkoitettu toteumatietojen keräyslomake johon syöttämällä työryhmän koko, työnkesto työvuoroissa ja suoritteen määrä saatiin yksikkökustannus ja toteutunut työmenekki. Saatua työmenekkiä pystyttiin vertaamaan Ratu:n työmenekkiin. Tätä pohjaa hieman muokkaamalla saatiin vastaavasti myös tulokset raudoitus- ja betonointityölle.

Jälkilaskennan haasteena oli löytää todelliset työtunnit muotti- ja raudoitustyölle, sillä litteroita oli yhdistelty. Muottitöiden litteralla oli lisäksi rakennuksen paikallavalettujen välipohjien muottityöt ja vastaavasti raudoitustyön litteralla näiden raudoitus. Todelliset työtunnit mietittiin yhdessä työnjohdon kanssa, kun ne olivat vielä tuoreessa muistissa. Jälkilaskennan tuloksia ei siis voida pitää täysin luotettavina mutta suuntaa antavina.

Jälkilaskennan avulla löydettiin kuitenkin eroja laskennan ja toteutuksen väliltä. Tietoja voidaan hyödyntää jatkossa vastaavien kohteiden laskennassa.

9 Yhteenveto ja pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli perehtyä asuinkerrostalojen kantavien väliseinien toteutukseen paikallavalettuna sekä elementtirakenteisina. Työ antaa yksityiskohtaista tietoa molempien rakennusvaihtoehtojen toteutuksesta, tuotannon nopeudesta, työturvallisuudesta ja sääolosuhteiden vaikutuksesta. Osana työtä tuotettiin jälkilaskenta-aineisto paikallavalettavien seinien osalta työn tilaajalle.

Paikallavalurakentamisessa on siis kolme päävaihetta: muottityö, raudoitus ja betonointi. Mittaustyö on yksi tärkeimmistä muottityön vaiheista onnistuneen lopputuloksen kannalta. Muotin suoruuden tarkistamisella ennen betonointia ja betonoinnin jälkeen voidaan vaikuttaa myös lopputulokseen ja tarvittavaan etuoikaisun määrään. Hyvin mitatut ja tarkistettut seinät ovat lopputulokseltaan suoria, eivätkä juuri tarvitse oikaisu töitä. Seinät voidaan valaa joko pumpulla tai nostoastialla. Betonoitaessa tärkeintä on huomioida olosuhteet ja niiden vaikutus be-

tonin lujuudenkehitykseen. Lujuudenkehitykseen voidaan vaikuttaa monella menetelmällä, mutta tuotannon on valittava siihen sopiva ratkaisu muottikierron mukaan.

Elementtirakentamisessa mittaus on myös yksi tärkeimmistä työvaiheista. Mittauksen lisäksi seinälinjojen oikominen ja tasaaminen ovat tärkeä vaihe elementtiasennusta. Kahden vierekkäisen elementin paksuudessa voi olla toleranssien mukaan jopa 10 millimetrin poikkeama. Tämä aiheuttaa paljon oikomistöitä, jos elementtejä ei ole osattu tasata oikein poikkeamien minimoimiseksi. Talviolosuhteiden vaikutus elementtityöhön on huomattavasti pienempi kuin paikallavalurakentamisessa. Elementtityössä talviolosuhteet vaikuttavat lähinnä lumen ja jään poistoon sekä ala- ja pystysaumojen betoniin. Ala- ja pystysaumoissa käytettävä betoni on kuitenkin yleensä säkitettyä valmismassaa, johon lisätään vain vesi. Talvella voidaan käyttää sellaista betonilaatua, joka mahdollistaa saumojen betonoinnin jopa -15 asteen pakkasessa ilman lämmitystä. Tällä ei ole kustannuksiin niin suurta vaikutusta kuin paikallavalettaessa seinä. Elementtiasennuksessa ei myöskään tarvitse huomioida LVIS-asennuksia, sillä tarvittavat asennukset on tehty elementtiin valmiiksi tehtaalla.

9.1 Opinnäytetyön tavoitteiden täytyminen

Mielestäni opinnäytetyön kaikki tavoitteet saavutettiin tiukasta aikataulusta huolimatta hyvin. Aikataulua siirrettiin jo opinnäytetyön aloituspalaverissa, mutta pystyin pitämään alkuperäisen laatimani aikataulun. Työssä on esitetty paikallavalurakentamisen ja elementtirakentamisen työvaiheet, tuotannon nopeus, työturvallisuusasiat ja sääolosuhteiden vaikutukset rakentamiseen. Työn tilaajana toiminut Skanska Talonrakennus Oy sai jälkilaskenta-aineiston, vaikkakin sen laatiminen oli hankalampaa kuin odotin.

Työssä vertailtiin paikallavalu- ja elementtirakentamisen kustannuksia ja työhön menevää aikaa yksinkertaisesti tavoitteellisilla työmenekeillä. Opinnäytetyössä olevat kustannuksien vertailutaulukot ovat Microsoft Excel-ohjelmistolla luotuja laskentataulukkoita. Työn ohella syntyi laskenta-alusta, jota jatkokehittämällä voidaan hyödyntää seinien rakentamisen kustannusvertailussa. Laskenta-alustaa voi esimerkiksi muokata ottamalla mukaan suurmuotit ja lisätä sinne tarvittavia

materiaaleja tai kalustoa mitä tässä opinnäytetyössä ei ole otettu huomioon. Nykyisen laskenta-alustan toimivuus on tarkastettu opinnäytetyön ohjaajan kanssa.

9.2 Oppimisprosessi

Olin mukana hankkeessa, jossa rakennuksen väliseinät paikallavalettiin ja ulkoseinät olivat elementtejä. Molempien rakentamistapojen työvaiheet olivat ennen opinnäytetyön aloitusta entuudestaan tuttuja. Opin kuitenkin paljon molempien työturvallisuudesta, työn nopeudesta ja talviolosuhteiden vaikutuksesta.

Ajattelin opinnäytetyön olevan selkeä ja helppo aihe minulle. Kuitenkin syventyessäni aiheeseen tuli paljon uutta tietoa ja työn tekeminen opetti minua koko ajan. Aihe oli rajattu, mutta silti tuli mieleen asioita, joita olisi vielä voinut lisätä esimerkiksi kustannuslaskelmien vertailuun. Toivottavasti opinnäytetyön aikana syntyneitä kustannuksien laskenta-alustaa pystyn kehittämään eteenpäin, mistä olisi hyötyä tulevaisuudessa.

Työn haastavin vaihe oli jälkilaskenta-aineiston kerääminen. Opinnäytetyön tuloksissa mainitut litteroiden yhdistämiset vaikeuttivat jälkilaskentaa huomattavasti. Sain apua kuitenkin työmaan työnjohdolta ja yhdessä arvioimme tarkasti työn etenemistä.

Kuvat

- Kuva 1. Seinäelementtien tilauskanta ja tuotanto neliömetreinä, s. 9
- Kuva 2. Rakennuskustannusindeksi, s. 9
- Kuva 3. Havainnollistava kuva elementtikampatelineestä, s. 11
- Kuva 4. Havainnollistava kuva elementin nostosta, s. 12
- Kuva 5. Elementin tukeminen, s. 12
- Kuva 6. Pystysaumabetonointi käynnissä, s. 14
- Kuva 7. Esimerkki nostorakseista, s. 17
- Kuva 8. Doka järjestelmämuotin osia, s. 21
- Kuva 9. Muottipuolisko ja rajoittimet paikoilleen asennettuna, s. 23
- Kuva 10. Raudoitettu seinä valmis lämpölankojen asennusta varten, s. 25
- Kuva 11. Eichinger 1017 nostoastia, s. 26
- Kuva 12. Ruduksen betonipumppuauto, s. 27

Taulukot

- Tauluko 1. Väliseinäelementti asennuksen työmenekit ja suoritemäärän vaikutukset, s. 15
- Taulukko 2. Talvilämpötilan häiritseroin, s. 15
- Taulukko 3. Elementtisaumauksen tyypillisimmät riskit, s. 20
- Taulukko 4. Keskilämpötilan mitattu vuosilta 1980-2010 eri puolilta Suomea, s. 28
- Taulukko 5. Muotinpurkulujuuden nopeuttamisen keinoja, s. 30
- Taulukko 6. Järjestelmämuottityön menekit ja suoritemääräkertoimet, s. 32
- Taulukko 7. Väliseinien raudoituksen työmenekit ja suoritemäärän vaikutukset, s. 33
- Taulukko 8. Seinien betonoinnin työmenekit ja suoritemäärän vaikutukset, s. 34
- Taulukko 9. Väliseinäelementtityön menekit ja kustannukset työsittain koko kerrostaloon, s. 39

- Taulukko 10. Väliseinäelementtityöhön tarvittavan kaluston määrä ja kustannukset, s. 40
- Taulukko 11. Elementtityön materiaali kustannukset, s. 40
- Taulukko 12. Muottityöhön kuluva aika ja kustannukset, s. 41
- Taulukko 13. Raudoitukseen kuluva aika ja kustannukset, s. 41
- Taulukko 14. Betonointiin kuluva aika ja kustannukset pumppaamalla, s. 41
- Taulukko 15. Paikallarakentamisen kalustokustannukset, s. 42
- Taulukko 16. Paikallarakentamisen materiaali menekit ja kustannukset, s. 42
- Taulukko 17. Vihreällä esitetty kustannukseltaan halvempi vaihtoehto ja viimeisessä sarakkeessa töiden erotus, s. 43
- Taulukko 18. Talven vaikutukset runkotyövaiheen kustannuksiin, s. 44
- Taulukko 19. Talviolosuhteiden vaikutus rakennettaessa väliseinät elementeillä, s. 45
- Taulukko 20. Talviolosuhteiden vaikutus muottityöhön on 10%, raudoitustyöhön 15% ja betonointiin pumpulla 30%, s. 45
- Taulukko 21. Elementti- ja paikallarakentamisen väliseinin kustannuserot kahdeksan kerroksisessa kerrostalossa, s. 46

Lähteet

BAU-MET Oy. Eichinger nostoastia 1017. <https://bau-met.fi/products/eichinger-nostoastia-1017>. Luettu 19.11.2018

Betoniteollisuus ry 2010. Betonielementtien turvallinen asennus. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23634/Betonielementtien%20turvallinen%20asennus.pdf>. Luettu 22.10.2018.

Betoniteollisuus ry a. Käyttö talonrakentamisessa. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/kaytto-talonrakentamisessa/>. Luettu 22.11.2018

Betoniteollisuus ry b. Paikallavalurakentaminen. <https://betoni.com/betonirakentaminen/valmisbetoni-paikallavalurakentaminen/>. Luettu 22.11.2018

Betoniteollisuus ry c. Valmisosien käyttö. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/valmisosien-kaytto/>. Luettu 22.11.2018

Betoniteollisuus ry d. Paikallavalurakentaminen. Yleistä. <http://www.valmisbetoni.fi/paikallavalurakentaminen/yleista>. Luettu 22.11.2018

Betoniteollisuus ry e. Talonrakentaminen. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/valmisosarakentaminen/talonrakentaminen>. Luettu 22.11.2018

Betoniteollisuus ry f. Seinien mittasuositus. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet/seinat/seinien-mittasuositus>. Luettu 10.10.2018

Betoniteollisuus ry g. Paikallavalurakentaminen. <http://www.valmisbetoni.fi/paikallavalurakentaminen>. Luettu 22.10.2018

Betoniteollisuus ry h. Betonointi. <http://www.valmisbetoni.fi/toteutus/betoniteknoologia/betonointi>. Luettu 22.10.2018

Betoniteollisuus ry i. Paikallavalu. Jälkihoito. <https://betoni.com/koti-betonista/rakennustapavaihtoehdot/paikallavalu/jalkihoito/>. Luettu 5.11.2018

Betoniteollisuus ry j. Tuoreen betonin turvallinen käyttö. https://betoni.com/wp-content/uploads/2015/11/Turvallisuuskortti_A4_2.pdf. Luettu 5.11.2018

Betoniteollisuus ry k. Pystysaumaus. <http://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/elementtien-asennus/juotosvalut>. Luettu 19.10.2018

Betoniteollisuus ry l. Betonielementtien toleranssit. https://asv.fi/sites/default/files/asv_betonielementtien_toleranssit_2011.pdf

Doka 2012. Järjestelmämuotti Framax Xlife. https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999764011_2012_10_online.pdf. Luettu 18.10.2018

Enkovaara, Haveri & Jeskanen 1999. Rakennushankkeen kustannushallinta. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Fescon 2013. Kuvapankki. <https://kuvapankki.fescon.fi/kuvat/Työkuvat/Pysytysaumabetonointi/>. Luettu 19.10.2018

Haklift Oy 2018. Nostoketjutarvikkeet ja teräsköysiraksit. http://www.haklift.com/pdf_n/?sku=NKV08401L. Luettu 19.10.2018

Huhtiniemi & Kiviniemi 1992. Elementtityöt by 208. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Ilmatieteenlaitos. Lämpötila- ja sadetilastoja vuodesta 1961. <https://ilmatieteenlaitos.fi/tilastoja-vuodesta-1961>. Luettu 20.10.2018

Keskitalo. Betonirakenteiden muottityöt. <http://www.valmisbetoni.fi/Download/21898/Muottity%c3%b6t.pdf>. Luettu 20.10.2018

Kestävä kivitalo. Muottijärjestelmät. <https://www.kivitalo.fi/betonirakenteet/muottijarjestelmat/>. Luettu 22.10.2018

Lindholm 2009. Kustannushallinta rakennushankkeessa. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Palolahti, Koskenvesa, Lindberg, Sahlstedt & Mittaviiva Oy 2008. Muottityön turvallisuus. Helsinki: Suomen Betonitieto Oy

Rakennusteollisuus RT 2018 a. Betonin tilauskanta ja tuotanto. <https://betoni.com/wp-content/uploads/2018/11/Betonin-tilauskanta-ja-tuotanto-q3-2018.pdf>. Luettu 21.11.2018

Rakennusteollisuus RT 2018 b. Rakennuskustannusindeksi. <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/suhdanteet-ja-tilastot/suhdannekatsaukset/2018/syksy/suhdannekatsauksen-kuviot-lokakuu-2018.pdf>. Luettu 21.11.2018

Rakennustuoteteollisuus ry 2010. Betonin pumppauksen ympäristö- ja turvallisuusopas. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy

Ramirent. Elementin kampapukki 10 tn. <http://tuotteet.ramirent.fi/node/2990>. Luettu 15.11.2018

Ratu 0392 2012. Väli- ja ulkoseinäelementtityö. Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/resource/juha/content/18663#page=1>. Luettu 9.10.2018

Ratu 0399 2012. Kasetti- ja kupumuottityö. Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/resource/juha/content/17422#page=1>. Luettu 10.10.2018

Ratu 0402 2012. Raudoitus. Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/resource/juha/content/18120#page=1>. Luettu 11.10.2018

Ratu 0403 2012. Betonointi. Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/resource/juha/content/17269#page=1>. Luettu 11.10.2018

Ratu 0408 2012. Betonipintojen etuoikaisu ja ruiskubetonointi. Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/resource/juha/content/17248#page=1>. Luettu 13.10.2018

Ratu C8-0377 2010. Talvityöt ja -kustannukset. Rakennustieto Oy. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/resource/juha/content/18308#page=1>. Luettu 18.11.2018

RT 02-10996 2010. Rakennusalan toleranssit, toleranssien määritelmät ja suositeltavat lukuarvot. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/resource/juha/content/6628#page=1>. Luettu 20.10.2018

Rudus Oy. Betonin kaluston esittely. <http://www.rudus.fi/palvelut/betonin-kuljetus-ja-kalustoesittelya-ja-kalustosta>. Luettu 19.11.2018

Ruohomäki, Jormalainen, Pärssinen, Saarikivi & Söderholm 1999. Raudoitus-työt by 206. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Sahlstedt, Koskenvesa, Lindberg, Kivimäki, Palolahti & Lahtinen 2013. Talvibetonointi. Helsinki: Suomen Rakennusmedia Oy.

Suikka, A. 2010. Kuljetuskalusto ja sidonta. www.elementtisuunnittelu.fi/Download/23658/Suikka%20Asennus.pdf. Luettu 15.11.2018

Suomen betoniyhdistys ry 2012. Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201.

Talonrakennusteollisuus ry 2011. Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Talonrakennusteollisuus ry 2018. Raturva- rakennustöiden- ja koneiden turvallisuusohjeet. <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.saimia.fi/resource/juha/content/24153#page=1>. Luettu 2.11.2018

Työsuojelu 2018. Lämpöolot. <https://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/fysikaaliset-tekijat/lampoolot>. Luettu 19.10.2018

Uusitalo, Ihanamäki, Rajala & Vallin 2000. Betonityöt by 205. Helsinki: Rakennustieto Oy.