

Aleksi Jokela

KERROSTALON RUNGON TUOTANTOTEKNIKOIDEN VERTAILU

Diplomityö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastajat:
Professori Arto Saari
Projektipäällikkö Juha-Matti Junnonen
Huhtikuu 2021

TIIVISTELMÄ

Alexi Jokela: Kerrostalon rungon tuotantotekniikoiden vertailu
Diplomityö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikan tutkinto-ohjelma
Vastuuohjaaja ja tarkastaja: Professori Arto Saari
Tarkastaja: Projektipäällikkö Juha-Matti Junnonen
Huhtikuu 2021

Tämän tutkimuksen aiheena on betonisten kerrostalojen runkorakenteiden vertailu. Vertailua tehdään paikallavalu- ja elementtirakenteiden laattojen ja väliseinien välillä. Työn päätavoitteena on löytää yksinkertaiseen asuinkerrostalorakentamiseen kohdeyritykselle parhaiten soveltuva ratkaisu. Lisäksi selvitetään, minkä takia kohdeyrityksellä on nykyhetkellä käytössä eri alueilla eri runkoratkaisut ja ovatko syyt sellaisia, että niihin voidaan vaikuttaa. Työssä annetaan kohdeyritykselle suosituksia runkorakentamisen työtapojen muuttamiseen. Työn taustalla on kohdeyrityksen halu tutkia aihetta. Yrityksessä ei ole juurikaan vertailtu runkovaihtoehtoja aiemmin, vaan nykykäytännöt perustuvat oletuksiin ja perinteisiin.

Tutkimusmenetelminä käytettiin kirjallisuustutkimusta, teemahaastatteluja sekä kohdeyrityksen toteutuneeseen kustannustietoon perustuvaa tapaustutkimusta. Kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin paikallavalu- ja elementtirakenteiden ominaisuuksia sekä vertailtiin niiden hyötyjä ja haittoja. Kirjallisuuden perusteella paikallavalun tärkeimmät edut ovat paremmat ääneneristysominaisuudet sekä talotekniikan helpompi integrointi rakenteiden sisään. Huonoja puolia ovat esimerkiksi talven vaatimien toimenpiteiden suurempi määrä sekä kauemmin kestävä rakenteiden kuivuminen. Elementtitekniikan suurin hyöty on nopeampi pystytys. Elementtirakentamisessa erityisesti välipohjan vedenhallinta aiheuttaa haasteita. Haastattelututkimuksen perusteella tietyn tekniikan käyttö alueellisesti johtuu pitkistä perinteistä. Usein alueella muutkin yritykset käyttävät samaa tekniikkaa, joten alueelta on helppo löytää tekniikan hallitsevia työntekijöitä ja aliurakoitsijoita. Molempia tapoja pidetään niiden käyttöalueilla edullisimpana vaihtoehtona. Paikallavalun ajatellaan olevan rungon materiaali- ja työkustannuksiltaan halvempi. Täyselementtitekniikalla puolestaan halvempien käyttö- ja yhteiskustannusten ajatellaan tekevän siitä kokonaisedullisempää. Tapaustutkimuksessa tutkittiin kohdeyrityksen toteutuneita kustannuksia kolmesta eri case-kohteesta. Kohteiden runkoratkaisut ovat täyselementti, paikallavalu ja sekarunko, jossa on elementtiseinät ja paikallavalettu välipohja. Kohteista verrattiin runkoon liittyviä materiaali- ja työkustannuksia sekä aikasidonnaisia käyttö- ja yhteiskustannuksia. Vertailun perusteella paikallavalurungon runkokustannukset ovat niukasti halvimmat. Täyselementtirungon käyttö- ja yhteiskustannukset ovat selvästi halvimmat. Kokonaiskustannuksiltaan täyselementtirunko on edullisin.

Tutkimustulosten perusteella näyttää, että siirtyminen kohti täyselementtirakentamista on taloudellisesti perusteltua. Esteenä muutokselle voivat olla kohdeyrityksen alueelliset perinteet ja alueen toimintakulttuuri laajemminkin. Täyselementtitekniikka ei ole esimerkiksi Turun alueella niin yleisesti käytössä, että kaikki aliurakoitsijat hallitsevat sen. Myöskään kohdeyrityksen omille työntekijöille ja työnjohtajille se ei ole täysin tuttua. Siirtymistä elementtirakentamiseen helpottaa kuitenkin se, että paikallavalurakentamiseenkin kuuluu aina elementtiasennusta. Ensimmäinen askel siirtymisessä voisi olla tulevien kohteiden vertailulaskenta molemmilla tekniikoilla. Tällaista vertailua on aiemmin tehty hyvin vähän. Paikallavalua suosivilla alueilla seuraava askel voisi olla siirtyminen elementtiseinäiseen ja paikallavaluvälipohjaiseen sekarunkoon. Sekarunkoa käytävillä alueilla voidaan siirtyä täyselementtitekniikkaan. Nämä vaihdokset uuteen tekniikkaan eivät tapahdu käden käänteessä vaan uusia tekniikoita pitää opetella, mistä aiheutuu varmasti aluksi ylimääräisiä kustannuksia.

Avainsanat: betonirunko, runkorakentaminen, betonielementti, paikallavalu, kustannusvertailu

ABSTRACT

Aleksi Jokela: Comparison of framework methods of apartment buildings
Master of Science thesis
Tampere University
Degree Programme in Civil Engineering
Responsible: Supervisor and Examiner: Professor Arto Saari
Examiner: Project Manager Juha-Matti Junnonen
April 2021

The subject of this research is comparison of concrete frame structures of apartment buildings. Comparison is done between slabs and dividing walls that are either prefabs or cast on site. The main objective of this thesis is to find the best frame solution for simple apartment buildings. Additional goal is to find out why the customer company's current situation is that different frame building methods are used in different operating areas. If those reasons are something that can be affected, some recommendations on changing current methods are given to the customer company. This research is done because the customer company wants to get better knowledge about the subject. The company has not done this kind of comparison before. Current regional framework methods seem to be based on assumptions and traditions.

Research methods used in the writing of this thesis are literature research, theme interviews and case study that is based on actual costs. The literature research part presents features of prefabs and cast on site structures. This part also compares the pros and cons of these options. The most important pros of cast on site structures are better sound proofing qualities and the possibility to easily integrate electric wires and plumbing inside the structures. The cons include bigger need for measures during the winter and longer drying period of structures. The most important benefit of prefab frame is faster erection speed. Handling rainwaters is challenging with prefab slabs. Based on the interviews one of the reasons to use some specific frame type are regional traditions. Usually other companies in the area use same kind of frames that the customer company does. This means that it is easy to find workforce and contractors that are familiar with the technique. Both mentioned methods are considered a cheaper option in the area they are used. Cast on site method is thought to be cheaper in material and work costs. Prefab method is considered cheaper when it comes to costs that are dependent of time. Case study is done by comparing actual costs of three finished apartment buildings. The three buildings have a different kind of frame. One is made completely with prefab elements one is cast completely on site and one is made with mixed method. The last one has prefab walls and cast on site slab. According to the case study prefab method is cheaper in overall costs when both two named cost groups are considered. That is because time related costs are much cheaper with prefab method and the material and work costs are just slightly cheaper with cast on site method.

This study shows that it would be reasonable to change the frame methods towards prefab. Regional traditions and local building culture can slow down the change. For example, in Turku prefab method is not very familiar to all contractors. This also applies to customer company's own workers and supervisors. When cast on site dividing walls are used the outer walls are still usually prefab. This means that the process of installing prefab elements is not a new thing to anyone. This makes it easier to change methods towards using only prefab. First step towards prefab building could be doing some comparison calculations of next projects. This kind of calculations are not done typically. For areas that use cast on site method the next step could be changing to mixed technique that combines prefab walls with cast on site slab. For areas already using mixed technique methods could change to prefab method. These changes don't happen in a snap of fingers. Everyone needs to practice the new methods which inevitably causes some cost at first.

Keywords: concrete frame, framework, prefabricated elements, cast on site, cost comparison

ALKUSANAT

Tämän diplomityön on tilannut Hartela-yhtiöt Oy. Kiitos ohjaajalleni Sami Ala-Pietille mielenkiintoisesta aiheesta sekä kärsivällisyydestä. Kiitos myös kaikille muille työhön osallistuneille. Kiitokset Tampereen yliopiston ohjaajilleni professori Arto Saarelle sekä projektipäällikkö Juha-Matti Junnoselle.

Suuret kiitokset kaikille opiskelukavereilleni, erityisesti ystävilleni Oliivikerhossa ja TEA-clubissa. Teidän tuellanne olen selvinnyt yliopistoajan kaikista haasteista ja yhdessä olemme viettäneet monta unohtumatonta iltaa ja viikkoa.

Haluan kiittää tyttöystävääni sekä perhettäni ja sukulaisiani tuesta ja kiinnostuksesta projektia kohtaan.

Kiitos!

Tampereella, 01.04.2021

Alexi Jokela

SISÄLLYSLUETTELO

TAULUKKOLUETTELO	VI
LYHENTEET JA MERKINNÄT	VII
1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen tausta	1
1.2 Tutkimuskysymykset ja -tavoitteet sekä tutkimuksen rajaus	2
1.3 Menetelmät ja toteutus	2
1.4 Tutkimuksen rakenne	3
2. RAKENNUSRUNGON TUOTANTOTEKNIKOIDEN VERTAILU	4
2.1 Paikallavalutekniikka	4
2.1.1 Tuotantotekniikka	5
2.1.2 Turvallisuus	8
2.1.3 Kustannukset	8
2.1.4 Talvitoimenpiteet	9
2.1.5 Kuivuminen	12
2.1.6 Aika	15
2.2 Elementtitekniikka	17
2.2.1 Tuotantotekniikka	18
2.2.2 Turvallisuus	20
2.2.3 Kustannukset	21
2.2.4 Talvitoimenpiteet	23
2.2.5 Kuivuminen	24
2.2.6 Aika	25
2.3 Vertailu	26
2.3.1 Paikallavalurakentamisen edut	26
2.3.2 Paikallavalurakentamisen haitat	26
2.3.3 Elementtirakentamisen edut	27
2.3.4 Elementtirakentamisen haitat	27
3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO	29
3.1 Haastattelututkimuksen toteutus	29
3.2 Tapaustutkimuksen toteutus	31
4. HAASTATTELUTUTKIMUKSEN TULOKSET	32
4.1 Runkoratkaisun valinta	32
4.2 Aikataulu	33
4.3 Osaaminen	34
4.4 Talvirakentaminen	34
4.5 Turvallisuus	35
5. TAPAUSTUTKIMUS	36
5.1 Case 1	36
5.2 Case 2	36
5.3 Case 3	37

5.4	Yhteenveto.....	38
6.	TUTKIMUSTULOSTEN POHDINTA	40
6.1	Syitä nykytilanteelle.....	40
6.2	Tapojen vertailua	40
6.3	Suosituksia kohdeyritykselle	42
6.4	Tutkimuksen kritiikki	43
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET	47
7.1	Suosituksia runkorakentamiseen.....	47
7.2	Tutkimuskysymyksiin vastaaminen.....	48
7.2	Jatkotutkimuskohteet	50
	LÄHTEET.....	51

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	<i>Runkovaiheen lisäkustannukset talvirakentamisesta (Rakennustieto 2010).....</i>	11
Taulukko 2.	<i>Energian kulutus lämpötilan mukaan paikallavalu- ja osaelementtirakentamisessa (Rakennustieto 2010).....</i>	12
Taulukko 3.	<i>Asuinkerrostalon kokonaistyömenekin kasvu kesään verrattuna (Rakennustieto 2010).....</i>	12
Taulukko 4.	<i>Välipohjarakenteiden peruskuivumisaikoja (Merikallio 2002 s.41).....</i>	14
Taulukko 5.	<i>Nimikkeiden aikasidonaisuus (Toivari 2011, s.22; alun perin Kiviniemi 1996).....</i>	16
Taulukko 6.	<i>Aikasidonnaisten hankkeen yhteiskustannusten keskiarvoja kohdeyrityksen valmistuneilla työmailla.....</i>	17
Taulukko 7.	<i>Ontelolaatan esivalmistuskustannuksiin vaikuttavat tekijät ja niiden suhteelliset osuudet (Kohdeyrityksen asiantuntijan arvio).....</i>	21
Taulukko 8.	<i>Väliseinäelementin esivalmistuskustannuksiin vaikuttavat tekijät ja niiden suhteelliset osuudet (Kohdeyrityksen asiantuntijan arvio).....</i>	22
Taulukko 9.	<i>Energian kulutus lämpötilan mukaan täyselementtirakentamisessa (Rakennustieto 2010).....</i>	23
Taulukko 10.	<i>Asuinkerrostalon kokonaistyömenekin kasvu kesään verrattuna (Rakennustieto 2010).....</i>	24
Taulukko 11.	<i>Välipohjarakenteiden peruskuivumisaikoja (Merikallio 2002, s.48-56).....</i>	24
Taulukko 12.	<i>Aikasidonnaisten hankkeen yhteiskustannusten keskiarvoja kohdeyrityksen valmistuneilla työmailla.....</i>	25
Taulukko 13.	<i>Täyselementtikerrostalon runko- sekä käyttö- ja yhteiskustannukset.....</i>	36
Taulukko 14.	<i>Sekarunkoisen kerrostalon runko- sekä käyttö- ja yhteiskustannukset.....</i>	37
Taulukko 15.	<i>Paikallavalurunkoisen kerrostalon runko- sekä käyttö- ja yhteiskustannukset.....</i>	37
Taulukko 16.	<i>Case-kohteiden kustannustiedot yhdistettynä.....</i>	38
Taulukko 17.	<i>Case-kohteiden kustannustiedot jaettuna isompiin kokonaisuuksiin.....</i>	39
Taulukko 18.	<i>Käyttö- ja yhteiskustannusten osuus rungon kokonaiskustannuksista.....</i>	39
Taulukko 19.	<i>Tapaustutkimuksen tulokset koottuna.....</i>	41
Taulukko 20.	<i>Tapaustutkimuksen kustannustiedot jaettuna isompiin kokonaisuuksiin.....</i>	42
Taulukko 21.	<i>Tapaustutkimuksen tulokset koottuna.....</i>	47

LYHENTEET JA MERKINNÄT

BES	Betonielementtistandardi
M	Moduulimitta, 100 millimetriä
MPa	Megapascal, paineen mittayksikkö
Ratu-kortisto	Talonrakennusteollisuus ry:n ja Rakennustieto Oy:n julkaisema tietopaketti tuotannon suunnittelun avuksi
RH	Suhteellinen kosteus
rm ³	Rakennuskuutio, rakennuksen tilavuuden mittayksikkö
TALO-80	Nimikkeistöjärjestelmä, sisältää esimerkiksi litterointiin käytettävät nimikkeet ja niiden numeroinnin
v/s	Vesi-sideainesuhde, kuvaa betonissa olevan veden suhdetta sementin määrään

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Runkorakentamisella on suuri vaikutus kerrostalohankkeen kustannuksiin ja aikatauluun. Runkoratkaisut ovat muuttuneet vuosikymmenten aikana merkittävästi ja nykyään käytössä on useita materiaaleja sekä rakenteita. Betonirunkoisissa kerrostaloissa käytetään pääsääntöisesti joko esivalmistettuja elementtilaattoja ja -seiniä tai samoja rakenteita paikallavalettuna.

Tutkimuksen taustana on kohdeyrityksen halu selvittää mitä runkoratkaisua yrityksessä kannattaisi lähteä yleistämään kaikkeen yksinkertaiseen asuinkerrostalorakentamiseen. Kohdeyrityksen runkorakennustavat vaihtelevat alueittain hyvin paljon eikä kunnollista vertailua tapojen välillä ole juurikaan tehty. Tämän vuoksi nykyiset käytännöt perustuvat esimerkiksi oletuksiin ja perinteisiin. Nykytilanteen syiden kartoittamiseksi ja tutkimuksen käynnistämiseksi yritys on päättänyt teettää tämän diplomityön.

Rakennustuotannon kehitystä ja optimointia tehdään jatkuvasti monin keinoin. Ehkä näkyvimmin julkisuudessa on viime vuosina ollut esillä sisätyöväiheen tehostaminen tahtituotannon avulla. Runkorakentamisen saralla kiinnostavin uusi innovaatio on Lujasuperlaatta, joka yhdistää paikallavalutekniikan ja ontelolaattojen parhaat puolet (Lujabetoni 2021). Jo tämä markkinointinäkökulma osoittaa, että paikallavalu- ja elementtitekniikoissa on molemmissa hyviä puolia, eikä näiden välistä paremmuutta ole helppo ratkaista.

Tässä työssä keskitytään perusasioiden tutkimiseen ja yleisesti käytössä olevien elementti- ja paikallavaluratkaisuiden vertailuun. Niiden välistä paremmuutta, ei ole helppo ratkaista, koska vaikuttavia tekijöitä on hyvin paljon. Teknisen eroavaisuutensa takia rakentaminen on hyvin erilaista. Vaatimukset esimerkiksi ääneneristykselle ja palonkestolle ovat samat, mutta niihin päästään erilaisilla rakennepaksumuksilla. Työturvallisuuden osalta pitää huomioida erilaisia yksityiskohtia. Rakenteet kuivuvat eri tavalla ja rakennusaikataulussa on merkittävä ero. Lisäksi pitää huomioida muun muassa saatavilla olevan työvoiman osaaminen, materiaalien saatavuus ja käytössä oleva asennuskalusto. Olennaisin asia on kuitenkin tekniikalla saavutettava kokonaiskustannus. Kokonaisedullisinta ratkaisua on vaikea haastaa muilla hyvillä ominaisuuksilla.

1.2 Tutkimuskysymykset ja -tavoitteet sekä tutkimuksen rajaus

Työn päätavoitteena on tutkia, onko runkoratkaisuja, jotka soveltuvat asuinkerrostalorakentamiseen selkeästi paremmin kuin joku toinen. Vastausta etsittäessä selvitetään myös mistä kohdeyrityksen alueelliset erot runkorakentamisessa johtuvat. Tavoitteena on myös selvittää millaisia kustannuksia ja kerrannaisvaikutuksia vaihtoehtoisilla runkoratkaisuilla on. Näiden asioiden perusteella annetaan suosituksia kohdeyrityksen runkorakentamisen kehittämiseksi ja mahdollisesti työtapojen muuttamiseksi. Tavoitteet on muotoiltu seuraaviksi tutkimuskysymyksiksi:

1. Onko runkoratkaisuja, jotka soveltuvat tyypilliseen asuinkerrostalorakentamiseen selvästi paremmin kuin joku toinen?
2. Ovatko syyt kohdeyrityksen nykytilanteeseen sellaisia, joihin voidaan vaikuttaa?
3. Millaiset ovat eri runkoratkaisujen kokonaiskustannukset?
4. Millaisia ovat eri runkoratkaisujen kerrannaisvaikutukset?

Tutkittavaan ongelmaan liittyy valtava määrä vaikuttavia tekijöitä. Jotkut tekijät ovat yleistettävissä laajasti kohdeyrityksen kaikille toiminta-alueille, ehkä jopa yrityksen ulkopuolelle. Toiset tekijät taas ovat hyvin pieniä ja vaikuttavat joko paikallisesti tai jopa yksittäisissä kohteissa. Kaikkia mahdollisia asioita ei voida tämän tutkimuksen laajuudessa käsitellä, mutta olennaiset yritetään löytää.

Tutkimus on rajattu kohdeyrityksen tavanomaiseen ja yksinkertaiseen asuinkerrostalorakentamiseen eli niin sanottuun bulkkituotantoon. Rakenteista keskitytään välipohjalaattaan sekä kantaviin väliseiniin. Välipohjalaatan osalta verrataan paikallavalettua massiivilaattaa sekä ontelolaattaa ja seinien osalta paikallavalu- sekä elementtiseiniä. Alueellisesti tutkimus rajataan sellaisten kaupunkien alueille, joissa kohdeyritys toimii.

1.3 Menetelmät ja toteutus

Tämän tutkimuksen strategia yhdistelee vertailevaa tutkimusta ja tapaustutkimusta. Tutkimusstrategia valittiin, koska aiheesta halutaan saada laadullisia näkemyksiä alueellisesti sekä konkreettisia lukuja. Tutkimuksessa käytetään kirjallisuustutkimusta, haastatteluja sekä kohdeyrityksen dokumentoitua laskentatietoa. Eri menetelmien käyttö mahdollistaa aiheen tutkimisen eri näkökulmista, mikä parantaa tutkimuksen kattavuutta.

Kirjallisuustutkimuksessa perehdytään paikallavalu- ja täyselementtitekniikan eroihin ja selvitetään ratkaisuiden hyviä ja huonoja puolia. Kirjallisuudesta pyritään löytämään tämän tutkimuksen kannalta olennainen aiempi teoreettinen tieto. Lähdeaineisto koostuu

pääasiassa suomalaisesta alan ammattikirjallisuudesta, opinnäytetöistä sekä Raturkortistosta.

Haastattelututkimuksen tarkoituksena on selvittää kohdeyrityksen toimialueiden nykyisiä runkorakennustapoja sekä syitä nykytilanteelle. Haastatteluilla kerätään laajasti näkemyksiä ja ajatuksia runkoratkaisuiden eduista ja haitoista. Haastattelut pidetään teemahaastatteluina, joissa käsitellään useita osa-alueita yksi kerrallaan etukäteen lähetettyjen kysymysten pohjalta. Tällainen haastattelu mahdollistaa myös tarkentavien kysymysten kysymisen haastattelutilanteessa. Haastateltaviksi valittiin vastaavia mestareita, työpäälliköitä sekä hankekehityksestä ja laskennasta vastaavia henkilöitä.

Tapaustutkimuksessa analysoidaan valmistuneiden kohteiden toteutuneita kustannuksia. Case-kohteiksi valitaan kolme erilaisella runkoratkaisulla toteutettua kerrostaloa. Kustannuksista vertaillaan suoraan runkoon liittyviä kustannuksia sekä aikasidonnaisia käyttö- ja yhteiskustannuksia.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus jakautuu teoreettiseen ja empiiriseen tutkimusosaan. Teoreettisessa osassa perehdytään paikallavalu- ja elementtirakentamisen ominaisuuksiin useilla osa-alueilla sekä vertaillaan tekniikoita keskenään. Empiirisessä tutkimusosassa aineisto saadaan haastattelututkimuksella sekä tutkimalla kohdeyrityksen toteutunutta laskentatietoa.

Työn toisessa luvussa vertaillaan teoreettista tietoa paikallavalu- ja elementtirungosta. Vertailua tehdään eri osa-alueilla, jotka ovat tuotantotekniikka, turvallisuus, kustannukset, talvitoimenpiteet, kuivuminen ja aikataulu. Kolmannessa luvussa esitellään empiirisessä tutkimuksessa käytettävät tutkimusmenetelmät. Menetelmät ovat haastattelututkimus ja tapaustutkimus. Neljännessä luvussa esitetään haastattelututkimuksen tulokset. Viidennessä luvussa esitetään tapaustutkimukset tulokset. Luvussa kuusi esitellään koko tutkimukset tulokset ja pohditaan niitä. Luvussa annetaan myös suosituksia kohdeyritykselle runkorakentamisen kehittämisestä. Seitsemännessä luvussa tiivistetään vielä tutkimustulokset ja pohditaan jatkotutkimuskohteita.

2. RAKENNUSRUNGON TUOTANTOTEKNIKOIDEN VERTAILU

Teräsbetoniset välipohjarakenteet alkoivat 1920-luvulla korvata puuvälipohjia. Pystyrakenteissa betoni yleistyi 1930-luvulla. Tiili oli asuinrakennusten pääasiallinen rakennusmateriaali 1930-luvun alussa, mutta vuosikymmenen aikana betonista tuli yleisin rakennusaine. (Hytönen 2009, s.16-17) Vuonna 2008 asuinkerrostalojen runkomateriaaleista 69 prosenttia oli betonielementtejä ja 29 prosenttia paikallavalubetonia (Hytönen 2009, s.325).

Rakennuksen runkojärjestelmän valintaan vaikuttavat ainakin seuraavat seikat:

- rakenteellinen turvallisuus,
- rakennuksen ja rakenteiden suunnitellun käyttöiän varmistaminen,
- toiminnallisten tavoitteiden saavuttaminen
- suunnittelu- ja rakennuskustannusten hallinta,
- rakentamisaika
- kantavien rakenteiden yhteensovittaminen muiden rakenteiden ja LVIS-tekniikan kanssa. (Rakennustieto 2004a, s.2)

Sekä paikallavalutekniikalla että elementtitekniikalla voidaan saada hyviä tuloksia osaavalla suunnittelulla. Tekniikoiden rajoitukset ja mahdollisuudet tulee hallita ja huomioida alusta asti. (Mannonen 2006, s.23)

2.1 Paikallavalutekniikka

Paikallavalurakentamisella tarkoitetaan sitä, että kantava runko valetaan pääosin paikalla betonista. Tämä on ollut maailmalla yleinen rakennustekniikka ja Suomessa se oli laajasti käytössä 1970-luvulle asti, minkä jälkeen elementtirakentaminen yleistyi voimakkaasti. (Mannonen 2006, s.13) Paikallavalutekniikkaa käytetään yleensä kantavien seinien ja välipohjien tekoon, ja ulkoseinät toteutetaan elementeillä (Laitinen 1996, s.25).

Paikallavalutekniikan vahvuusiksi on koettu muun muassa seuraavia asioita: rakennuksen käyttötarkoituksen muunnettavuus on parempi kuin elementeillä, ääneneristysominaisuudet ovat keskimäärin paremmat, tekniikka ei ole rakennusvirheille yhtä altis ja talotekniikka on helpompi integroida rakenteisiin kuin elementtirakentamisessa. (Mannonen 2006, s.14) Hyvät ääneneristysominaisuudet perustuvat tiiviisiin rakenteisiin ja työsaumoihin (Rakennustieto 2004a).

Paikallavalurunkoratkaisuista asuinkerrostaloihin soveltuvat erityisesti kantavat seinät, kantavat seinät täydentävillä pilareilla sekä kantavat pilarit (Mannonen 2006, s.32). Yleisesti käytetään kantaviin huoneistojen välisiin väliseiniin perustuvaa runkoratkaisua. Kantavat seinät pyritään sijoittamaan huoneistojen välille, jolloin ne jäykistävät runkoa sekä toimivat ääneneristys- ja palonkestomääräykset täyttävinä rakenteina. Näiden määräysten täyttämiseen riittää 200 mm paksu seinä. (Rakennustieto 2004a)

Vaakarakenteena asuinkerrostalossa käytetään tasavahvaa massiivista laattaa. Laatan paksuuteen vaikuttavat erityisesti ääneneristysvaatimukset, kuormitukset ja taipumat sekä talotekniikan sijoitustapa. Ääneneristysvaatimukset ovat usein määrääviä. Paksumpi laatta vaikuttaa erityisesti ilmaääneneristykseen, kun askelääneneristykseen vaikutetaan lattiamateriaaleilla ja laatan päälle tulevilla kerroksilla. (Mannonen 2006, s.32). Nykyisillä ääneneristysvaatimuksilla asuinkerrostalon välipohjalaatan vähimmäispaksuus on 270 mm (Rakennustuoteteollisuus 2012, s.24).

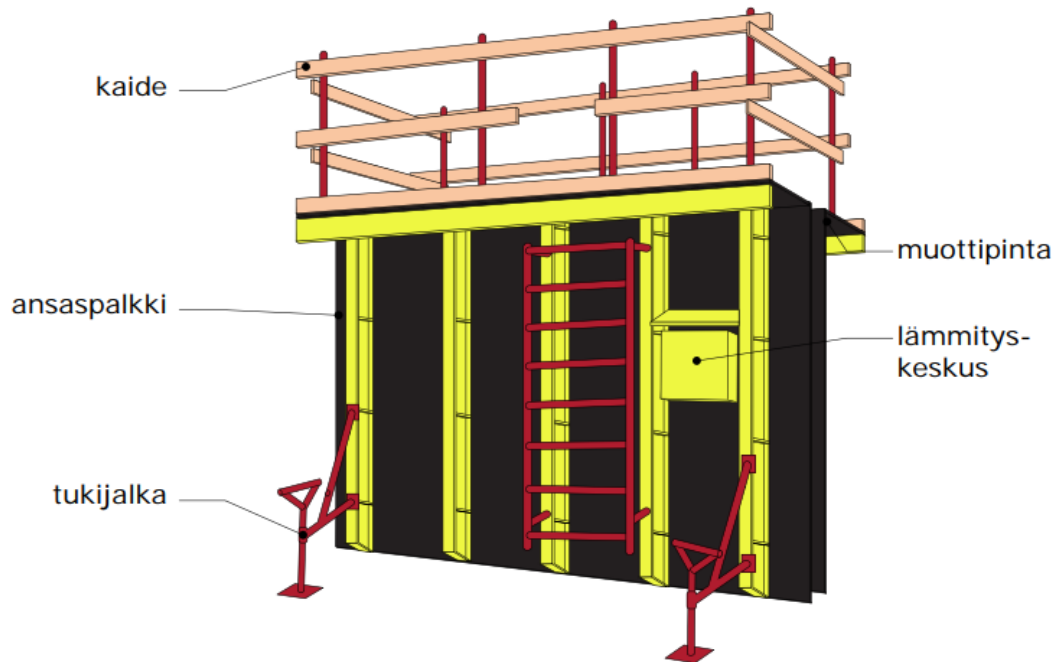
2.1.1 Tuotantotekniikka

Betonirungon päätyöt ovat samat kuin paikallavalubetonirakentamisessa muutenkin. Työvaiheet ovat muottityö, rauditus ja betonointi. (Koski 2010, s.63)

Päätyövaiheet ovat samat sekä seinä- että välipohjarakentamisessa. Seuraavissa luvuissa käydään työvaiheita tarkemmin läpi.

Seinät

Paikallavaluväliseiniä tehdään pääasiassa suurmuottitekniikalla. Tässä luvussa esitetään väliseinän rakentamisen työvaiheet käyttäen kuvan 1 mukaisia suurmuotteja.



Kuva 1. Suurmuotin osia (Koski 2010, s.64).

Suurmuotti on nosturilla siirrettävä seinän korkuinen muotti, joka koostuu kahdesta muottipuoliskosta. Suurmuotin osat ovat vaaka- ja pystykoolaus, joiden päällä on muottipinta, työtaso ja kaiteet, muottisiteet, tukijalat sekä mahdollinen lämmitysjärjestelmä. Suurmuoteissa on usein lämmöneristeet ja lämmitysjärjestelmä. Lämmitysjärjestelmä toimii esimerkiksi vastussilmukoilla, jotka lämmittävät muottipintoja. Vastussilmukoita ohjataan termostaatilla ja lämpötilarajoittimella. (Rakennustieto 1991)

Seinien paikallavalun alkutilanteessa alapuoliset rakenteet ovat valmiit, tarkastettu ja tarkemitattu. Materiaalit ja työvälineet ovat valmiina käytettäväksi. Lopputilanteessa suurmuotit on purettu, puhdistettu ja välivarastoitu. Työn jälki on tarkastettu ja hyväksytty. (Rakennustieto 2012c)

Muottien pystytys aloitetaan nostamalla ensimmäinen puolisko tarkasti paikalleen. Muottipuolisko säädetään vaaka- ja pystysuoraan ja tuetaan paikalleen. Toinen puolisko nostetaan lähelle, mutta ei vielä paikalleen. Muottipinnan puhdistetaan liasta, lumesta ja jäästä. Varaukset ja rajoittimet esimerkiksi oviaukkoja varten kiinnitetään ensimmäiseen puoliskoon. Pinnat öljytään ennen raudoitusta ja talotekniikan putkituksia. (Rakennustieto 2012c)

Seinien rauditus voidaan tehdä irtoteräksillä tai esivalmistetuilla raudituselementeillä tai -verkoilla. Käytettäessä irtoteräksiä, muottiin kiinnitetään välikkeet, joihin kiinnitetään pystysuuntaiset asennustangot. Asennustankoihin kiinnitetään vaakarauditus ja

vaakaraudoitukseen pystyraudoitus. Verkkoja käytettäessä, verkot kiinnitetään suoraan välikkeisiin. (Rakennustieto 2012d)

Raudoituksen ja talotekniikan putkitusten jälkeen pohja puhdistetaan ja toinen puolisko asennetaan paikalleen, säädetään ja tuetaan. Muottipuoliskot sidotaan toisiinsa muottisiteillä. Myös alareunat ja yläreunat sidotaan yhteen. Muotin pysyminen suorassa ja pystyssä varmistetaan ennen valua ja sitä tarkkaillaan valun aikana. Suoruus tarkistetaan myös valun jälkeen. (Rakennustieto 2012c)

Muotit puretaan, kun betoni on saavuttanut suunnitelmien mukaisen purkulujuuden. Alareunan siteet irrotetaan betonoinnin jälkeisenä päivänä. Muiden siteiden avaamisen jälkeen muottipuoliskot irrotetaan rakenteesta rautakangella. Muottien irrottamisen jälkeen varaukset ja rajoittimet poistetaan. Muottipinnat puhdistetaan purun yhteydessä. Muotit siirretään joko seuraavalle asennuspaikalle tai välivarastoon. (Rakennustieto 2012c)

Välipohjat

Paikallavaletut betonivälipohjat ovat erilaisia laattoja. Ne voivat olla massiivisia betonilaattoja, ripalaattoja tai erilaisia liittorakenteita. Laatat voidaan tehdä jännitettyinä tai jännittämättöminä. Tavallisin asuinrakennuksen laattatyyppi on jännittämätön betonilaatta. (Koski 2010, s.63)

Paikallavalettu välipohjalaatta voidaan valaa esimerkiksi kasettimuotin tai pöytämuotin avulla (Koski 2010, s.63). Kohdeyrityksessä se tehdään kuitenkin pääasiassa PERI Multiflex -holvimuottijärjestelmällä tai vastaavalla vakio-palkkeihin ja levyihin perustuvalla toisen valmistajan järjestelmällä. Muottijärjestelmällä voidaan toteuttaa lähes mikä tahansa pohjapiirustus ja laatan paksuus on hyvin vapaasti valittavissa. Muottijärjestelmä koostuu vanerilevyistä, niska- ja koolauspalkkeista ja palkkeja tukevista tolppista. (PERI 2018, s.3)

Muottiasennus aloitetaan pystyttämällä tukitolpat muottisuunnitelman mukaisesti. Tolppia tuetaan asennustuella työnaikaisen vakauden varmistamiseksi. Tukitolppien päälle asennetaan tukihaarukoita. Haarukoiden päälle asennetaan niskapalkit. Koolauspalkit asennetaan niskapalkkien päälle suunnitelmien mukaisella jaolla ja vanerilevyt asennetaan palkkien päälle. Levysaumojen alle laitetaan aina palkki. (Ramirent 2015, s.6)

Muottien päälle asennetaan raudoitus irtoteräksistä tai verkoista. Raudoitus voidaan tehdä myös osin rullaraudoitteella. (Rakennustieto 2012d) Ennen betonointia tehdään myös talotekniikan varaukset ja putkitukset. Betonoinnissa käytetään nostoastiaa tai

pumppuautoa betonin siirtämiseen työkohteeseen. (Rakennustieto 2012e) Muotit puretaan niiden saavutettua suunnitelman mukaisen lujuuden.

2.1.2 Turvallisuus

Kun käytetään muotteja, joiden käyttö edellyttää nostoapuvälineiden käyttöä, on muottityön vaiheet suunniteltava. Suunnitelmassa on huomioitava ainakin nostoa, tuentaa, työnaikaista vakautta ja putoamisvaaraa koskevat turvallisuustoimet. (Valtioneuvosto 2009, 45 §) Yli 2 metriä korkeassa seinämuotissa on oltava mielellään kummallakin muottipuoliskolla valutaso, jonka leveys on 0,6 metriä (Rakennustieto 1991).

Siirrettävän muotin lujuuden ja tuennan on oltava sellaiset, ettei muotti aiheuta vaaraa missään tilanteessa. Muottien varastoinnissa on kiinnitettävä erityistä huomiota niiden vakauteen. (Valtioneuvosto 2009, 46 §)

Työnantajan on huolehdittava ennen töiden alkua, että muottien parissa työskentelevillä on riittävä pätevyys ja osaaminen. Yksityiskohtainen opetus ja ohjaus on tarvittaessa toteutettava valitun muottityypin ja työmenetelmän mukaisesti. (Valtioneuvosto 2009, 48 §)

Muottityössä riskejä aiheuttaa muun muassa vääränlainen tuenta. Tuulisella säällä muotti saattaa heilahtaessaan tönäistä työntekijää. Muottien purku pitää tehdä suunnitelman mukaiseen aikaan sekä oikeassa järjestyksessä, jotta rakenne ei sorsu eikä purkaja jää muotin osien alle. (Rakennustieto 2012c)

2.1.3 Kustannukset

Paikallavalurakentamisen työvaiheet ovat muottityö, rauditus sekä betonointi. Työn lisäksi merkittävimmät kustannukset muodostuvat siis muottikaluston vuokrahinnasta, rauditusteräksen hinnasta sekä betonista.

Betonin hinta tehtaassa valmistettuna riippuu monista tekijöistä. Hintaan vaikuttavat muun muassa lujuusluokka, muut materiaali- ja tuoteominaisuudet, raaka-aineiden hinta sekä valmistusprosessi. Paikallavaletun rakenteen materiaalihintaan vaikuttavat lisäksi teräksen hinta sekä betonin kuljetuskustannukset. (Laitinen 1996, s.153)

Kuljetuskustannuksia tulee kahdesta vaiheesta. Betonin kuljetuksesta betoniasemalta työmaalle ja betoniautosta työkohteeseen. Kuljetuskustannuksiin vaikuttavat käytetty kalusto, kuljetusmatka sekä purkuaika. Työmaalla tehtävissä siirroissa kustannuksia tulee nosturin tai pumpun käytöstä. (Laitinen 1996, s.153)

Kohdeyrityksen laskelmien mukaan paikallavaletun väliseinän neliöhinta on keskimäärin noin 25% edullisempi kuin elementtiväliseinän. Hinta sisältää seinän muottityön purkuineen, topparimuotin purkuineen, raudoituksen, betonin, betonointityön, betonipintojen jälkityöt ja työntekijöiden sosiaalikulut. (Hartela 2020)

2.1.4 Talvitoimenpiteet

Vuorokauden keskilämpötilan alittaessa +5 °C on ryhdyttävä talvibetonointitoimenpiteisiin. Matalissa lämpötiloissa sementin reaktiot veden kanssa hidastuvat. Betonin alhainen lämpötila hidastaa jäätymislujuuden ja muotinpurkulujuuden saavuttamista. Tämän vuoksi betonin riittävän lämpötilan varmistamiseksi on tehtävä toimenpiteitä. (Timonen-Nissi 2019)

Betonin riittävän nopea kovettuminen vaatii yleensä betonilta +20 °C lämpötilaa. Tässä lämpötilassa tavoitelujuus saavutetaan noin 28 vuorokaudessa. Jos betonin lämpötila on +5 °C, sille ei muodostu havaittavaa lujuutta 1 vuorokaudessa. Betonin lujuudenkehitys käytännössä loppuu lämpötilan laskiessa alle 0 °C. Tällöin betonissa oleva vesi alkaa jäätyä. Vielä kylmemmissä lämpötiloissa betoni saattaa jäätyä ja sille voi muodostua valesujuutta. (Sahlstedt 2013)

Kovettuvan betonin tulee ennen jäätymistä saavuttaa jäätymislujuus. Se on lujuus, jonka alapuolella betoni vaurioituu pysyvästi jäätyessään. Tällöin se ei kovettuessaan saavuta nimellisljuutta. Betoni, joka on saavuttanut jäätymislujuuden kestää veden jäätymisestä aiheutuvat sisäiset rasitukset. Jäätymislujuus on vähintään 5 megapascalialla (MPa) kaikilla lujuusluokilla. Muottien purkulujuus muodostuu kuitenkin käytännössä määrääväksi lujuudeksi, sillä muotit pyritään purkamaan mahdollisimman pian valun jälkeen. Muottien purkulujuuden yleisohjeena pidetään vähintään 60% betonin nimellisljuudesta, jolloin pyritään huomattavasti suurempaan lujuuteen, kuin 5 MPa. (Sahlstedt 2013)

Talvibetonoinnin onnistumiseen voidaan vaikuttaa betonin valinnalla. Jos ei ole odotettavissa kovia pakkasia tai käytössä on tehokkaat suojaus- ja lämmitysjärjestelmät, käytetään normaalisti kovettuvaa betonia. Muotinpurkulujuuden saavuttamista voidaan helpottaa käyttämällä nopeasti kovettuvaa betonia. Nopeasti kovettuvat betoni kehittävät kovettuessaan tavallista enemmän lämpöä, mikä auttaa pitämään valetun rakenteen lämpötilan kovettumiselle riittävänä. Tämän ansiosta ne saavuttavat nimellisljuutensa jo 7 vuorokaudessa. Kolmas vaihtoehto on käyttää kuumabetonia. Kuumabetonimassan lämpötila on tavallista korkeampi sen lähtiessä tehtaalta. Kuumabetonilla erityisesti ensimmäisten tuntien lujuudenkehitys on nopeampaa. Kuumabetonin tavallista korkeammasta lämpötilasta on eniten hyötyä, kun valmis rakenne suojataan

eristepeitteellä ennen jäähtymistä. Pienellä pakkasella voidaan käyttää pakkasbetonia. Se ei vaurioidu, vaikka jäätyisi ennen jäätymislujuuden saavuttamista. Pakkasbetonia käytetään pääasiassa elementtien saumoissa. (Sahlstedt 2013)

Betonin lujuudenkehitystä voidaan talvibetonoinnin yhteydessä nopeuttaa lisäksi seuraavilla menetelmillä: korottamalla lujuusluokkaa, lämmittämällä valettua rakennetta ja siihen liittyviä rakenteita sekä eristämällä ja suojaamalla valu pakkaselta. Jotta muottien purkulujuus saavutettaisiin 1-2 vuorokaudessa on luultavasti käytettävä näiden yhdistelmiä. (Sahlstedt 2013)

Talvibetonointi vaatii aina rakenteiden suojaamista. Suojauksen tarkoituksena on yhdessä muiden talvibetonointitoimenpiteiden kanssa varmistaa, että lujuudenkehitys on riittävää. Lisäksi estetään lumen ja jään kertyminen valun päälle, ja näin vähennetään puhdistus- ja sulatustöitä. Lämpösuojaus korostuu talvibetonoinnissa. Säältä voidaan suojautua rakennuksen valmiiden rakenteiden avulla tai väliaikaisilla suojilla. Valmiita rakenteita ovat esimerkiksi valmiit ulkoseinät ja väliaikaisia suojia muun muassa peitteet ja sääsuojahallit. Suojausten tiiveyteen ja paikalla pysymiseen, varsinkin kovalla tuulella, tulee kiinnittää erityistä huomiota. (Sahlstedt 2013)

Paikallavalurakenteiden lämmityksessä voidaan käyttää lämmitettyjä muotteja. Muottien lämmöneristeen ja muottipinnan välissä on lämpövastuksia tai vastuslankaa, joista lämpö siirtyy betoniin pinnan läpi. Lämmitettävät muotit ovat kustannusmielessä järkeviä vain, kun niille tulee rakennuksessa useita käyttökertoja. (Sahlstedt 2013)

Talvitoimenpiteiden kustannukset

Talvitoimenpiteiden aiheuttamat kustannukset voidaan jakaa kahteen luokkaan. Töiden talvityölisillä tarkoitetaan töitä, jotka sisältyvät talvella työn tekemiseen, esimerkiksi talvibetonointiin sisältyvät suojaus- sekä lumi- ja jäätyöt. Näitä töitä tekee yleensä sama työryhmä kuin varsinaisen työnkin. Talvitöitä ovat työt, jotka tehdään erillisenä työvaiheena tai, joihin on määrätty erikseen työntekijät. Näitä töitä voivat olla esimerkiksi lumi- ja jäätyöt, lämpösuojaus sekä rakennusten ja runkorakenteiden lämmitys. (Rakennustieto 2010)

Talvirakentaminen aiheuttaa lisäkustannuksia monella tavalla. Materiaalien kulutus lisääntyy ja työmenekit kasvavat. Koneita ja kalustoa tarvitaan enemmän ja energian kulutus on muita vuodenaikoja suurempaa. Taulukkoon 1 on koottu kerrostalon talvirakentamisen lisäkustannuksia runkotyövaiheeseen kesäaikaan verrattuna. (Rakennustieto 2010)

Taulukko 1. *Runkovaiheen lisäkustannukset talvirakentamisesta (Rakennustieto 2010).*

Kustannuslajit	Rakennusvaiheen lisäkustannukset (%)
	Runkotyövaihe
Työmenekkilisä	0,6...0,7
Materiaalilisä	0,6...1,9
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

Kokonaistyömenekin kasvu aiheutuu talven työtä hidastavasta vaikutuksesta. Talvella valaistus- ja sääolosuhteet ovat huonommat. Olosuhteista työtä hidastavat ainakin alhaisempi lämpötila ja työskentelyalueella oleva lumi ja jää. Lisäksi lumisade tai pakkas voivat aiheuttaa lyhyitä tai pitkiä keskeytyksiä työhön. (Rakennustieto 2010)

Materiaalikustannukset lisääntyvät esimerkiksi rakenteeseen kiinni jäätyneen muottikaluston rikkoutumisen, materiaalin pilaantumisen tai katoamisen takia. Materiaalikustannuksiin kuuluvat myös suojamateriaalinen hankkimisesta tai vuokraamisesta aiheutuvat kulut. (Rakennustieto 2010)

Energiakustannusten lisääntymiseen kuuluu betonivalujen ja muiden rakenteiden lämmittäminen. Lisäksi energiaa kuluu työmaarakennusten lämmittämiseen, lumen ja jään sulatukseen koneiden käyttöön ja valaistukseen. Koneen ja kaluston kustannuksiin kuuluvat eri laitteet, joita käytetään lumen ja jään sulatukseen. (Rakennustieto 2010)

Talvella rakentaessa keskeytykset lisääntyvät esimerkiksi talvilisätöiden, pakkasen tai lumisateiden takia. Myös materiaalien vaatimukset asennusolosuhteille voivat olla sellaiset, että työ joudutaan keskeyttämään talven olosuhteiden takia. Tämä venyttää rakennusajan kestoja, mistä aiheutuu kustannuksia. Rakennusajan pidentymistä voidaan ehkäistä kasvattamalla työryhmiä. (Rakennustieto 2010)

Talvikustannusten määrittämistä varten tarvitaan tietoja paikkakunnasta, suunnitelmista rakennuskohteesta ja rakentamisen ajankohdasta. Lähtötietoina voidaan käyttää menekkitietoja muun muassa energian, talvitöiden ja kaluston osalta sekä työajan keskeytyksen kustannustietoja. (Rakennustieto 2010)

Talvibetonointiin liittyvien lämmitysten energiantarve riippuu runkoratkaisuista. Runkoratkaisulla on vaikutusta myös koneiden käytön ja valaistuksen kuluttamaan energiaan. (Rakennustieto 2010) Näitä tietoja on paikallarakentamisen (PR) ja osaelementtitekniikan (OE) osalta esitetty taulukossa 2. Lämmityksen osalta paikallarakentamisella ja osaelementtitekniikalla on samat arvot.

Taulukko 2. *Energian kulutus lämpötilan mukaan paikallavalu- ja osaelementtirakentamisessa (Rakennustieto 2010).*

Runkovaiheen valujen ja elementtisaumauksen lämmitys ($\frac{kWh}{rm^3 \times kk}$)			Koneiden käyttö ja valaistus ($\frac{kWh}{rm^3}$)	
Ulkolämpötila (°C)	alle 10 000 rm^3	Yli 10 000 rm^3	PR	OE
yli 7,5	0,0	0,0	4,8	3,6
7,5...2,5	0,7	0,6	4,8	3,6
2,5...-2,5	1,2	1,0	4,8	3,6
-2,5...-7,7	2,2	1,2	4,8	3,6
-7,7...-12,5	3,1	1,7	4,8	3,6
-12,5...-17,5	4,0	2,3	4,8	3,6
-17,5...-22,5	4,8	2,8	4,8	3,6
-22,5...-27,5	5,8	3,4	4,8	3,6

Taulukosta nähdään, että runko- ja saumavalujen lämmitykseen tarvitaan sitä enemmän energiaa mitä kylmempi lämpötila on. Vaikutus alkaa jo lämpötilan laskiessa alle 7,5 °C. Lämpötilan laskiessa kylmemmäksi kuin -22,5 °C energiaa kuluu lähes 6 kilowattituntia enemmän kuukaudessa rakennuskuutiota (rm^3) kohti. Koneiden käyttöön ja valaistukseen lämpötilalla ei ole vaikutusta, mutta osaelementtitekniikalla niihin kuluu vähemmän energiaa kuin paikallavalurakentamisessa

Eri tuotantotekniikoilla tehtävän muutoin saman rakennussuunnitelman talvikustannuksiin vaikuttaa pääasiassa paikalla valettavien rakenteiden työmenekit, talvityöt ja -kalusto sekä energian tarve. Taulukossa 3 on kuvattu asuinkerrostalon kokonaistyömenekin kasvua kesään verrattuna eri tuotantotekniikoilla. (Rakennustieto 2010)

Taulukko 3. *Asuinkerrostalon kokonaistyömenekin kasvu kesään verrattuna (Rakennustieto 2010).*

Tuotantotekniikka	Työmenekin kasvu (%)
Osaelementtitekniikka	0...5,3
Paikallavalurakentaminen	2,3...6,4

Taulukosta nähdään, että työmenekin kasvun vaihtelu on suurempaa osaelementtitekniikalla kuin paikallavalutekniikalla. Osaelementtitekniikan menekki ei välttämättä kasva talven vaikutuksesta ollenkaan, mutta paikallavalurakentamisen menekkiin talvi vaikuttaa aina. Pahimmillaan paikallavalurakentamiseen talvi vaikuttaa kovemmin kuin osaelementtirakentamiseen.

2.1.5 Kuivuminen

Betonissa oleva vesi on peräisin valmistusprosessista. Betonin valmistuksessa veden tehtävä on muodostaa sementtiliimaa sementin kanssa. Sementtiliima sitoo kiviainekset

yhteen muodostaen betonia. Veden määrää säätelemällä voidaan vaikuttaa betonimassan notkeuteen, jolla on olennainen vaikutus betonin työstettävyyteen. (Korkala 2018, s.26) Valmistusprosessin lisäksi betoniin voi päätyä kosteutta sen kastuessa rakennusaikana (Mannonen 2006, s.87).

Betonin suhteellinen kosteus (RH) tuoreena on noin 100% (Mannonen 2006, s.87) Paikallavalukohteessa ylimääräistä vettä on noin 40-50 kg/m³ (Toivari 2011 s.12-13). Kun betoni on kovettunut, siitä on kovettumisreaktiossa poistunut osa kosteudesta. Kovettuneen betonin RH on 90-98%. Pitkän ajan kuluessa betoni kuivuu tasapainokosteuteen ympäristönsä kanssa. Betonirakenteen ei kuitenkaan rakennusaikana tarvitse saavuttaa tasapainokosteutta vaan määräävä tekijä on päällystemateriaalin asettama vaatimus, joka on useimmilla materiaaleilla noin 80-90%. (Mannonen 2006, s.87)

Betonin kuivuminen oletetaan alkaneeksi, kun vesikatto on valmis, ikkunat asennettu ja lämmitys on aloitettu. Tällöin lisäkosteuden pääsy rakenteeseen on estetty ja rakenteen ympäristön suhteellinen kosteus on riittävän alhainen. (Merikallio 2002 s.36) Välipohjan kastumisen estämisen kannalta on oleellista saada mahdollisimman nopeasti seuraava kerros tiiviiksi. Paikallavalukohteissa välipohja saadaan helposti tiiviiksi, kunhan aukot ja läpiviennit saadaan tukittua. Nopea pystytysaikataulu, esimerkiksi kerros viikossa, pienentää huomattavasti kastumisaikaa. (Mannonen 2006, s.91-92)

Betonin kuivumiseen vaikuttavat merkittävästi rakenneratkaisu, betonin ominaisuudet sekä ympäristön olosuhteet. Rakenneratkaisuista vaikuttavimpia ovat rakenteen paksuus sekä mahdollisuus kuivua kahteen suuntaan yhden sijasta. Ympäristön olosuhteista lämpötila, suhteellinen kosteus ja ilmavirrat vaikuttavat betonin pinnalla olevan kosteuden haihtumiseen ja betonin sisällä olevan kosteuden siirtymiseen kohti pintaa. Kuivumisen kannalta 50% suhteellista kosteutta pidetään optimaalisena ilman kosteutena. Lämpötilan osalta sekä betonin että ympäristön korkeampi lämpötila nopeuttavat betonin kuivumista. (Merikallio 2002 s. 35-36)

Kuivumisen vaikutus aikatauluun

Betonin kuivuminen tahdistaa merkittävästi sisävalmistusvaihetta, mikä vaikuttaa koko rakentamisaikatauluun. Jos betonirakenteen kuivumista ei huomioida kunnolla, seurauksena voi olla aikataulun viivästyminen sekä pahimmassa tapauksessa kosteusvaurio, joka aiheutuu liian märän rakenteen päällystämisestä. (Merikallio 2002 s.32)

Seuraavassa taulukossa on esitetty Merikallion (2002) tutkimia peruskuivumisaikoja. Tarkemmat kuivumisaika-arviot koostuvat peruskuivumisajan lisäksi kertoimista, joilla

huomioidaan olosuhteet, rakenteen paksuus, kuivumissuunnat, vesi-sideainesuhde (v/s) ja rakenteen kastuminen. Taulukossa 4 on esitetty massiivisen teräsbetonilaatan peruskuivumisajat suhteellisen kosteuden tasoilla 90% ja 85%.

Taulukko 4. *Välipohjarakenteiden peruskuivumisaikoja (Merikallio 2002 s.41).*

Peruskuivumisaika	Massiivinen teräsbetonilaatta
RH 90% (vk)	19
RH 85% (vk)	37

Kertoimien perusteella peruskuivumisajat pätevät betonilaatalle, jolla on tietyt ominaisuudet ja tietyt kuivumisolosuhteet. Betonin vesi-sideainesuhde on 0,7, laatta on 250 mm paksu ja kahteen suuntaan kuivuva. Olosuhteiksi oletetaan 18 °C lämpötila ja 60% ilman suhteellinen kosteus. Lisäksi laatan oletetaan olevan yli 2 viikkoa kosteassa. (Merikallio 2002 s.41)

Kuivumisaika-arvioita voidaan verrata toteutusaikatauluun. Mikäli kuivumiselle ei ole varattu riittävästi aikaa, valitaan keinot aikataulussa pysymiseksi. (Merikallio 2002 s. 32)

Kuivumisen nopeuttaminen

Betonin kuivumista voidaan nopeuttaa muun muassa käyttämällä nopeasti kuivuvia betonilaatuja, minimoimalla rakenteen kastuminen, poistamalla vesi ja lumi mekaanisesti mahdollisimman nopeasti sekä luomalla hyvät olosuhteet kuivumiselle. Nopeasti kuivuvat betonit perustuvat yleensä pieneen vesi-sideainesuhteeseen sekä massan huokostamiseen. Veden ja lumen mekaaninen poistaminen tehdään esimerkiksi vesi-imurilla tai harjalla. Hyvät olosuhteet tarkoittavat korkeintaan 50% suhteellista ilmankosteutta sekä vähintään 20 °C lämpötilaa. Betonin lämmittäminen on ilman lämmittämistä tehokkaampi tapa edistää kuivumista. (Merikallio 2002 s.37)

Kesällä ulkoilman suhteellinen kosteus voi olla hyvin korkea, jolloin myös sisäilmassa voi olla paljon kosteutta. Erityisesti loppukesästä ulkoilma on kostea ja lämmintä. Tällöin voi olla tarpeen käyttää ilmankuivaajia, kosteudenkerääjiä tai kosteudenerottimia laskemaan sisäilman suhteellista kosteutta. Kuivaimien käyttö edellyttää, että kuivatettava tila on tiiviisti suljettu, jolloin minimoidaan ulkoa tulevan kostean ilman määrää. Ilmankuivaimien avulla rakennetta ympäröivän tilan suhteellinen kosteus laskee, jolloin rakenne voi luovuttaa enemmän kosteutta ilmaan. Kuivainten lisäksi tarvitaan rakenteen lämmitystä, jotta syvällä betonissa oleva kosteus siirtyy tehokkaasti pinnalle. Lisäksi tarvitaan ilman kiertoa lämpöerostumien estämiseksi. (Mannonen 2006, s.93)

Talvella rakenteiden kuivaus on helpointa tehdä lämmittämällä sisäilmaa, jolloin lämpö siirtää kosteutta pois rakenteista. Rakenteilla olevissa rakennuksissa on yleensä riittävästi aukkoja kosteuden poistamiselle, joten ylimääräistä tuuletusta ei tarvitse järjestää. Aukkojen määrä kannattaa kuitenkin pitää vähäisenä, jotta energiakulut eivät kasva turhaan. Lämmitettävä alue pitää osastoida tiiviiksi, jotta lämmin ilma ei kulkeudu kylmiin tiloihin, joissa kosteus voi tiivistyä kylmille pinnoille. Loppusyksyllä ja keväällä kuivumisen tehostamiseksi kannattaa parantaa ilmanvaihtoa ja nostaa lämpötilaa. (Mannonen 2006, s.94)

2.1.6 Aika

Kohdeyrityksen litterointiohjeessa työmaan käyttökustannuksiin merkitään työnaikaiset rakenteet, työnaikaiset asennukset, työmaan koneet ja laitteet, työkoneet, työkalut ja -välineet, työmaan käyttötarvikkeet, käyttöaineet ja energia sekä työmaakuljetukset. Työmaan yhteiskustannuksiin puolestaan merkitään työmaan hallinto, avustavat rakennustyöt, talvilisätyöt, lisä- ja muutostyöt, takuu-, vakuus- ja vakuutuskulut, työntekijöiden palkanlisät sekä hankevaraukset. Nämä noudattavat melko tarkasti TALO-80 nimikkeistöä.

Käyttö- ja yhteiskustannusten osuus kokonaiskustannuksista vaihtelee välillä 15-30%. Merkittävimpiä yhteiskustannuksiin vaikuttavia tekijöitä ovat rakennusaika, rakennustyön ajoittuminen vuodenaikaan nähden, kohteen laajuus, sekä työmaaolosuhteet. (Tyrni 2015 s.6)

Työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksia kutsutaan yhdessä hankkeen yhteiskustannuksiksi. Niihin on koottu koko työmaata palvelevat hankinnat, työt ja kustannukset. Yhteiskustannukset ovat aika-, erä- ja laajuussidonnaisia. (Talo-80 s.13)

Eräkustannuksia ovat esimerkiksi liittymismaksut sähkö- tai viemäriverkkoon. Loppusiivous on esimerkki laajuudesta riippuvasta kustannuksesta. Aikasadonnaisia kustannuksia ovat esimerkiksi työnjohto sekä työmaan sosiaalitulat. (Helenius 2008, s.4; alun perin Piiparinen 1989)

Toivarin (2011) diplomityötä mukaillen taulukkoon 5 on koottu nimikkeet, jotka ovat aikasadonnaisia. Taulukossa on mukana vain nimikkeet, jotka löytyvät myös kohdeyrityksen litterointiohjeesta. Lisäksi taulukossa on vain nimikkeet, joiden aikasadonnaisuus on yli 50%.

Taulukko 5. *Nimikkeiden aikasidonnaisuus (Toivari 2011, s.22; alun perin Kiviniemi 1996).*

Nimike	Aikasidonnaisuus (%)
Työnjohto	100
Työmaatoimisto	100
Varaston hoito	100
Vartiointi	100
Luottamustoimet ja työterveyden huolto	100
Työmaatilojen hoito	100
Työnaikainen siivous	100
Työnaikaiset korjaukset	100
Työmaan vakuutukset	100
Vakuutuskulut ja sopimussakot	100
Työkalukorvaukset	100
Matkakorvaukset	100
Työsuojelu ja työturvallisuus	90
Työmaarakennukset	80-90
Sähkö	70-80
Vesi	70-80
Kaasu	70-80
Polttoaineet	70-80
Kaukolämpö	80
Torninosturi	80-90
Rakennushissit	90
Telineet	65-70
Työkoneet	100
Lumi- ja jäätyöt	100
Lämmitys ja kuivatus	90

Taulukosta nähdään, että aikasidonnaisia kustannusnimikkeitä on hyvin paljon. Taulukkoon 6 on laskettu kohdeyrityksen 13 työmaan toteutuneita aikasidonnaisia hankkeen yhteiskustannuksia. Rakennuskuutiota kohti lasketut luvut ovat pyöristettyjä keskiarvoja jonkin muuttujan mukaan. Keskiarvot on laskettu kaupunkikohtaisesti, runkoratkaisun sekä kohteen koon mukaan. Taulukossa on esitetty kaupungit, joissa kohdeyritys käyttää paikallavalurakenteita. Tampereen osalta mukana ovat vain sekarunkoiset kohteet. Kokoon perustuvissa luvuissa on mukana myös täyselementtikohteita. Sarakkeen tarkoitus on osoittaa, että erot eivät selity hankkeen koolla. Luvut ovat suhdelukuja, joita on verrattu paikallavalutyömaiden keskiarvoon.

Taulukko 6. *Aikasidonnaisten hankkeen yhteiskustannusten keskiarvoja kohdeyrityksen valmistuneilla työmailla.*

Kaupunki	€/rm ³	Runkoratkaisu	€/rm ³	Koko (1000 rm ³)	€/rm ³
Tampere	1,07	Sekarunko	1,11	5-10	1,13
Oulu	1,22	Paikallavalu	1,00	10-15	0,91
Rauma	1,00			15-20	1,02
Turku	1,00			yli 20	0,98

Taulukon mukaan paikallavalutekniikalla toteutetuissa rakennuksissa hankkeen yhteiskustannukset ovat keskimäärin olleet pienemmät kuin sekarunkoisissa kohteissa. Oulua lukuun ottamatta kaupunkien väliset luvut ovat hyvin tasaiset.

2.2 Elementtitekniikka

Elementtitekniikalla voidaan toteuttaa koko rakennuksen runko. Perinteiseen paikallavalurakentamiseen verrattuna suurin saavutettava hyöty on rungon pystytysnopeus. Elementtirakentaminen tuo etuja myös rakenteiden suojaamisessa talvella, kun työmaalla tehdään vain rungon pystytys valmiilla elementeillä. (Betoniteollisuus 2010, s.3) Elementit voidaan valmistaa säältä suojatuissa sisätiloissa, joissa voidaan käyttää korkealuokkaista betonia ja laadunvalvonta on helppoa. Elementtirakenteet ovatkin Suomessa yleisin tapa toteuttaa asuinkerrostalon runko. (Rakennustieto 2004b, s.2)

Elementtirakentamisella pyritään taloudelliseen ja nopeaan kokonaistoteutukseen. Tämä on johtanut entisestään tehtaiden viimeistelyasteen nostamiseen ja työmaalla tehtävän työn vähenemiseen. (Haara 2018, s.427)

Nykyään käytössä oleva asuinkerrostalojen elementtijärjestelmä on hyvin samankaltainen kuin 60-luvun lopussa kehitetty BES-järjestelmä. Järjestelmä perustuu 3M-moduuliin eli 300 mm kerrannaispituuksiin. Perusrakenteena on kantavat seinät ja laatta, mutta rakennedetaljit ja tuotantomenetelmät ovat kehittyneet. (Haara 2018, s.427-428) Tällaisessa järjestelmässä välipohjalaattojen suuntaiset ulkoseinät eivät ole kantavia (Rakennustieto 2004b).

Asuinrakennusten talotekniikka keskittyy yleensä pystynousuihin, jotka kulkevat päällekkäisten asuntojen läpi. Vaakavedot tehdään kellaritiloissa tai alapohjan alla. Tässä järjestelmässä asuintiloihin tulevan talotekniikkamelun määrä on vähäinen, mutta märkätilat keskittyvät samoihin kohtiin, jolloin asuntopohjien suunnittelu rajoittuu. Vapaampi sijoittelu edellyttää usein riittävän tilan varaamista välipohjarakenteille ja tekniikalle sekä alakattoratkaisuja. (Rakennustieto 2004b)

2.2.1 Tuotantotekniikka

Seinät

Elementtiseinät voidaan tehdä raudoitettuna teräsbetonirakenteena, jolloin seinässä on vähintään minimiraudoitusta vastaava teräsmäärä tai raudoittamattomana, jolloin elementtien reunaan sijoitetaan reunan suuntainen pieliraudoitus. Asuinrakennuksissa seinät voidaan usein toteuttaa raudoittamattomina, koska rasitukset ovat niin pieniä. (Betoniteollisuus 2010 s.48)

Elementtirakenteisessa asuinrakennuksessa käytetään yleensä betoniväliseiniä ja osittain julkisivuelementtien kantavaa sisäkuorta kantavina pystyrakenteina. Asuntojen väliset kantavat seinät ovat yleensä 180 mm tai 200 mm paksuja raudoittamattomia betonielementtejä. Kantavan ulkoseinäelementin sisäkuori on tyyppillisesti 150 mm paksu. (Rakennustieto 2004b)

Elementtiasennuksen alussa alapuoliset rakenteet ovat valmiit, tarkastettu ja tarkemittattu. Elementtien asennussuunnitelma on käytettävissä työmaalla. Elementit ovat työmaalla kuljetuskaluston kuormassa tai välivarastossa. Työvälineet ja nostokaluston on valmiina käytettäväksi. Lopputilassa elementit on asennussuunnitelman mukaisesti asennettu. Juotosbetoni on valettu ja sen vaadittava lujuus on saavutettu. Hitsaus- ja pulttikiinnitykset on tehty, saumat viimeistely. Työ on tarkastettu ja hyväksytty. (Rakennustieto 2012b)

Seinäelementtien asennuspaikat mitataan paikoilleen rakennuksen mittapisteistä esimerkiksi takymetrillä. Elementtien oikea korkeusasema mitataan esimerkiksi tasolaserilla ja mitalla. Asennusalusta puhdistetaan ennen asennustyön aloitusta ja suuret epätasaisuudet poistetaan tarvittaessa piikkaamalla. Elementtien vaakasuoruus varmistetaan elementtien alle laitettavien eri korkuisten asennuspalojen avulla. (Rakennustieto 2012b)

Elementtien alasauman juotosbetonointi voidaan tehdä joko asennuksen yhteydessä tai jälkikäteen. Asennuksen yhteydessä voidaan levittää lapiolla noin 10 mm paksu betonikerros. Jälkikäteen tehtäessä valettavan sauman paksuudeksi jätetään noin 20 mm. (Rakennustieto 2012b)

Asennusvuorossa olevan elementin kohdalta puretaan tarvittaessa välipohjan kaiteet. Elementit nostetaan suoraan kuormasta tai välivarastosta asennussuunnitelman mukaisesti paikalleen. Nostoja ohjataan käsimerkein tai radioyhteydellä. Noston loppuvaiheessa elementtiä ohjataan asennuskangilla asennuspalojen päälle. Elementit tuetaan paikoilleen vähintään kahdella elementtituella. Elementin pystysuoruus ja paikka

tarkistetaan, ja tarvittaessa säädetään kuntoon. Tuetusta elementistä irrotetaan nostoraksit. (Rakennustieto 2012b)

Elementtien saumoihin asennetaan tarvittavat raudoitusteräksset. Saumat valetaan joko tavallisella betonilla tai pumpataan notkistetulla betonilla. Saumojen jälkihoidosta huolehditaan esimerkiksi muovilla tai kastelemalla, jotta betoni kovettuu suunnitelmien mukaisesti. Betonin kovettuttua riittävästi, muotit poistetaan ja saumojen pinnat viimeistellään. Kun juotosbetoni on saavuttanut rakennesuunnittelijan määrittämän lujuuden, elementtien tuet voidaan poistaa. Niitä ei kuitenkaan poisteta, jos niitä tarvitaan rakennusaikaiseen tuentaan. (Rakennustieto 2012b)

Välipohjat

Betonirunkoisissa rakennuksissa yleisimmin käytettävä elementtilaattatyyppe on ontelolaatta. Ontelolaatat ovat pituussunnassa kulkevilla onteloilla kevennettyjä esijännitettyjä laattaelementtejä. (Betoniteollisuus 2010 s.49) Ontelolaatoilla saavutetaan asuinrakennuksissa korkeintaan 11-13 metrin jänneväli (Rakennustieto 2004b).

Ontelolaattojen osuus kaikista rakennusosista on Suomessa hyvin suuri verrattuna muihin Euroopan maihin. Lähimpänä ovat muut Pohjoismaat sekä Hollanti. (Laitinen 1996, s.105)

Ontelolaatan ja muiden elementtilaattojen käytössä on etuja paikallavalettuihin laattoihin verrattuna. Elementtilaattoja käytettäessä vältytään muottityöltä, rakentaminen on nopeampaa ja työskentelytaso saadaan aikaan nopeasti. (Betoniteollisuus 2010 s.50)

Ontelolaattoja valmistetaan usealla eri paksuudella ja niistä asuinkerrostalojen välipohjissa käytetään yleisimmin 265 mm, 320 mm tai 370 mm paksuja laattoja. 265 mm laattaa voidaan käyttää, kun laatan päälle asennetaan askelääneneristys sekä tehdään vähintään 50 mm paksu pintabetonivalu. 320 mm laattaa voidaan käyttää välipohjassa, kun laatan päälle tehdään kelluva lattia. 370 mm laatan päälle tarvitsee asentaa vain tasoite, lattiapinnan joustava alusmateriaali sekä lattiapinnoite kuten laminaatti. Laattojen vakioleveys on 1200 mm ja suunnittelussa pyritään aina 12M kerrannaisiin, jotta voidaan asentaa kokonaisia ontelolaattoja. (Betoniteollisuus 2010 s.50-52)

Kylpyhuoneiden kohdalla käytetään niin sanottuja kololaattoja. Ne ovat ontelolaattoja, joihin on tehty syvennys kylpyhuoneen talotekniikkaa ja kallistusvaluja varten. Vaihtoehtoisesti kylpyhuoneen kohdalla voidaan käyttää ympäröivää tilaa matalampia

ontelolaattoja, joiden päälle tehdään pintavalu oikean korkeuden saamiseksi. (Betoniteollisuus 2010 s.54)

Asennuksen alkutilassa ontelolaattojen alapuoliset rakenteet ovat asennettu tarkastettu ja tarkemittattu. Ontelolaattojen asennussuunnitelma on työmaan käytettävissä. Elementit ovat välivarastossa tai kuljetusauton kuormassa. Tarvittavat työvälit ja nostokalusto ovat työmaalla valmiina käytettäväksi. Lopputilassa ontelolaatat on asennettu suunnitelman mukaisesti ja saumojen juotosvalut on tehty. Saumabetonilta vaadittu lujuus on saavutettu, ontelolaattojen hitsauskiinnitykset on tehty ja saumat on viimeistelty. Työn jälki on tarkastettu ja hyväksytty. (Rakennustieto 2012a)

Laattojen asennuspaikat mitataan rakennuksen mittapisteistä tai -linjoista esimerkiksi tasolaserilla ja mitalla. Samoilla välineillä voidaan mitata myös elementin oikea korkeusasema. Elementtien vaakasuoruus varmistetaan sopivilla asennusaloilla. Ennen asennustyön aloitusta alusta puhdistetaan ja suuret poikkeamat piikataan tarvittaessa. (Rakennustieto 2012a)

Elementit voidaan nostaa välivarastosta tai suoraan kuormasta. Nostossa käytetään nostosaksia ja lisäksi varmuusketjuja. Elementti ohjataan oikealle paikalleen, lopussa asennuskankia apuna käyttäen. Kun elementti on paikallaan, irrotetaan nostosakset. Laattojen alapinnat asennetaan samaan tasoon. Laatat tuetaan alta eikä tukia poisteta ennen kuin saumabetoni on saavuttanut riittävän lujuuden. (Rakennustieto 2012a)

Ennen laataston kuormittamista tehdään saumaukset. Ensin asennetaan suunnitelmien mukaiset saumaraudoitukset, minkä jälkeen laatastoa kiertävät rengasteräkset. Saumoihin asennetaan sähköputket ja saumat valetaan notkealla betonimassalla. Saumoja jälkihoidetaan esimerkiksi kastelemalla tai muovilla. Saumojen tukkeet poistetaan betonin kovettuttua riittävästi. (Rakennustieto 2012a)

2.2.2 Turvallisuus

Rakennustyömaa-alueen käytön suunnittelussa on elementtirakentamisessa kiinnitettävä erityistä huomiota muun muassa nostureiden nostopaikkojen perustuksiin, nostureiden nostosäteisiin ja -kapasiteetteihin sekä nosturinkuljettajien mahdollisimman esteettömään näköyhteyteen elementtivarastoon ja asennuskohteeseen. (Valtioneuvosto 2009, 11 §)

Elementtien varastointiin on käytettävä soveltuvaa telinettä, joka on turvallinen ja vakavuudeltaan riittävä rakennustyömaan olosuhteisiin (Valtioneuvosto 2009, 38 §). Telineen vakautta pitää tarkastella kuormituksen muuttuessa (Rakennustieto 2012b).

Nostoapulaitteita ei saa irrottaa ennen kuin elementti on tuettu asennussuunnitelman mukaisesti (Valtioneuvosto 2009, 40 §). Lopullinen kiinnitys on tehtävä valmistajan tai suunnittelijan ohjeiden mukaisesti mahdollisimman pian (Valtioneuvosto 2009, 41 §).

Elementtien nostoissa ja asennuksessa on tunnistettu yleisiä turvallisuusriskejä. Nostokaluston epäkuntoisuus, rikkinäiset elementit sekä elementtien vääränlainen tuenta voivat johtaa elementtien putoamiseen tai kaatumiseen. Tuulinen sää voi johtaa työntekijän jäämisen elementin tönäisemäksi. Elementin asemointi paikalleen tulee tehdä esimerkiksi asennuskankea apuna käyttäen, jotta ei tule riskiä sormien tai jalkojen jäämisestä elementin väliin. (Rakennustieto 2012b)

2.2.3 Kustannukset

Seuraavaksi esitellään betonielementtien kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Rakennusosien, kuten betonielementtien, kustannustekijöihin vaikuttavat materiaali-, esivalmistus- ja varastointikustannukset. Kustannuksia tulee myös kuljetuksesta ja asennuksesta. (Laitinen 1996, s.156)

Sementti on betonin raaka-aineista kallein. Sen osuus betonin valmistuskustannuksista elementtitehtaassa on lähes 45%. Kiviaineksen osuus betonin hinnasta on hieman yli 30%. Kiviaineksen hinta riippuu pääasiassa kuljetusmatkasta tehtaalle. (Laitinen 1996, s.153)

Esivalmistuskustannukset voidaan jakaa välittömiin ja välillisiin kustannuksiin. Välittömiä kustannuksia ovat materiaalikustannusten lisäksi työkustannukset. Välillisiä kustannuksia syntyy muun muassa laadunvalvonnasta, varastoinnista, tiloista, henkilöstöstä, tuotannon suunnittelusta, energiasta ja pääomasta. (Laitinen 1996, s.156)

Elementtien esivalmistuskustannukset jakautuvat karkeasti taulukoiden 7 ja 8 mukaisesti. Taulukossa 7 on esitetty ontelolaattojen kustannustekijät ja osuudet kokonaiskustannuksista. Vaihteluvälit kuvaavat eri paksuisia ontelolaattoja. Esitettyjen kustannusten lisäksi hintaan kuuluvat valmistajan kate sekä rahti.

Taulukko 7. *Ontelolaatan esivalmistuskustannuksiin vaikuttavat tekijät ja niiden suhteelliset osuudet (Kohdeyrityksen asiantuntijan arvio).*

Ontelolaatat	
Kustannustekijä	(% kustannuksista)
Betoni	46-51
Teräs	11-13
Työ	23-24
Muut kustannukset	15-17

Taulukosta 7 nähdään, että ontelolaatan kustannuksista noin 60% muodostuu materiaaleista. Noin neljännes kustannuksista tulee työstä. Taulukossa 8 on esitetty kustannustekijät ja osuudet kokonaiskustannuksista väliseinäelementtien osalta. Hintaan kuuluvat lisäksi valmistajan kate sekä rahti. Todellisten lukujen vaihtelu on suurta, koska väliseinien varustetaso esimerkiksi vaihtelee hyvin paljon.

Taulukko 8. *Väliseinäelementin esivalmistuskustannuksiin vaikuttavat tekijät ja niiden suhteelliset osuudet (Kohdeyrityksen asiantuntijan arvio).*

Väliseinät	
Kustannustekijä	(% kustannuksista)
Betoni	27
Teräs	9
Varusteet	7
Työ	33
Muut kustannukset	24

Taulukosta 8 nähdään, että väliseinäelementin kustannuksista vain noin 36% muodostuu materiaalikustannuksista. Työn osuus on noin 10 prosenttiyksikköä suurempi kuin ontelolaatoissa.

Tuotantokustannuksiin vaikuttavat muun muassa elementti- ja tuotantosarjapituudet. Elementtisarjaan kuuluvat elementit, jotka ovat mitoiltaan pintakäsittelyltään ja varusteiltaan samanlaisia. Samaan tuotantosarjaan kuuluvat elementit voidaan valmistaa ilman oleellisia muutoksia muotteihin tai elementteihin. Yli 5 kappaleen sarjat tuovat säästöjä elementtien valmistukseen. Näitä säästöjä saattaa kuitenkin pienentää kustannukset, jotka syntyvät useamman kerroksen elementtien varastoinnista tehtaalla. Myös elementin ominaisuudet kuten muotoilu, aukkojen määrä, varusteet ja muut detaljit vaikuttavat kustannuksiin. Esimerkiksi kooltaan ja mitoiltaan liian pienet tai suuret elementit ovat kalliimpia. (Laitinen 1996, s.156 ja 164)

Kuljetuskustannuksia syntyy erityisesti tehtaan ja työmaan välillä kuljetettaessa. Elementtitoimituksen arvosta tavallisesti 5-10% syntyy kuljetuksista. Kuljetuskustannukset syntyvät ajokilometreistä sekä aikakustannuksista, joihin kuuluu lastaus, purku ja odotus. (Laitinen 1996, s.156-157) Tyypillisesti kuljetuksille on joku sovittu hinta tietyn kilometrirajan alittaville matkoille sekä hintaan kuuluvaa purkuaikaa esimerkiksi 1 tunti.

Kohdeyrityksen laskelmien mukaan elementtiväliseinän kustannukset ovat yli 30% suuremmat kuin paikallavaletun väliseinän. Hinta sisältää elementtien hankinnan, elementtien asennuksen, pystysaumajuotokset ja työntekijöiden sosiaalikulut.

2.2.4 Talvitoimenpiteet

Elementit, joihin tehdään saumavaluja, tulee aina lämmittää ennen saumausta. Jos saamaa ei lämmitetä, valussa käytettävän betonin lämpötila laskee nopeasti ja lujuuden kehitys hidastuu tai jopa pysähtyy kokonaan. (Sahlstedt 2013)

Myös saumattavat ontelolaatat lämmitetään ennen saumavalua. Lämmitys voidaan tehdä esimerkiksi lankalämmityksellä. Jos lämmitys ei jostain syystä ole mahdollista, voidaan käyttää pakkasbetonia. (Sahlstedt 2013)

Talvitoimenpiteiden kustannukset

Talvibetonointiin liittyvien lämmitysten energiantarve riippuu runkoratkaisuista. Runkoratkaisulla on vaikutusta myös koneiden käytön ja valaistuksen kuluttamaan energiaan. (Rakennustieto 2010) Näitä tietoja täyselementtitekniikan osalta on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. *Energian kulutus lämpötilan mukaan täyselementtirakentamisessa (Rakennustieto 2010).*

Runkovaiheen valujen ja elementtisaumauksen lämmitys $\left(\frac{kWh}{rm^3 \times kk}\right)$			Koneiden käyttö ja valaistus $\left(\frac{kWh}{rm^3}\right)$
Ulkolämpötila (°C)	alle 10 000 rm^3	Yli 10 000 rm^3	
yli 7,5	0,0	0,0	3,0
7,5...2,5	0,5	0,2	3,0
2,5...-2,5	0,8	0,5	3,0
-2,5...-7,7	1,4	0,8	3,0
-7,7...-12,5	2,1	1,1	3,0
-12,5...-17,5	2,6	1,5	3,0
-17,5...-22,5	3,2	1,8	3,0
-22,5...-27,5	3,8	2,2	3,0

Täyselementtirakentamisessa runkoon liittyvät valut ovat pääasiassa elementtien saumavaluja. Niiden lämmittämiseen käytettävän energian tarve on sitä suurempi mitä kylmempi lämpötila on. Lämmitystarve alkaa jo lämpötilan laskiessa alle 7,5 °C. Lämpötilan laskiessa kylmemmäksi kuin -22,5 °C energiaa kuluu lähes 4 kilowattituntia enemmän kuukaudessa rakennuskuutiota kohti. Koneiden käyttöön ja valaistukseen kuluu energiaa noin 3 kilowattituntia rakennuskuutiota kohti.

Eri tuotantotekniikoilla tehtävän muutoin saman rakennussuunnitelman talvikustannuksiin vaikuttaa pääasiassa paikalla valettavien rakenteiden työmenekit, talvityöt ja -kalusto sekä energian tarve. Taulukossa 10 on kuvattu asuinkerrostalon

kokonaistyömenekin kasvua kesään verrattuna täyselementtitekniikalla. (Rakennustieto 2010)

Taulukko 10. *Asuinkerrostalon kokonaistyömenekin kasvu kesään verrattuna (Rakennustieto 2010).*

Tuotantotekniikka	Työmenekin kasvu (%)
Täyselementtitekniikka	0...6,4

Taulukosta nähdään, että täyselementtitekniikalla työmenekin kasvun vaihtelu on suurta. Parhaimmillaan talvi ei kuitenkaan kasvata työmenekkiä ollenkaan.

2.2.5 Kuivuminen

Ontelolaatat tehdään betonista, jonka vesi-sideainesuhde on alhainen, noin 0,4-0,5 (Merikallio 2002 s.48). Ontelolaatoissa on ylimääräistä vettä noin 25 kg/m³ ja saumojen valussa vesimäärä lisääntyy noin 2 kg/m² (Toivari 2011, s.12-13).

Ontelolaattoja käytettäessä vedenhallinnan kannalta on ratkaisevaa se miten tiiviiksi laatasto saadaan. Saumavalujen yhteydessä voidaan vaikuttaa sadevesien kulkuun eniten. Kun välipohjassa käytetään valmishormeja ja esivalmistettuja LVIS-läpimenokappaleita, saadaan aikaan yhtenäinen vesitiivis välipohjalaatta. Tiivis välipohja on edellytys alempien kerrosten rakenteiden kuivumisen alkamiselle. Ontelolaattojen keskeltä ylöspäin kaareutuva muoto johtaa sadeveden kohti seiniä, jolloin on huolehdittava, että sadevesi ei kulkeudu seinäelementtien eristetilaan. Lopuksi on huolehdittava, että sadevedet johdetaan välipohjalta pois esimerkiksi viemäreihin. (Teriö 2003, s.10-12)

Kuivumisen vaikutus aikatauluun

Seuraavassa taulukossa on esitetty Merikallion (2002) tutkimia peruskuivumisaikoja. Tarkemmat kuivumisaika-arviot koostuvat peruskuivumisajan lisäksi kertoimista, joilla huomioidaan olosuhteet, rakenteen kastuminen, ontelolaatan kosteus ennen pintavaluja sekä pintavalukerrosten paksuus ja vesi-sideainesuhde. Taulukossa 11 on esitetty erilaisten rakenteiden peruskuivumisajat suhteellisen kosteuden tasoilla 90% ja 85%.

Taulukko 11. *Välipohjarakenteiden peruskuivumisaikoja (Merikallio 2002, s.48-56).*

Peruskuivumisaika	Ontelolaatta	Ontelolaatta +	Kololaatta	Kelluva
		pintabetonivalu	+ jälkivalu	pintabetonilaatta
RH 90% (vk)	2	9	10	5
RH 85% (vk)	6	15	15	8

Kertoimien perusteella peruskuivumisajat pätevät tietyissä olosuhteissa ja tietyillä pintavalun ominaisuuksilla. Olosuhteiksi oletetaan kaikissa taulukon tilanteissa 18 °C lämpötila ja 60% ilman suhteellinen kosteus. Kaikkien rakenteiden osalta oletetaan, että pinta- tai jälkivalun vesi-sideainesuhde on 0,7 ja, että lopullinen rakenne on kosteissa olosuhteissa yli 2 viikkoa. Ontelolaatan ja pintabetonivalun muodostamassa rakenteessa pintabetonivalun paksuudeksi oletetaan 50 mm ja ontelolaatan kosteudeksi (RH) ennen pintavalua 90-95%. Kololaatan ja jälkivalun muodostamassa rakenteessa oletetaan jälkivalun paksuudeksi 120 mm ja ontelolaatan kosteudeksi (RH) ennen jälkivalua 90-95%. Kelluvan pintalaatan paksuudeksi oletetaan 70 mm ja alla olevan laatan kosteudeksi (RH) ennen valua 90%. (Merikallio 2002, s.48-56)

Kylpyhuoneen kololaatan paksuuden oletetaan olevan 320 mm, mutta 370 mm paksuja laattoja käytetään yleisesti. Ne tarvitsevat 170 mm paksun jälkivalun. (Betoniteollisuus 2010, s.54) Merikallion (2002) tutkimissa peruskuivumisajoissa ei ole kerrointa niin paksulle valulle, mutta koska 150 mm paksun jälkivalun kerroin on 1,3, voidaan tehdä karkea oletus, että 170 mm paksun valun kerroin on noin 1,5. Tämä lisää taulukossa 11 esitettyä kololaatan ja jälkivalun muodostaman rakenteen kuivumisaikaa puolella.

2.2.6 Aika

Taulukossa 5 on esitetty aikasidonnaiset kustannusnimikkeet. Taulukkoon 12 on laskettu kohdeyrityksen 13 työmaan toteutuneita aikasidonnaisia hankkeen yhteiskustannuksia. Rakennuskuutiota kohti lasketut luvut ovat pyöristettyjä keskiarvoja. Taulukossa keskiarvot on esitetty kaupungin, runkoratkaisun ja hankkeen koon mukaan. Tampereen osalta on huomioitu vain täyselementtikohteet. Kokoon perustuvissa luvuissa on mukana myös paikallavalu- ja sekarunkoiset kohteet. Sarakkeen on tarkoitus osoittaa, että erot eivät selity hankkeen koolla. Luvut ovat suhdelukuja, joita on verrattu paikallavalutyömaiden keskiarvoon, jotta taulukko on vertailukelpoinen taulukon 6 kanssa.

Taulukko 12. *Aikasidonnaisten hankkeen yhteiskustannusten keskiarvoja kohdeyrityksen valmistuneilla työmailla.*

Kaupunki	€/rm ³	Runkoratkaisu	€/rm ³	Koko (1000 rm ³)	€/rm ³
Helsinki	1,11	Täyselementti	0,87	5-10	1,13
Lahti	1,00			10-15	0,91
Tampere	0,54			15-20	1,02
				yli 20	0,98

Taulukosta nähdään, että täyselementtitekniikalla rakennettujen kohteiden kesimääräiset yhteiskustannukset ovat paikallavalutyömaita noin 13% pienemmät. Erot kaupunkien välillä ovat kuitenkin huomattavan suuria. Helsingin kohteista laskettu

keskiarvo on 11% paikallavalutyömaita suurempi, kun Tampereella vastaava keskiarvo on 46% paikallavalutyömaita pienempi.

2.3 Vertailu

2.3.1 Paikallavalurakentamisen edut

Runkojärjestelmän osalta paikallavalurakentaminen tarjoaa enemmän mahdollisuuksia. Näitä ovat muun muassa saumattomat sisäkatot, kylpyhuoneiden lattiarakenteet sekä hyvät ääneneristysominaisuudet. (Mannonen 2006, s.23) Talotekniikka on helpompi integroida paikallavalurakenteisiin kuin elementteihin.

Paikallavaletun välipohjalaatan minimipaksuus on 270 mm. Ontelolaatoista kohdeyrityksessä käytetään yleensä 370 mm paksuja laattoja. Asuinhuoneen minimihuonekorkeus on 2,5 metriä ja rakennuksen minimikerroskorkeus on 3 metriä (Ympäristöministeriö 2017, 4 § ja 11 §). Jos pyritään minimivaatimukseen, paikallavalulaatalla mahdollisiin talotekniikka-asennuksiin jää 100 mm enemmän tilaa.

Kohdeyrityksen tekemien laskelmien mukaan paikallavalurakentaminen on keskimäärin edullisempaa neliöhinnaltaan. Paikallavaletun väliseinän hinta on noin 25% edullisempi kuin elementtiväliseinän.

2.3.2 Paikallavalurakentamisen haitat

Paikallavalutekniikalla on vaikeampi toteuttaa pitkät jännevälit. Kantavien seinien sijoittelu siten, että ne haittaavat toimintoja mahdollisimman vähän, ei kuitenkaan ole yleensä arkkitehtonisesti vaikeaa. (Mannonen 2006, s.23) Paikallavalurakentamisessa on enemmän työmaalla toteutettavia työvaiheita. Työmaalla työskentely on tehdasolosuhteita vaikeampaa esimerkiksi sääolojen ja valaistuksen takia.

Talvibetonointi vaatii erilaisia toimenpiteitä. Tarvitaan ainakin suojausta, lämmitystä, lumitöitä ja sulatusta. Lisäksi voidaan tarvita erikoisbetoneja. Vaikka nämä toimet hallitaankin hyvin, niiden toteuttamiseksi tarvitaan aikaa ja rahaa. Taulukoissa 2 ja 9 on esitetty runkovaiheen valujen ja elementtisaumauksen lämmitykseen sekä koneiden käyttöön ja valaistukseen tarvittavan energian määrää eri runkoratkaisuilla. Paikallavalutekniikkaa käytettäessä tarvitaan valujen ja elementtisaumauksen lämmittämiseen noin puolet enemmän energiaa kuin elementtitekniikalla. Koneiden käyttö ja valaistus tarvitsee paikallavalurakentamisessa noin 60% enemmän energiaa kuin elementtirakentamisessa. Taulukoissa 3 ja 10 on esitetty asuinkerrostalon kokonaistyömeneikin kasvu kesään verrattuna. Sekä paikallavalurakentamisessa että elementtirakentamisessa kasvu on suurimmillaan 6,4%, mutta

paikallavalurakentamisessa kasvu on vähintään 2,3% kun elementtirakentamisessa minimimäärä on 0%.

Betonissa on paljon valmistusprosessista johtuvaa vettä. Ylimääräistä kuivatettavaa vettä on paikallavalurakenteissa huomattavasti elementtejä enemmän. Taulukoissa 4 ja 11 on esitetty välipohjarakenteiden kuivumisaikoja. Taulukoista nähdään, että massiivisen paikallavaletun laatan kuivuminen 85% suhteelliseen kosteuteen kestää perustilanteessa noin 37 viikkoa. Samaan suhteelliseen kosteuteen kuivuminen rakenteella, jossa on ontelolaatta sekä pintavalu, kestää noin 15 viikkoa. Hitaamman kuivumisen takia sisävaiheen rakentaminen päästään aloittamaan myöhemmin tai kuivumista on tehostettava jollain keinolla.

2.3.3 Elementtirakentamisen edut

Elementtirakentamisen suurin hyöty on rungon pystytysnopeus. Elementit tehdään suojaetuissa sisätiloissa ja työmaalla tehdään vain rungon pystytys valmiilla elementeillä. Ontelolaattojen avulla on helpompi toteuttaa pitkät jännevälit kuin paikallavalulaatoilla (Mannonen 2006, s.23). Ontelolaatoilla saavutetaan asuinrakentamisessa jopa 11-13 metrin jänneväli.

Elementtirakentamisessa talvi aiheuttaa vähemmän haittaa. Elementtirakentamisen tärkein talvitoimenpide on saumattavien elementtien lämmitys ennen saumavalua. Ontelolaattavälipohjien kuivumisaika on paikallavalurakenteita lyhyempi. Tämän ansiosta ne voidaan pinnoittaa nopeammin.

Taulukoista 6 ja 12 nähdään, että kohdeyrityksen valmistuneilta työmailta kerätyn aineiston perusteella täyselementtirunkoisissa kohteissa hankkeen aikasidonnaiset yhteiskustannukset rakennuskuutiota kohden ovat pienemmät kuin sekarunkoisissa tai paikallavalurunkoisissa. Täyselementtikohteiden keskiarvo on 13% pienempi ja vastaavasti sekarunkoisten kohteiden keskiarvo on 11% suurempi kuin paikallavalukohteiden. Aikasidonnaisista yhteiskustannuksista saadaan säästöjä lyhyemmällä rakennusajalla ja elementtirakentaminen on paikallavalurakentamista nopeampaa. Lyhentämällä noin 12 kk kestävästä rakennushanketta kuukaudella, voidaan yhteiskustannuksista säästää kymmeniä tuhansia euroja. Eniten säästöjä saadaan runkovaiheessa.

2.3.4 Elementtirakentamisen haitat

Elementtirakentaminen rajaa arkkitehtuuria enemmän kuin paikallavalurakentaminen. Erityisesti välipohjaratkaisut ovat rajoitetumpia. Ontelolaatoilla rakennettaessa pyritään 12M kerrannaisiin ja esimerkiksi kaarevia muotoja on vaikeampi toteuttaa.

Ontelolaattavälipohja on vaikeampi saada tiiviiksi kuin paikallavaluvälipohja. Tästä syystä alempien kerrosten pitäminen täysin kuivana on hankalampaa, kunnes vesikatto on valmis. Veden pääsy alemmille kerroksille on estettävä, jotta rakenteiden kuivuminen voi alkaa kunnolla.

Ontelolaattoja käytettäessä välipohjarakenne on paikallavalulaattaa paksumpi. Yleisimmät asuinrakentamisessa käytettävät ontelolaatat ovat 320 mm ja 370 mm paksuja. 320 mm laatan päälle pitää tehdä vielä kelluva lattiarakenne ääneneristysvaatimusten täyttämiseksi. Paikallavaletun välipohjalaatan minimipaksuus on 270 mm.

Kohdeyrityksen laskelmien mukaan elementtirakentamisen neliöhinta on korkeampi kuin paikallavalurakentamisen. Tätä hintaeroa pienentävät kuitenkin nopeammasta rakentamisesta tulevat säästöt.

3. TUTKIMUSMENETELMÄT JA AINEISTO

Tutkimuksen menetelmien valintaa ohjaa tutkimusstrategia. Tutkimusstrategia on menetelmien kokonaisuus. (Jyväskylän yliopisto 2014) Tämä tutkimus yhdistelee vertailevaa tutkimusta ja tapaustutkimusta. Tapaustutkimuksessa hankitaan yksityiskohtaista tietoa pienestä joukosta toisiinsa suhteessa olevia tapauksia. Tapaus voi olla myös yksittäinen. Aineistoa kerätään useilla metodeilla, esimerkiksi haastatteluilla ja dokumentteja tutkimalla. (Hirsjärvi 2009, s.134-135)

Vertailevaa tutkimusta tehdään tässä tutkimuksessa laadullisesti. Tutkimusmenetelminä käytetään kirjallisuustutkimusta ja haastattelututkimusta. Lisäksi tapausten kohdalla hyödynnetään kohdeyrityksellä olevaa dokumentoitua tietoa.

3.1 Haastattelututkimuksen toteutus

Kohdeyrityksen kanssa sovittiin heti projektin alkuvaiheessa, että työn suorittamiseen kuuluu haastattelut eri alueyhtiöiden henkilöiden kanssa. Yrityksellä oli jonkinlainen mielikuva tutkittavan aiheen näkökulmista ja mahdollisista vastauksista. Haastatteluilla haluttiin selvittää pitävätkö arviot yhtään paikkaansa.

Kohdeyritys toimii alueyhtiöidensä kautta Helsingin, Lahden, Turun, Rauman, Tampereen ja Oulun alueilla. Haastatteluiden tarkoituksena oli kartoittaa kohdeyrityksen toimialueilla käytössä olevia runkoratkaisuja ja syitä pääsääntöisesti käytössä olevien ratkaisuiden käyttöön. Syiden lisäksi haluttiin selvittää, voisiko hyväksi havaittuja asioita viedä myös muiden toimialueiden rakentamiseen. Haastatteluissa selvitettiin asiaa laajasti eri osa-alueiden näkökulmista. Näin saatiin enemmän perusteluja ja kokemuksia, joita voitiin verrata muiden toimialueiden haastateltujen antamiin vastauksiin.

Haastattelun käyttöä tutkimusmenetelmänä tuki tutkimusongelman luonne. Kyseessä on aihe, josta yrityksessä on mielikuvia, mutta asiaa ei ole oikeasti koskaan tutkittu koko yrityksen laajuudessa. Jo ennakkoon tiedettiin, että aihe tuottaa vastauksia monipuolisesti. Eri alueyhtiöiden käytännöt eroavat niin paljon toisistaan, että vastauksista odotettiin voimakasta hajautumista. Haastattelut mahdollistivat haastattelutilanteessa täsmentävien ja varmistavien kysymysten esittämisen välittömästi vastausten jälkeen, joten väärintulkinnoilta pystyttiin välttymään esimerkiksi kyselylomaketta paremmin. Haastatteluissa vastaukset johdattelivat välillä myös hieman aiheen ulkopuolelle laajempaan kontekstiin. (Hirsjärvi 2009, s.205)

Tutkimushaastattelut voidaan jakaa 3 erilaiseen ryhmään. Strukturoituihin haastatteluihin eli lomakehaastatteluihin, teemahaastatteluihin ja avoimiin haastatteluihin. Ensimmäisessä haastattelu tehdään käyttämällä lomaketta, jossa kysymykset on täysin ennalta määrätty. Avoimessa haastattelussa selvittää haastateltavan ajatuksia sen mukaan, kuinka ne tulevat keskustelun kuluessa vastaan. Haastattelutyyppi on lähimpänä tavallista keskustelua. Tällaisessa haastattelussa menee paljon aikaa ja haastattelijan täytyy osata ohjailta keskustelua hyvin haluamaansa suuntaan. Teemahaastattelu on kahden edellä mainitun tyyppin välimuoto. Teemahaastattelussa tyypillisesti aihepiirit eli teema-alueet ovat tiedossa, mutta kysymysten tarkka muoto ja järjestys puuttuvat. Haastattelutyyppi vastaa hyvin monia kvalitatiivisen tutkimuksen lähtökohdista. Yksi näistä lähtökohdista on, että tutkimuksen kohdetta pyritään tutkimaan mahdollisimman kokonaisvaltaisesti. (Hirsjärvi 2009, s. 161 ja 208-209)

Tässä tutkimuksessa haastattelutyyppiksi valittiin teemahaastattelu. Haastatteluja varten tehtiin valmis kysymysrunko, mutta haastattelun keskustelevaa luonnetta hyödynnettiin kysymällä paljon täydentäviä ja tarkentavia välikysymyksiä. Haastattelujen teemat olivat järjestyksessä runkoratkaisun valinta, aikataulutekijät, kustannukset, osaaminen, elementtien saatavuus ja hinta, urakat, jälkityöt, suunnittelu, talvirakentaminen ja turvallisuus. Haastatteluissa kysyttiin myös kysymyksiä, jotka eivät liittyneet työn aihepiiriin vaan yrityksen toimintatapojen kehittämiseen laajemmin.

Haastatteluista yksi pidettiin kasvotusten ja loput etäyhteydellä. Kasvotusten pidetty haastattelu äänitettiin puhelimella ja muut haastattelut Microsoft Teamsin tallennusominaisuudella. Tallennuksen ansiosta haastattelujen aikana ei tarvinnut kirjoittaa muistiinpanoja, joten haastattelut saatiin vietyä läpi sujuvasti. Haastattelut kirjoitettiin jälkikäteen puhtaaksi, jotta annettuja vastauksia oli helpompi analysoida.

Haastatteluja pidettiin yhteensä 9 kappaletta ja niissä haastateltiin 16 ihmistä. 3 haastattelua pidettiin yksilöhaastatteluina, 5 haastattelua pidettiin parihaastatteluina ja 1 haastattelu pidettiin 3 hengen ryhmähaastatteluina. Yksilöhaastatteluissa haastateltujen henkilöiden rooli poikkesi alueen muista haastateltavista. Parihaastatteluissa haastateltavien tehtävät olivat lähellä toisiaan samoin kuin ryhmähaastattelussa.

Parihaastattelu on yksi ryhmähaastattelun alamuoto. Sekä ryhmähaastattelujen että yksilöhaastattelujen osalta on kokemuksia, että keskustelut voivat olla vapautuneita ja luontevia. Ryhmähaastattelun etuna on tehokkuus, kun samalla kerralla saadaan tietoja usealta henkilöltä. Ryhmähaastatteluissa toiset henkilöt voivat täydentää muiden vastauksia ja korjata esimerkiksi muistinvaraisissa asioissa. Ryhmähaastattelun

todetaan olevan mielekäs, kun tutkitaan ryhmien kulttuureja ja kulttuurista omaksuttuja näkemyksiä. (Hirsjärvi 2009, s.210-211) Tässä tapauksessa kulttuurina voidaan pitää tietyn alueen rakennuskulttuuria.

Haastateltavat valittiin kohdeyrityksen toimesta. Melkein jokaisessa kaupungissa haastatellut edustivat sekä hankekehitystä että tuotantoa. Haastateltavat henkilöt olivat runkotyönjohtaja, vastaavia työnjohtajia, työpäälliköitä, hankekehityksestä vastaavia henkilöitä ja laskennasta vastaavia henkilöitä. Lisäksi turvallisuusosiossa haastateltiin kohdeyrityksen työturvallisuuspäällikköä. Työturvallisuuspäällikön kanssa käytiin läpi myös tapaturma- ja läheltä piti -raportteja. Raporttien tietoja ei tilastoitu, vaan niistä nostettiin vain huomioita.

Yrityksen edustaja lähetti haastateltaville haastattelupyynnöt, joissa oli mukana myös haastattelijan pohjustus työn aiheesta ja tavoitteista. Haastattelija sopi tämän jälkeen jokaisen haastateltavan kanssa sopivan ajankohdan. Tässä vaiheessa haastateltavat saivat haastattelukysymykset.

3.2 Tapaustutkimuksen toteutus

Tapaustutkimukseen valittiin kolme case-kohdetta, jotka on rakennettu erilaisilla runkoratkaisuilla. Yksi kohde on täyselementtirunkoinen, yksi paikallavalettu ja yksi sekarunkoinen, jossa on elementtiseinät ja paikallavaluvälipohjat. Kohteet on valittu haastattelututkimuksessa esiin tulleiden kohteiden joukosta. Kaikki kohteet ovat sellaisia, joiden runkovaiheet onnistuivat ilman suurempia haasteita.

Kohteista verrattiin toteutuneita kustannustietoja rungon sekä työmaan käyttö- ja yhteiskustannusten osalta. Runkokustannuksista huomioitiin elementtihankinnat, muotit, rauditus, betonointi sekä näihin liittyvät työt ja urakat. Käyttö- ja yhteiskustannuksista valittiin luvussa 2.1.6 mainitut aikasidonnaiset nimikkeet. Kohteet ovat valmistuneet lähiaikoina, joten yleisen kustannustason suhteen ne ovat vertailukelpoisia.

4. HAASTATTELUTUTKIMUKSEN TULOKSET

Haastattelukysymykset jaettiin seuraaviin teemoihin: runkoratkaisun valinta, aikataulu, osaaminen, talvirakentaminen ja turvallisuus. Haastatteluiden avulla haluttiin löytää eroja runkoratkaisujen välillä näillä osa-alueilla. Seuraavat luvut esittelevät haastattelujen tuloksia teemoittain.

Kaikki tässä luvussa esitetyt tulokset ovat peräisin haastatteluista. Teemat kulkevat samassa järjestyksessä kuin haastatteluissa. Jokaisen teeman aluksi on kerrottu siihen liittyvistä haastattelukysymyksistä.

4.1 Runkoratkaisun valinta

Tämän teeman osalta kysyttiin, minkälaista runkoratkaisua haastateltavien alueella käytetään yleisesti. Selvitettiin myös, tehdäänkö runkoratkaisusta etukäteen jonkinlaista vertailua, kuka päättää runkoratkaisusta ja tekeekö hankekehitys tuotannon kanssa yhteistyötä päätöksen osalta. Lisäksi pyydettiin perusteluja tietyn runkoratkaisun käytölle alueella.

Kohdeyritys toimii Suomessa 6 kaupungissa ja niiden lähialueilla. Eri kaupungeissa käytetään eri tekniikoita runkorakentamisessa. Helsingissä ja Lahdessa rakennetaan lähes pelkästään täyselementtitaloja. Suunnittelu lähtee aina täyselementtitalosta, mutta korkeissa rakennuksissa voidaan joutua tekemään pari alinta kerrosta paikallavaluna. Raumalla käytetään elementtiseiniä ja kohteesta riippuen paikallavalu- tai ontelolaattavälipohjaa. Tampereella käytetään elementtiseiniä ja pääasiassa paikallavaluvälipohjaa. Urakkakohteissa on käytetty myös ontelolaattavälipohjaa. Oulussa ensisijainen tapa on käyttää paikallavaluväliseiniä, elementtipäätuseiniä ja puurakenteisia kantamattomia ulkoseiniä. Välipohjarakenteena on ontelolaatta. Turussa käytetään paikallavaluväliseiniä, elementtiulkoseiniä sekä paikallavaluvälipohjaa.

Käytössä olevat runkotekniikat ovat muodostuneet oletusarvoisiksi valinnoiksi. Yksittäisiä kohteita lukuun ottamatta laajaa vertailua eri runkovaihtoehtojen välillä ei tehdä etukäteen. Kaupungeissa on erilaisia käytäntöjä hankekehityksen ja tuotannon yhteistyölle. Pääasiassa hankekehitystä tekevät henkilöt päättävät millaista runkoratkaisua käytetään ja tuotannolla on mahdollisuus vaikuttaa pienempiin ratkaisuihin.

Jokaisen kaupungin haastateltavat kertoivat perustelunsa alueella käytettävälle runkoratkaisulle. Monessa kaupungissa mainittiin tottumus käytössä olevaan

tekniikkaan. Tiettyä tapaa on käytetty pitkään, minkä ansiosta sen käytössä on kehitytty tehokkaiksi. Oman tavan käytöstä ei ole tullut huonoja kokemuksia, joten ei ole koettu tarvetta muuttaa toimintaa. Esimerkiksi Etelä-Suomessa kohdeyrityksen lisäksi koko alueen rakennuskulttuuri on muodostunut sellaiseksi, että rakennetaan täyselementtitaloja.

Paikallavalutekniikan selkeimpänä etuna pidetään alhaisempia kustannuksia. Erityisesti Turussa ja Oulussa, joissa käytetään paikallavaluseiniä, elementtejä pidetään selvästi kalliimpina rakenteina. Toisena paikallavalun etuna nähdään mahdollisuus sijoittaa viemärit ja sähkövedot välipohjan sisään. Lisäksi ääneneristysvaatimusten uskotaan täyttyvän helpommin paikallavaluvälipohjilla kuin ontelolaatoilla.

Elementtitekniikan selkeimpänä etuna pidetään nopeampaa aikataulua. Elementtirakentamisen sanottiin olevan lumelle ja muille sään aiheuttamille häiriöille vähemmän herkkä. Helsingissä, Lahdessa ja Tampereella koettiin, ettei alueilla ole osaamista paikallavaluseinien tekoon. Ongelmaksi koettiin myös oman muottikaluston puuttuminen. Kunnon kaluston hankkiminen nähdään isona investointina ja hankkimisen lisäksi kalustoa pitäisi varastoida ja huoltaa.

4.2 Aikataulu

Tässä teemassa kysyttiin minkä kokoista työryhmää runkovaiheessa yleensä käytetään ja millaiseen kerrosaikatauluun käytössä olevalla runkoratkaisulla yleensä pyritään. Lisäksi kysyttiin, millaisia hyötyjä aikataulun nopeuttamisesta olisi ja millä keinoilla se olisi mahdollista.

Riippumatta käytetystä runkoratkaisusta, työntekijöiden määrä runkoryhmässä on suunnilleen samankokoinen, noin 5-8 henkilöä. Tavoiteltava kerrosaikataulu riippuu valtavasti kohteesta, mutta elementtirakentamisessa pyritään yleisesti paikallavalua nopeampaan aikatauluun. Paikallavaluosia käytettäessä kerroksen rakentaminen aikataulutetaan kestämään noin 2-5 päivää pidempään kuin täyselementtirakentamisessa. Kerrospinta-alan ollessa noin 400 m², elementtiväliseiniä käyttämällä säästetään noin 3 päivää kerroksen rakentamisajassa.

Aikataulun nopeuttamisesta saatavista hyödyistä haastateltavat olivat melko yksimielisiä. Säästöä syntyy työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksista eli 8- ja 9-litteroista. Runkovaiheen aikana käytössä on paljon vuokratilustoa, joten minuutit maksavat. Runkovaihe halutaan hoitaa nopeasti, jotta päästään eroon esimerkiksi nosturista, kaiteista muottikalustosta, elementtien varastoinnissa käytettävistä telineistä ja mahdollisista katuvuokrasta. Suorien vuokrasäästöjen lisäksi nopeammasta aikataulusta

koetaan olevan merkittävää hyötyä rakenteiden kuivumisen kannalta. Nopeasti käynnistyvä kuivuminen helpottaa rakentamista sisävaiheessa, jossa rakenteiden tulee olla riittävän kuivia. Nopeammalla aikataululla pitää kuitenkin saada karsittua riittävästi työpäiviä, että siitä on merkittävää hyötyä. Esimerkiksi 4 tai 5 työpäivän säästöä runkovaiheen aikana ei pidetty merkittävänä, mutta 3 viikon erosta koettiin olevan oleellista hyötyä.

Näkemykset aikataulua nopeuttavista keinoista vaihtelivat. Kahdessa kaupungissa todettiin aikataulujen olevan sellaiset, että yhdellä nosturilla ei voi rakentaa nopeammin. Useamman nosturin käyttö ei yleensä ole mahdollista tonttien pienen koon takia. Aikataulun nopeuttamiseksi voitaisiin tehdä pidempää päivää, mutta sitä ei haluta tehdä, koska ylitöistä aiheutuvien kustannusten ajatellaan kumoavan nopeammasta aikataulusta saatavat kustannussäästöt. Toisto, toimiva runkoporukka sekä hyvä ennakkosuunnittelu mainittiin asioina, jotka varmistavat tehokkaan rakentamisen.

4.3 Osaaminen

Osaamisen osalta kysyttiin, onko kohdeyrityksessä työntekijöitä tai työnjohtajia, jotka hallitsevat runkorakennustekniikan, joka ei ole alueella yleisesti käytössä. Lisäksi kysyttiin, miten siirtyminen toiseen tekniikkaan onnistuisi.

Kahdessa kaupungissa sekä työnjohtajilla että työntekijöillä sanottiin olevan niin monipuolinen tausta erilaisista projekteista, että kaikenlainen rakentaminen onnistuu. Erilaisen runkojärjestelmän käyttämisessä ei siis nähty osaamiseen liittyviä ongelmia.

Joillain alueilla käytetään pääsääntöisesti ulkopuolista urakoitsijaa rungon rakentamiseen. Kaikilla alueilla näin tehdään ainakin yksittäisissä kohteissa. Myös talotekniikan asentaminen on hyvin erilaista eri runkoratkaisuilla. Etelä-Suomessa ei haastateltujen mukaan juurikaan ole paikallavaluosaamista. Tekniikan hallitsevia urakoitsijoita on, mutta ei paljon. Myöskään työnjohtajilla ei ole paikallavalukokemusta, joten paikallavalurunkojen rakentaminen vaatisi ainakin opettelua.

Paikallavalurungoissa käytetään elementtiulkoseiniä sekä joitain elementtiväliseiniä. Tämän takia paikallavalua suosivissa kaupungeissa on jo valmiiksi myös riittävää elementtiasennusosaamista.

4.4 Talvirakentaminen

Tässä teemassa kysyttiin mistä talvirakentamisen kustannukset syntyvät ja millaista kokoluokkaa kustannukset ovat. Lisäksi keskusteltiin muista olosuhteiden aiheuttamista ongelmista.

Talven aiheuttamat kulut syntyvät suurelta osin rungon suojauksista lämmityksestä ja lumitöistä. Näiden lisäksi on kuluja, jotka eivät näy talvityöliteralla vaan ovat jo muissa litteroissa mukana. Esimerkiksi talvibetonin ylimääräiset kustannukset ovat betonilitteralla. Lisäksi olosuhteet voivat vaikeuttaa työskentelyä tai jopa estää sen. Esimerkiksi paikallavaluvälipohjaa tehdessä lumi voi viivästyttää kerroksen valmistumista helposti päivänkin. Talven aiheuttamien kustannusten suuruudesta ei saatu haastatteluissa kunnollista arviota.

Helsingissä lunta ei pidetä isona ongelmana, mutta vedestä on ollut paljon haittaa. Veden lisäksi tuuli aiheuttaa rannikolla ongelmia. Eräässä kohteessa tuulen takia oli 10-20 työpäivää, jolloin ei voinut tehdä mitään.

4.5 Turvallisuus

Turvallisuuden osalta haluttiin selvittää, millaisia riskejä runkorakentamisessa tunnistetaan. Haluttiin myös tietää, onko haastattelujen perusteella eri runkoratkaisuista löydettävissä selkeästi turvallisin tai vaarallisin tekniikka.

Nostot mainittiin lähes kaikissa haastatteluissa ja yksi haastateltava totesi nostojen olevan aina riski. Paikallavaluseinien tekoon käytettäviin suurmuotteihin liittyen mainittiin 3 selkeää riskiä. Muotteihin ottaa tuuli helpommin kiinni kuin elementteihin ja heiluminen voi aiheuttaa vaaratilanteita. Muottien välivarastoinnissa voi sattua vaaratilanteita. Suurmuottien valaminen niin, että työntekijät seisovat valuastian alla, on vaarallista.

Paikallavaluvälipohjille ominainen riski on raudoituksen päällä kävely, koska kompastumisvaara on suuri. Myös välipohjan muottikaluston nostot ovat vaarallisia. Ontelolaattojen asennusta pidettiin yhtenä vaarallisimmista töistä. Kuormaa purkaessa pitää toimia kuorman päällä ja nosto on vaarallinen saksilla. Ontelokenttäkään ei ole täysin turvallinen ennen saumavalujen tekoa.

Tapaturma- ja läheltä piti -raporteista nähtiin, että haastateltujen mainitsemat nostot ovat merkittävä riski tekniikasta riippumatta. Korkealta putoavat esineet aiheuttavat myös vaaratilanteita tekniikasta riippumatta. Työturvallisuuspäällikön mukaan keskimäärin ontelolaattatyömaat ovat jonkin verran paikallavalutyömaita siistimpiä. Yhden syyn nähtiin olevan kunnollisen siivouksen vaikeus välipohjamuottien tuentakaluston takia. Työturvallisuuspäällikkö nosti esiin myös runkoporukan keskinäisen toiminnan vaikutuksen turvallisuuteen. Jos porukan sisällä on ongelmia, aiheutuu helposti työturvallisuusriskejä. Työturvallisuuspäällikkö ei pitänyt mitään runkoratkaisua selkeästi toista vaarallisempana tai turvallisempana.

5. TAPAUSTUTKIMUS

Tässä luvussa esitellään tapaustutkimuksen tulokset. Kolmen case-kohteen perustiedot ja kustannustietoa on esitelty omissa alaluvuissaan.

Kustannustiedot esitetään suhdelukuina. Muita kohteita verrataan kustannuslajeittain riviltä täyselementtikerrosten toteutuneisiin kustannuksiin, joten täyselementtikerrosten suhdeluku on näissä taulukoissa 1,00. Rakennusten tilavuudet on ilmoitettu todellisina arvoina. Taulukoissa näkyvät yksiköt kertovat missä yksikössä alkuperäinen arvo on.

5.1 Case 1

Ensimmäinen case-kohte on täyselementtirunkoinen. Kohde on valmistunut vuonna 2020 ja siinä on 64 asuntoa 6 kerroksessa. Kohde sijaitsee Lahden seudulla. Kohteen laajuus on 11003 m^3 . Kohteen kustannustiedot on kerätty taulukkoon 13.

Taulukko 13. *Täyselementtikerrosten runko- sekä käyttö- ja yhteiskustannukset.*

	Suhdeluku	Osuus runkokustannuksista (%)
Elementtihankinta	1,00 €	75
Runko- ja asennusurakat	1,00 €	17
Betonointi ja rauditus materiaaleineen	1,00 €	8
Työmaan käyttökustannukset	1,00 €	
Työmaan yhteiskustannukset	1,00 €	
Yhteensä	1,00 €	
Rakennuksen tilavuus	11003 m^3	
Yhteensä per rakennuskuutio	1,00 €/ m^3	

Taulukosta nähdään, että runkokustannuksista 75% muodostuu elementtihankinnasta ja 17% elementtien asennusurakasta. Loput runkokustannukset syntyvät pienten valujen materiaaleista.

5.2 Case 2

Toinen case-kohte on sekarunkoinen ja on toteutettu elementtiseinillä ja paikallavaluvälipohjilla. Kohde on valmistunut vuonna 2020 ja siinä on 24 asuntoa 4 kerroksessa. Kohde sijaitsee Rauman seudulla. Kohteen laajuus on 5858 m^3 . Kohteen kustannustiedot on kerätty taulukkoon 14.

Taulukko 14. *Sekarunkoisen kerrostalon runko- sekä käyttö- ja yhteiskustannukset.*

	Suhdeluku	Osuus runkokustannuksista (%)
Elementtihankinta	0,43 €	61
Runko- ja asennusurakat	0,35 €	11
Betonointi ja raudointus materiaaleineen	1,73 €	28
Työmaan käyttökustannukset	1,10 €	
Työmaan yhteiskustannukset	0,50 €	
Yhteensä	0,56 €	
Rakennuksen tilavuus	5858 m^3	
Yhteensä per rakennuskuutio	1,06 €/m ³	

Taulukosta nähdään, että runkokustannuksista noin 61% tulee elementtihankinnasta, 11% runkourakasta ja 28% paikallavalurakenteiden materiaaleista. Kohteen yhteenlasketut runko- sekä käyttö- ja yhteiskustannukset rakennuskuutiota kohti ovat noin 6% suuremmat kuin täyselementtikohteessa.

5.3 Case 3

Kolmas case-kohte on paikallavalurunkoinen. Paikallavaluna on toteutettu välipohjat sekä suurin osa väliseinistä. Ulkoseinät ovat elementtejä. Kohde on valmistunut vuonna 2019 ja siinä on 24 asuntoa 4 kerroksessa. Kohde sijaitsee Turun seudulla. Kohteen laajuus on 5344 m^3 . Kohteen kustannustiedot on kerätty taulukkoon 15.

Taulukko 15. *Paikallavalurunkoisen kerrostalon runko- sekä käyttö- ja yhteiskustannukset.*

	Suhdeluku	Osuus runkokustannuksista (%)
Elementtihankinta	0,38 €	60
Runko- ja asennusurakat	0,86 €	30
Betonointi ja raudointus materiaaleineen	0,54 €	10
Työmaan käyttökustannukset	1,22 €	
Työmaan yhteiskustannukset	0,53 €	
Yhteensä	0,54 €	
Rakennuksen tilavuus	5344 m^3	
Yhteensä per rakennuskuutio	1,11 €/m ³	

Taulukosta nähdään, että runkokustannuksista noin 60% tulee elementtihankinnasta ja 30% paikallavalurakenteista sekä elementtiasennuksesta. Kohteen yhteenlasketut runko- sekä käyttö- ja yhteiskustannukset rakennuskuutiota kohti ovat noin 11% suuremmat kuin täyselementtikohteessa.

5.4 Yhteenveto

Tässä luvussa vertaillaan kohteita keskenään. Taulukkoon 16 on koostettu kaikkien case-kohteiden kustannustiedot.

Taulukko 16. Case-kohteiden kustannustiedot yhdistettynä.

	Täyselementti	Sekarunko	Paikallavalu	
Elementtihankinta	1,00	0,43	0,38	€
Runko- ja asennusurakat	1,00	0,35	0,86	€
Betonointi ja raudointu materiaaleineen	1,00	1,73	0,54	€
Työmaan käyttökustannukset	1,00	1,10	1,22	€
Työmaan yhteiskustannukset	1,00	0,50	0,53	€
Yhteensä	1,00	0,56	0,54	€
Rakennuksen tilavuus	11003	5858	5344	rm ³
Yhteensä per rakennuskuutio	1,00	1,06	1,11	€/rm ³

Taulukon perusteella täyselementtirunko on kustannuksiltaan halvin, sekarunko hieman kalliimpi ja paikallavalurunko kallein. Sekarunko on noin 6% ja paikallavalurunko noin 11% täyselementtirunkoa kalliimpi.

Täyselementtikohteessa noin 75% runkokustannuksista tulee elementtihankinnasta. Elementtihankinnan osuus runkokustannuksista on sekarungolla ja paikallavalurungolla täyselementtirunkoa huomattavasti pienempi, mutta keskenään osuudet ovat käytännössä yhtä suuret, 61% ja 60%. Koska elementtien suhteellinen osuus on käytännössä yhtä suuri, runkoratkaisu ei selitä seka- ja paikallavalurunkoisten kohteiden hintaeroa suoraan.

Paikallavalukohteen ja sekarunkoisen kohteen välillä on merkittävä ero, kun verrataan betonointia ja raudointu materiaaleineen. Ero selittyy osittain sillä, että tällaisista kustannuksista suurin osa on paikallavalukohteessa sisällytetty runko- ja asennusurakoihin.

Työmaan käyttökustannusten euromäärät ovat melko lähellä toisiaan kaikissa case-kohteissa. Täyselementtikohde on kuitenkin noin 88% ja 106% isompi kuin muut kohteet. Käyttökustannuksia syntyy merkittävästi esimerkiksi työmaarakennusten käytöstä, nosturin vuokrasta sekä työmaalla käytetystä energiasta.

Työmaan yhteiskustannuksissa erot ovat suurempia. Euroissa mitattuna sekarunkoisen kohteen yhteiskustannukset ovat noin 50% ja paikallavalurunkoisen noin 46% täyselementtirunkoa pienemmät. Merkittäviä yhteiskustannuksia ovat muun muassa työnjohdon palkkakustannukset, siivous ja raivaus sekä talvilisätyöt.

Taulukossa 17 on esitetty samat kustannukset niin, että ne on jaettu runkokustannuksiin sekä käyttö- ja yhteiskustannuksiin. Taulukko havainnollistaa hyvin eri runkotekniikoiden kustannusedut.

Taulukko 17. *Case-kohteiden kustannustiedot jaettuna isompiin kokonaisuuksiin.*

	Täyselementti	Sekarunko	Paikallavalu	
Runkokustannukset	1	0,99	0,98	€/rm ³
Käyttö- ja yhteiskustannukset	1	1,24	1,48	€/rm ³
Yhteensä	1	1,06	1,11	€/rm ³

Taulukosta nähdään, että täyselementtitekniikalla toteutetun kohteen runkokustannukset rakennuskuutiota kohti ovat kaikkein suurimmat. Sekarungon runkokustannukset ovat kuitenkin vain 1% ja paikallavalurungon 2% pienemmät. Käyttö- ja yhteiskustannusten erot ovat huomattavasti merkittävämmät. Täyselementtirunkoisen kohteen käyttö- ja yhteiskustannukset ovat selvästi pienimmät. Sekarunkoisen kohteen kustannukset ovat 24% ja paikallavalurunkoisen kohteen 48% suuremmat.

Taulukossa 18 on esitetty käyttö- ja yhteiskustannusten erilliset osuudet esitetyistä rungon kokonaiskustannuksista. Näissä erot olivat runkokustannuksia merkittävämmät.

Taulukko 18. *Käyttö- ja yhteiskustannusten osuus rungon kokonaiskustannuksista*

	Osuus rungon kokonaiskustannuksista (%)		
	Täyselementti	Sekarunko	Paikallavalu
Käyttökustannukset	7,4	14,4	16,6
Yhteiskustannukset	19,4	17,1	19,0

Taulukosta nähdään, että käyttökustannukset ovat selvästi halvemmat täyselementtirunkoisessa kohteessa, mutta yhteiskustannusten osuus rungon kokonaiskustannuksista on lähes sama tekniikasta riippumatta. Yhteiskustannukset muodostavat kaikilla tekniikoilla hieman alle 20% rungon kokonaiskustannuksista. Käyttökustannusten osuus sen sijaan on seka- ja paikallavalurungolla noin kaksinkertainen täyselementtitekniikkaan verrattuna.

6. TUTKIMUSTULOSTEN POHDINTA

6.1 Syitä nykytilanteelle

Yhtenä työn tavoitteena oli selvittää syitä kohdeyrityksen alueyhtiöiden nykyään käyttämille runkorakennustavoille. Vastauksia tähän selvitettiin lähinnä haastatteluiden avulla. Käytössä olevasta tekniikasta riippumatta oma tekniikka koettiin parhaaksi. Useimmissa kaupungeissa kohdeyrityksen käytössä oleva rakennustapa on ollut yleinen jo pitkään sekä kohdeyrityksessä että muissa yrityksissä. Tämän ansiosta rakentaminen on hiottu tehokkaaksi. Etelä-Suomessa, jossa käytetään täyselementtitekniikkaa, on hyvin vähän paikallavaluosaamista. Paikallavalurakentamista suosivilla alueilla osaaminen on monipuolisempaa, mutta täyselementtirakentaminen vaatisi harjoittelua.

Runkoratkaisun valinta vaikuttaa runkorakentamisen lisäksi talotekniikan asentamiseen. Kaikilla alueilla käytetään ainakin yksittäisissä kohteissa ulkopuolista urakoitsijaa rungon rakentamisessa. Joillain alueilla ulkopuolista runkourakoitsijaa käytetään pääsääntöisesti. Talotekniikan asentaa aina ulkopuolinen urakoitsija. Molempien osalta on tärkeää löytää urakoitsijat, jotka hallitsevat käytettävän runkotekniikan. Alueella vähemmän käytetyn tekniikan hallitsevia urakoitsijoita on vähemmän tarjolla.

Käytössä olevaa tekniikkaa pidetään kaikilla alueilla kokonaiskustannuksiltaan edullisimpana. Paikallavalurakentamista pidetään suorilta runkokustannuksiltaan edullisempänä vaihtoehtona. Täyselementtirakentamisen osalta ajatellaan, että nopeamman rakentamisen tuomat säästöt hankkeen käyttö- ja yhteiskustannuksista tekevät elementtirakentamisesta halvemmän vaihtoehdon.

6.2 Tapojen vertailua

Kirjallisuuden perusteella paikallavalurakentamisen tärkeimmät edut ovat talotekniikan helpompi integrointi, paremmat ääneneristysominaisuudet sekä mahdollisuus toteuttaa yksilöllisempiä arkkitehtonisia ratkaisuja. Kohdeyrityksen laskelmien mukaan se on myös elementtirakentamista halvempaa rungon materiaali- ja työkustannuksiltaan. Paikallavalutekniikkaa käytettäessä talvi aiheuttaa enemmän häiriöitä, joiden huomioimiseksi tarvitaan monenlaisia toimenpiteitä. Rungon kuivuminen kestää elementtejä kauemmin, joten kuivumista on usein tehostettava jollain keinolla. Turvallisuuden osalta on huomioitava muun muassa nostot, työnaikainen tuenta, tuulen vaikutus sekä muottien purkaminen oikein ja oikeaan aikaan.

Haastatellut, jotka suosivat paikallavalurakentamista olivat samoilla linjoilla teorian kanssa. Hyödyistä mainittiin talotekniikan integrointi, ääneneristysominaisuudet sekä alhaisemmat kustannukset. Turvallisuusriskeistä esiin tulivat useimmin nostot. Myös tuulen vaikutus, muottien varastointi sekä valutilanteen turvallisuusriskit mainittiin.

Kirjallisuuden perusteella elementtitekniikan suurin hyöty on rungon nopea pystytysnopeus. Nopeamman pystytysnopeuden ansiosta työmaan käyttö- ja yhteiskustannuksista saadaan säästöjä paikallavalurakentamiseen verrattuna. Ontelolaattojen ansiosta elementtirakentamisella voidaan toteuttaa pidempiä jännevälejä. Talvi aiheuttaa elementtirakentamiselle vähemmän häiriöitä ja kuivuminen on paikallavalurakenteita nopeampaa. Turvallisuuden osalta on huomioitava muun muassa nostot, elementtien varastointi, työnaikainen tuenta, tuulen vaikutus sekä puristumisvaara.

Elementtitekniikan eduista haastatteluissa mainittiin nopeampi pystytys sekä sään pienemmät häiritsevät vaikutukset. Myös nopeammasta kuivumisesta koettiin olevan selvää hyötyä. Pidemmän jännevälin hyödyntämistä ei mainittu. Talven vaikutuksista ei saatu kunnollista käsitystä, mutta elementtirakentamista suosivassa Etelä-Suomessa vesi ja tuuli aiheuttavat lunta enemmän häiriöitä. Turvallisuusriskeistä nostot tulivat useimmin esiin. Ontelolaattojen asennuksen riskeistä mainittiin lisäksi kuorman purku, nostoon käytettävät saksit sekä ontelolaattakentän epävakaus ennen saumavaluja.

Tapaustutkimuksessa tutkittujen case-kohteiden perusteella täyselementtirakentaminen on edullisinta ja paikallavalurakentaminen kalleinta. Case-kohteiden vertailussa huomioitiin rungon materiaali- ja työkustannukset sekä hankkeen käyttö- ja yhteiskustannukset. Paikallavalukohteen runkokustannukset olivat odotusten mukaisesti halvimmat, kun taas käyttö- ja yhteiskustannukset olivat pienimmät täyselementtikohteessa. Tapaustutkimuksen tulokset on koottu taulukoihin 19 ja 20. Taulukoissa luvut esitetään suhdelukuina, joita on verrattu täyselementtikohteen vastaaviin lukuihin. Vertailtavan luvun yksikkö on taulukon viimeisessä sarakkeessa.

Taulukko 19. *Tapaustutkimuksen tulokset koottuna.*

	Täyselementti	Sekarunko	Paikallavalu	
Elementtihankinta	0,55	0,24	0,21	€
Runko- ja asennusurakat	0,12	0,04	0,11	€
Betonointi ja raudoitus materiaaleineen	0,06	0,11	0,03	€
Työmaan käyttökustannukset	0,07	0,08	0,09	€
Työmaan yhteiskustannukset	0,20	0,09	0,10	€
Yhteensä	1,00	0,56	0,54	€
Rakennuksen tilavuus	11003	5858	5344	rm ³
Yhteensä per rakennuskuutio	1,00	1,06	1,11	€/rm ³

Taulukon mukaan kokonaiskustannuksiltaan paikallavalurakentaminen on noin 11% täyselementtirakentamista kalliimpaa. Sekarunkorakentaminen on noin 6% kalliimpaa kuin täyselementtirakentaminen.

Taulukko 20. *Tapaustutkimuksen kustannustiedot jaettuna isompiin kokonaisuuksiin.*

	Täyselementti	Sekarunko	Paikallavalu	
Runkokustannukset	1	0,99	0,98	€/rm ³
Käyttö- ja yhteiskustannukset	1	1,24	1,48	€/rm ³
Yhteensä	1	1,06	1,11	€/rm ³

Täyselementtikohteen runkokustannukset ovat kaikkein kalleimmat, mutta hyvin pienellä erolla. Sekarungon runkokustannukset ovat 1% ja paikallavalurungon 2% pienemmät. Käyttö- ja yhteiskustannuksiltaan täyselementtirunko on puolestaan selvästi halvin. Sekarunkoisen kohteen käyttö- yhteiskustannukset ovat 24% ja paikallavalurungon 48% suuremmat kuin täyselementtikohteen.

Huomattavasti halvemmat käyttö- ja yhteiskustannukset tekevät täyselementtirakentamisesta selvästi edullisimman vaihtoehdon. Sekarunko on molemmilla mittareilla keskihintainen vaihtoehto. Tulos on odotettu sillä tekniikka yhdistää halvempia paikallavaluosia nopeasti asennettaviin elementteihin.

6.3 Suosituksia kohdeyritykselle

Työn tavoitteena oli saada alueiden organisaatiot pohtimaan vaihtoehtoisia tuotantotapoja. Yhden diplomityön perusteella ei voida vielä tehdä selkeitä päätöksiä minkään tekniikan selkeästä paremmuudesta, mutta pohditaan mahdollisuuksia. Teoreettisen taustan perusteella paikallavalutekniikan etuja ovat muun muassa talotekniikan helpompi integrointi erityisesti välipohjarakenteeseen. Paremmat ääneneristysominaisuudet sekä mahdollisuus toteuttaa yksilöllisempää arkkitehtuuria. Täyselementtirunkoisia kohteita kuitenkin rakennetaan jatkuvasti myös kohdeyrityksessä, joten ratkaisuja talotekniikan sijoittamiseen ja ääneneristykseen on olemassa. Arkkitehtuuria ei voida toteuttaa yhtä vapaasti elementtirungolla, mutta jos keskitytään tavalliseen yksinkertaiseen kerrostalorakentamiseen, yksilöllisemmän arkkitehtuurin mahdollisuuksia ei todennäköisesti hyödynnetä muutenkaan.

Täyselementtitekniikkaan siirtyminen on haastatteluiden perusteella mahdollista osaamisen puolesta, koska paikallavalurakentamiseenkin kuuluu elementtiasennusta. Luvussa 5 tutkittujen case-kohteiden perusteella täyselementtitekniikka on lisäksi

selvästi edullisin vaihtoehto. Tämän tuloksen perusteella täyselementtitekniikkaan siirtyminen vaikuttaisi järkevältä myös paikallavalutekniikkaa suosivilla alueilla.

Elementtiseiniä ja paikallavaluvälipohjaa hyödyntävällä sekarunkorakenteella mahdollistettaisiin talotekniikan integrointi, parempi ääneneristys sekä yksilöllisempi arkkitehtuuri. Elementtiseiniä ansiosta rakentamisaikaa saataisiin myös lyhennettyä, mikä voisi alentaa käyttö- ja yhteiskustannuksia. Case-kohteiden perusteella sekarunko on paikallavalurunkoa edullisempi. Lisäksi paikallavalutekniikasta on osaamisen puolesta mahdollista siirtyä melko pienellä vaivalla elementtiseiniä käyttöön. Paikallavaluvälipohjan käytöstä on vaikeampi siirtyä ontelolaattavälipohjien käyttöön.

6.4 Tutkimuksen kritiikki

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, onko jokin runkoratkaisu selkeästi muita parempi tyypilliseen asuinkerrostalorakentamiseen kohdeyrityksen kontekstissa. Optimaalista ratkaisua etsittäessä selvitettiin myös, mistä alueelliset erot yrityksen sisällä johtuvat ja ovatko syyt sellaisia, joihin voidaan vaikuttaa. Teoriaosa antaa katsauksen paikallavalurungon ja täyselementtirungon hyvistä ja huonoista puolista. Haastatteluiden avulla selvitettiin nykytilannetta ja käsityksiä eri runkoratkaisuiden hyödyistä ja haitoista. Tapaustutkimuksen avulla tutkittiin eri vaihtoehtojen kokonaiskustannuksia. Tutkimuksessa pohdittiin vaihtoehtoja eri alueiden työtapojen muuttamisesta.

Tämän tutkimuksen strategia yhdistelee vertailevaa tutkimusta ja tapaustutkimusta. Tapaustutkimuksessa hankitaan yksityiskohtaista tietoa pienestä joukosta toisiinsa suhteessa olevia tapauksia esimerkiksi haastatteluilla ja dokumentteja tutkimalla (Hirsjärvi 2009, s. 134-135). Tutkimusstrategia valittiin, koska aiheesta haluttiin saada laadullisia näkemyksiä alueellisesti sekä konkreettisia lukuja. Tutkimuksessa käytettiin kirjallisuustutkimusta, haastatteluja sekä kohdeyrityksen dokumentoitua laskentatietoa. Eri menetelmien käyttö mahdollisti aiheen tutkimisen eri näkökulmista, mikä parantaa tutkimuksen kattavuutta. Kokonaisuutena diplomityö ei kuitenkaan ole riittävän laaja tämän monisyisen aiheen täsmälliseen tarkasteluun.

Kirjallisuustutkimuksessa perehdyttiin paikallavalu- ja täyselementtitekniikan eroihin ja tunnistettiin molempien hyviä ja huonoja puolia. Kirjallisuudesta pyrittiin löytämään tämän tutkimuksen kannalta olennainen aiempi teoreettinen tieto. Lähdeaineisto koostuu suomalaisesta alan ammattikirjallisuudesta, opinnäytetöistä sekä Ratu-kortistosta. Kirjallisuustutkimuksen luotettavuutta heikentää lähdeaineiston suppeus. Lähteitä on määrällisesti melko vähän. Monet lähteistä eivät ole aivan uusia, joten on mahdollisuus,

että joku lähteistä löytynyt tieto ei enää pidä paikkaansa. Lähteiden joukossa ei myöskään ole juurikaan tieteellisiä julkaisuja.

Haastattelututkimus valittiin koska aihetta haluttiin tarkastella monista näkökulmista ja näkemyksiä haluttiin kaikilta 6 alueelta, joilla kohdeyritys toimii. Haastattelut toteutettiin teemahaastatteluina. Haastattelukysymykset lähetettiin ennakkoon haastateltaville, mutta ennalta määritettyjen kysymysten lisäksi haastattelutilanteessa esitettiin paljon tarkentavia kysymyksiä. Teemoiksi valittiin järjestyksessä runkoratkaisun valinta, aikataulutekijät, osaaminen, talvirakentaminen ja turvallisuus. Haastatteluissa kysyttiin myös kysymyksiä, jotka eivät liittyneet työn aihepiiriin vaan yrityksen toimintatapojen kehittämiseen laajemmin. Ensimmäisen teeman tarkoitus oli selvittää nykytilannetta ja myöhemmissä teemoissa tuli esiin perusteluja nykytilanteelle sekä näkemyksiä vaihtoehtoisista runkorakennustavoista.

Haastateltavia oli yhteensä 16. Kohdeyrityksen valitsemat haastateltavat edustivat eri tehtäviä laajasti. Haastateltavat olivat runkotyönjohtaja, vastaavia työnjohtajia, työpäälliköitä, hankekehityksestä vastaavia henkilöitä ja laskennasta vastaavia henkilöitä. Lisäksi turvallisuusosiossa haastateltiin kohdeyrityksen työturvallisuuspäällikköä.

Haastattelututkimus oli onnistunut valinta aiheen tutkimiseen. Kaivattuja näkökulmia saatiin paljon. Näin laajan tietomäärän kerääminen yrityksen sisältä onnistui haastattelujen avulla luontevasti. Vastaukset sekä vahvistivat, että laajensivat yrityksen mielikuvaa tilanteesta.

Koska haastateltavia oli 6 alueelta, yhden alueen edustaminen jäi 2-3 henkilön harteille. Yrityksen sisällä on käytössä 4 eri tapaa runkorakentamiseen, joten yksittäisen tavan edustajia on pieni määrä. Näistä syistä yksittäiset asiat toistuivat haastatteluissa melko vähän. Keskustelut ohjautuivat hieman eri suuntiin haastattelutilanteissa. Haastateltavilla oli enemmän sanottavaa tietyistä aiheista ja vähemmän jostain toisesta. Tämäkin osaltaan vähentää asioiden toistuvuutta. Kun toistoa on vähän, ei väitteille saada niin vahvaa tukea kuin asian toistuessa haastattelusta toiseen. Haastattelumateriaalista karsittiin jonkin verran tällaisia yksittäisiä mainintoja. Toinen epävarmuustekijä tulee haastatteluiden luonteesta tutkimusmenetelmänä. Haastateltavien vastaukset perustuvat vahvasti kokemukseräiseen tietoon ja muistiin. Vastaukset eivät välttämättä perustu esimerkiksi tarkistettuihin lukuihin tai tehtyihin vertailuihin. Haastattelujen teemojen ollessa näin suurpiirteisiä, vastaukset antavat kuitenkin hyvän kuvan alueellisesta tilanteesta ja käsityksistä.

Kolmantena tutkimusmenetelmänä käytettiin yrityksen kustannustietojen analysointia. Analysoitavaksi valittiin kolme case-kohdetta, joista yksi on täyselementtirunkoinen, yksi on paikallavalurunkoinen ja yhdessä on elementtiseinät sekä paikallavaluvälipohjat. Kohteet ovat sellaisia, joiden runkovaiheet onnistuivat haastatteluiden perusteella ilman suurempia haasteita. Kohteista verrattiin toteutuneita kustannustietoja rungon materiaali- ja työkustannusten sekä työmaan käyttö- ja yhteiskustannusten osalta. Runkokustannuksista huomioitiin elementtihankinnat, muotit, rauditus, betonointi sekä näihin liittyvät työt ja urakat. Käyttö- ja yhteiskustannuksista valittiin luvussa 2.1.6 mainitut aikasidonnaiset nimikkeet. Kohteet ovat valmistuneet lähiaikoina, joten yleisen kustannustason suhteen ne ovat vertailukelpoisia.

Tutkittavat case-kohteet eivät ole samankokoisia, mikä saattaa hieman vääristää lukuja, vaikka kustannukset onkin ilmoitettu myös kokoon suhteutettuna. Useamman kerroksen rakentamisesta saadaan yleensä säästöjä. Nopeamman aikataulun hyödyt myös korostuvat, kun kerroksia on enemmän, koska tällöin säästetty kokonaisaika on suurempi. Vertailu ei myöskään ota ollenkaan huomioon yleistä alueellista hintatasoa eikä palkkaeroja. Vertailu ei myöskään huomioi alueellisia eroja elementtien hinnoissa, vaikka elementit muodostavat suuren osan kustannuksista. Elementtien hintataso riippuu aina muiden tekijöiden lisäksi myös tarjoavista tehtaista, jotka vaihtelevat alueellisesti. Epävarmuutta vertailuun aiheuttaa myös se, että kohteet ovat yksittäisiä. Kohteiden kustannuksia pitäisi tutkia huomattavasti enemmän, jotta voitaisiin edes kohdeyrityksen sisällä sanoa, mikä tekniikka on edullisin.

Tämä tutkimus tehtiin vahvasti kohdeyrityksen näkökulmasta, mutta on osittain varmasti yleistettävissä. Luvun 2 teoreettinen tieto on hyvin yleistä ja sellaisenaan yleistettävissä. Luvussa 4 esitetyt haastattelujen tulokset pätevät sellaisenaan vain kohdeyrityksen osalta, ja ovat siksi huonosti yleistettävissä. On tietenkin mahdollista, että muissa yrityksissä on vastaava tilanne ja osa tuloksista soveltuu yleisemminkin käytettäväksi. Luvun 5 case-kohteista saadut tulokset eivät ole yleistettävissä suoraan ollenkaan, mutta niidenkin osalta on mahdollista, että muissa yrityksissä tulokset ovat vastaavia. Kokonaisuudessaan tutkimus on siis heikosti yleistettävissä, mutta sisältää varmasti käyttökelpoisia osia muillekin kuin kohdeyritykselle.

Tutkimusta tehdessä tutkijalle on tullut selväksi, että etsittäessä parasta ratkaisua runkorakentamiseen, ei voida esittää päteviä yleistyksiä, jotka kattaisivat kaikki tilanteet. Tässä työssä on tutkittu osaa asiaan vaikuttavista tekijöistä. Niidenkin vaikutukset ovat erilaisia rakennettavasta kohteesta, sitä rakentavasta organisaatiosta ja henkilöistä riippuen. Haastatteluja tehdessä ilmeni, että selvityksiä yksittäiselle kohteelle edullisimmasta rakennustavasta tehdään hyvin vähän ja luotto totuttuun tapaan on

vahva. Kattavampien ratkaisujen löytämiseksi on tehtävä huomattavan paljon lisää tutkimuksia ja laskelmia.

7. JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Suosituksia runkorakentamiseen

Työn tavoitteena oli selvittää, onko runkoratkaisuja, jotka soveltuvat asuinkerrostalorakentamiseen selkeästi paremmin kuin joku toinen. Ratkaisua etsittäessä selvitettiin myös mistä alueelliset erot kohdeyrityksen sisällä johtuvat ja millaisia muutoksia alueiden runkorakentamiskäytäntöihin kannattaisi tehdä. Tavoitteena oli myös selvittää vaihtoehtoisten runkoratkaisuiden kokonaiskustannuksia ja kerrannaisvaikutuksia.

Riippumatta alueella käytössä olevasta tekniikasta tietyt nykytilannetta selittävät syyt toistuivat. Käytetyllä tekniikalla on pitkät perinteet alueella, minkä ansiosta tapa hallitaan hyvin. Kohdeyrityksen lisäksi myös alueen runko- ja talotekniikkaurakoitsijat ovat tottuneet tiettyyn runkoratkaisuun, joten eri tekniikan hallitsevia urakoitsijoita, työntekijöitä ja työnjohtajia on vaikeampi löytää. Sekä paikallavalu- että täyselementtitekniikoita pidettiin kokonaiskustannuksiltaan edullisempina haastatteluiden perusteella.

Paikallavalurakentamisen etuja ovat talotekniikan helpompi integrointi rakenteisiin, paremmat ääneneristysominaisuudet sekä mahdollisuus toteuttaa arkkitehtonisesti yksilöllisempiä ratkaisuja. Paikallavalurakentamisen materiaali- ja työkustannukset ovat kohdeyrityksen laskelmien ja tapaustutkimuksen mukaan edullisemmat kuin täyselementtiratkaisun. Täyselementtirakentamisen etuja ovat rungon nopea pystytys, parempi sietokyky talven aiheuttamille häiriöille sekä rakenteiden nopeampi kuivuminen. Täyselementtitekniikalla päästään nopeamman aikataulun takia edullisempiin käyttö- ja yhteiskustannuksiin.

Tapaustutkimuksessa tutkittiin kolmea case-kohdetta, joiden runkoratkaisut olivat täyselementti, sekarunko elementtiseinillä sekä paikallavalurunko. Tapaustutkimuksen tulokset on koottu taulukkoon 21.

Taulukko 21. *Tapaustutkimuksen tulokset koottuna.*

	Täyselementti	Sekarunko	Paikallavalu	
Runkokustannukset	1	0,99	0,98	€/rm ³
Käyttö- ja yhteiskustannukset	1	1,24	1,48	€/rm ³
Yhteensä	1	1,06	1,11	€/rm ³

Taulukosta nähdään, että paikallavalurungon runkokustannukset ovat noin 2% pienemmät kuin täyselementtirungon. Runkokustannuksiltaan paikallavalu on siis niukasti edullisinta. Täyselementtitekniikan käyttö- ja yhteiskustannukset ovat kuitenkin hyvin selvästi pienimmät, minkä ansiosta täyselementtirunko on kokonaiskustannuksiltaan edullisin. Paikallavalurungon käyttö- ja yhteiskustannukset ovat 48% ja kokonaiskustannukset 11% täyselementtirunkoa suuremmat.

Paikallavalurungon edut ovat teknisiä ja täyselementtirungon edut liittyvät enemmän rakentamiseen prosessina. Täyselementtirunkoisia asuinkerrostaloja rakennetaan jatkuvasti, joten tekniset haasteet on jo jollain tavalla ratkaistu. Paikallavalurakentamisessa puolestaan osataan huomioida talven sekä kuivumisen vaatimat toimenpiteet. Täyselementtirungon pystytysnopeuteen ei päästä paikallavalurakentamisessa. Sekarungolla, jossa käytetään elementtiseiniä ja paikallavaluvälipohjaa, voitaisiin hyödyntää paikallavaluvälipohjan tuomat tekniset edut ja elementtiseinien parempi pystytysnopeus. Tapaustutkimuksen perusteella sekarungon kokonaiskustannukset ovat noin 6% suuremmat kuin täyselementtirungon.

Kustannusten perusteella siirtyminen täyselementtitekniikkaan on järkevää. Paikallavalua suosivissa kaupungeissa sopiva väliaskel voisi olla siirtyminen sekarunkoon, jossa käytetään elementtiseiniä ja paikallavaluvälipohjaa. Sekarunkoa suosivien kaupunkien kannattaisi harkita siirtymistä täyselementtirungon käyttöön. Siirtymisen voisi aloittaa tekemällä tulevista kohteista vertailulaskelmia sekä kokeilemalla uutta tekniikkaa aluksi yhdessä kohteessa.

7.2 Tutkimuskysymyksiin vastaaminen

Tutkimuksen päätavoitteina oli perehtyä kohdeyrityksen nykytilanteeseen ja selvittää mitkä muutokset yrityksen työtavoissa olisivat suositeltavia. Tavoitteiden saavuttamiseksi asetettiin seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Onko runkoratkaisuja, jotka soveltuvat tyyppilliseen asuinkerrostalorakentamiseen selvästi paremmin kuin joku toinen?
2. Ovatko syyt kohdeyrityksen nykytilanteeseen sellaisia, joihin voidaan vaikuttaa?
3. Millaiset ovat eri runkoratkaisujen kokonaiskustannukset?
4. Millaisia ovat eri runkoratkaisujen kerrannaisvaikutukset?

Runkoratkaisuille on erilaisia vahvuuksia ja heikkouksia. Tämän tutkimuksen perusteella ei voida osoittaa, että joku runkoratkaisu olisi selvästi toista parempi. Eri runkoratkaisuja

on hyvä olla käytössä, koska erilaisissa kohteissa optimaalinen tulos voidaan saavuttaa eri rakennustavoilla.

Teknisten vahvuuksien lisäksi alueilla korostuivat seuraavat syyt tietyn runkorakenteen käyttämiseen: tekniikkaa on käytetty alueella pitkään ja alueelta on vaikeampi löytää eri tekniikan hallitsevia henkilöitä sekä urakoitsijoita. Lisäksi käytössä olevan tekniikan uskotaan olevan kokonaiskustannuksiltaan edullisin. Pitkät perinteet luultavasti hankaloittavat työtapojen muutosta, mutta jos tarvetta muutokseen todella on ja tarve sekä hyödyt ovat perusteltavissa, eivät perinteet estä tekemästä oikeita ratkaisuja. Alueellista osaamista on vaikea muuttaa sormia napsauttamalla, mutta tietoa ja kokemusta on kuitenkin olemassa, joten harjoittelun ja koulutuksen avulla mikä tahansa tekniikka on varmasti mahdollista omaksua. Tällaisesta harjoittelusta ja koulutuksesta tulevia kustannuksia on syytä pohtia etukäteen tarkasti. Käytössä olevat runkorakennustekniikat voivat jokaisella alueella olla kokonaiskustannuksiltaan edullisimmat, mutta varmaa tietoa siitä ei ole. Vertailevia laskelmia on syytä tehdä enemmän, jotta asiasta saadaan oikeaa tietoa. Lyhyesti sanottuna kohdeyrityksen nykytilanteeseen vaikuttavat syyt ovat sellaisia, joihin voidaan vaikuttaa.

Tämän tutkimuksen perusteella täyselementtirungon kokonaiskustannukset ovat edullisimmat. Käyttö- ja yhteiskustannukset ovat niin paljon seka- ja paikallavalurunkoa edullisemmat, että hieman korkeammat runkokustannukset eivät nosta kokonaiskustannuksia kalliimmaksi. Paikallavalurunko on kustannuksiltaan kallein ja sekarunko osuu näiden kahden vaihtoehdon väliin.

Tutkimuksessa selvitettiin myös runkoratkaisujen erilaisia kerrannaisvaikutuksia. Runkoratkaisun muuttaminen pakottaa huomioimaan eri asioita ja tekemään asioita eri tavalla. Tutkimusta tehdessä tuli esiin monia kerrannaisvaikutuksia, mutta useimmista on hyvin vaikea sanoa, millä runkotekniikalla saavutetaan edullisemmat kerrannaisvaikutukset. Esimerkiksi jälkitöiden ja turvallisuuden kohdalla pitää keskittyä eri asioihin, mutta ei voitu osoittaa, että joku tapa olisi ollut selvästi parempi kuin toinen. Sen sijaan nopeampi runkoaikataulu on selvä seuraus elementtitekniikasta. Nopeampi pystytys yhdistettynä nopeampaan kuivumiseen tarkoittaa, että sisävaihe päästään aloittamaan aiemmin ja kuivatukseen täytyy panostaa vähemmän. Elementtitekniikasta on hyötyä myös talvella, kun tarvittavia toimenpiteitä on vähemmän.

7.2 Jatkotutkimuskohteet

Pelkästään tämän tutkimuksen pohjalta ei voida tehdä radikaaleja muutoksia. Jatkotutkimusten tekeminen on hyvin suositeltavaa, jotta esitetyille tuloksille ja väitteille löydetään vahvistusta.

Tarvittavien lisätutkimusten keskiössä ovat laajemmat laskelmat sekä toteutuneiden kustannustietojen tarkastelu. Tarkastelemalla huomattavasti isompaa määrää toteutuneita kohteita, voidaan laskea pätevämpiä keskiarvoja. Isommalla otannalla voidaan tehdä vertailuja paremmin myös alueittain, jolloin erot ja vaikuttavat tekijät näkyvät paremmin. Alueellisia eroja on varmasti esimerkiksi elementtien hinnoissa ja hintatasossa muutenkin.

Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon alueiden välisiä palkkaeroja. Työnjohdon kustannukset ovat merkittävä osuus työmaan yhteiskustannuksista, ja työntekijöiden palkkataso vaikuttaa oleellisesti urakkahintoihin. Palkkakustannusten huomioinnilla on varmasti vaikutusta eri rakenteiden vertailuun.

Jatkotutkimuksissa voitaisiin huomioida paremmin myös kerrosmäärän vaikutus optimaaliseen runkoratkaisuun. Kerrostalorakentamisessa saavutetaan tiettyjä etuja kerrosmäärän kasvaessa. Suunnitteluvaiheeseen ja työmaan perustamiseen sekä viimeistelyyn liittyy paljon kustannuksia, jotka toteutuvat kerrosmäärästä riippumatta. Useamman kerroksen rakentaminen tuo toistoa kaikkiin rakentamisen vaiheisiin, jolloin rakentaminen tehostuu. Kun rakennetaan useampia kerroksia, myös elementtirungon nopeammasta pystytyksestä on enemmän hyötyä, kun kerroskohtainen aikataulusäästö kertautuu.

Toistaiseksi kohdeyrityksessä tehdään hyvin vähän vertailevia laskelmia etukäteen. Näiden tekeminen muutamista tulevista kohteista voisi olla järkevää, jotta ei tarvitse luottaa vain nykyiseen käsitykseen. Etukäteisvertailuiden lisäksi yrityksessä tehdyistä kokeiluista kuten BAMTEC-mattoraudoitteesta ja Luja-Superlaatasta saadut tulokset on syytä käydä huolellisesti läpi ja huomioida tulevissa kohteissa.

LÄHTEET

- Betoniteollisuus ry (2010) Runkorakenteet, verkkosivu. Helsinki: Betoniteollisuus ry, s.89. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/fi/runkorakenteet>
- Haara, T. (2018) Betonitekniikan oppikirja 2018. Kuudes päivitetty painos. Helsinki: BY-Koulutus Oy, s.568.
- Hartela (2020) Hartelan laskentatietoa väliseinien rakennuskustannuksista eri alueilla. Ei saatavilla julkisesti.
- Helenius T. (2008) Työmaan käyttö- ja yhteiskustannukset asuntorakentamisessa. Insinööriyö, Helsingin ammattikorkeakoulu, s.49.
- Hirsjärvi, S. et al. (2009) Tutki ja kirjoita. 15. uud. p. Helsinki: Tammi, s.464.
- Hytönen, Y. & Seppänen, M. (2009) Tehdään elementeistä: suomalaisen betonielementtirakentamisen historia. Helsinki: SBK-säätiö, s.332.
- Jyväskylän yliopisto (2014) Tutkimusstrategiat. Verkkosivu. Jyväskylän yliopisto. Saatavissa: <https://koppa.jyu.fi/avoimet/hum/menetelmapolkuja/menetelmapolku/tutkimusstrategiat>
- Kiviniemi M. (1996) Talonrakentamisen tuotteiden ja toimintatapojen vertailu. Espoo: VTT, Tiedotteita 1795, s.57.
- Korkala T. (2018) Lämpö- ja kosteusolosuhteiden vaikutus betonin kuivumiseen. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, s.130.
- Koski H. (2010) Rakentamisen tuotantotekniikka. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, s.274.
- Laitinen, E. (1996) Teollinen betonirakentaminen. Helsinki: Rakennustieto, s.186.
- Lujabetoni (2021) Superlaatan esittelysivu. Viitattu 10.3.2021, saatavissa: <https://www.lujabetoni.fi/luja-superlaatta/>
- Mannonen, P. & Petrow, S. (2006) Kestävä kivitalo. Helsinki: Suomen betonitieto, s.182.
- Merikallio, T. (2002) Betonirakenteiden kosteusmittaus ja kuivumisen arviointi. Helsinki: Suomen betonitieto, s.62.
- PERI (2018) Multiflex, Monikäyttöinen holvimuottijärjestelmä – jopa 1,00 m paksuille laatoille. Tuote-esite. Weissenhorn, Saksa: PERI GmbH, s.35. Saatavissa: <https://www.peri.fi/tuotteet/muotit/holvimuotit/multiflex-girder-slab-formwork.html>
- Piiparinen R. (1989) Työmaan käyttö- ja yhteiskustannusten määrittäminen ja tarkistusmenetelmän kehittäminen. Diplomityö, Otaniemi: Teknillinen korkeakoulu.
- Rakennustieto (1991) Kone-Ratu 06-3020: Seinämuotit. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS, s.5.
- Rakennustieto (2004a) RT 82-10814: Paikallavaletut betonirunkorakenteet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS.
- Rakennustieto (2004b) RT 82-10821: Betonielementtirunkorakenteet. Helsinki: Rakennustietosäätiö RTS, s.20.

- Rakennustieto (2010) Ratu C8-0377: Talvityöt ja -kustannukset. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, s.14.
- Rakennustieto (2012a) Ratu 0389: Ontelo- ja TT-laattaelementtityö. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, s.18.
- Rakennustieto (2012b) Ratu 0392: Väli- ja ulkoseinäelementtityö. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, s.19.
- Rakennustieto (2012c) Ratu 0401: Suur- ja erikoismuottityö. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, s.15.
- Rakennustieto (2012d) Ratu 0402: Raudoitus. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, s.20.
- Rakennustieto (2012e) Ratu 0403: Betonointi. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS, s.18.
- Ramirent (2015) RAMI 20 holvimuottijärjestelmä. Tuote-esite. Helsinki: Ramirent Oyj, s.12. Saatavissa: <https://docplayer.fi/116922-Rami-20-holvimuottijarjestelma.html>
- Rakennustuoteteollisuus (2012) Betonilattiat kortisto. Rakennustuoteteollisuus RTT ry, Betoniteollisuus ry, Betonilattiyhdistys ry, s.72.
- Sahlstedt S., Koskenvesa A., Lindberg R., Kivimäki C., Palolahti., Lahtinen M. (2013) Talvibetonointi. Helsinki: Betoniteollisuus ry, s. 88.
- Talo-80 ryhmä (1981) Yleisseloste Talo-80 nimikkeistöjärjestelmän mukaan. Hki: Rakentajain kustannus, s.131.
- Teriö, O. (2003) Betonivalmisosarakentamisen kosteudenhallinta. Tampere: VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka sekä Suomen Betonitieto oy, s.42.
- Timonen-Nissi H. (2019) Talvibetonointi. Rudus Betoniakatemian Power Point -esitys. Rudus, s.15.
- Toivari O-P. (2011) Kosteudenhallinnan ja sääsuojauksen taloudellinen tarkastelu. Diplomityö, Tampereen teknillinen yliopisto, s.50.
- Tyrni E. (2015) Käyttö- ja yhteiskustannusten kustannuslaskennan nykyaikaistaminen. Insinööriyö, Metropolia Ammattikorkeakoulu, s.30.
- Valtioneuvosto (2009) Valtioneuvoston asetus rakennustyön turvallisuudesta. Helsinki: Valtioneuvosto. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2009/20090205>
- Ympäristöministeriö (2017) Ympäristöministeriön asetus asuin-, majoitus- ja työtiloista. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20171008>