

Viivi Rauti

RAKENNESUUNNITTELUN JA PAIKAL- LAVALURAKENTAMISEN MUOTTITEK- NIIKAN YHTEENSOVITTAMINEN

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto
Rakennustekniikan koulutus

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Viivi Rauti
Työn nimi	Rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovittaminen
Toimeksiantaja	Terra Infra Oy
Vuosi	2023
Sivut	53 sivua, joista liitteitä 6 sivua
Työn ohjaaja(t)	Juha Karvonen, Anna Eskola, Esa Jukanen

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovituksen tila, kartoittaa yhteensovituksen haasteet sekä tuottaa konkreettisia, toteutettavissa olevia keinoja haasteiden ratkaisemiseksi. Aihe rajattiin koskemaan talo-, toimitila- sekä korjausrakentamista. Opinnäytetyössä tutkittiin aihetta sekä järjestelmämuotin, että kappaletavaramuotin osalta.

Työ aloitettiin perehtymällä muottitekniikkaan ja sen toteuttamiseen työmaalla. Samalla perehdyttiin myös paikallavalurakentamisen rakennesuunnitteluun. Opinnäytetyön teoriaosuuksissa tarkastellaan paikallavalurakentamista, työn ennakkosuunnittelua, muottitekniikkaa sekä muottityön etenemistä. Viimeisessä teoriakappaleessa perehdytään vielä muottityön työturvallisuuteen.

Työn kehitysosassa pyrittiin löytämään vastauksia varsinaisiin tutkimuskysymyksiin, eli kartoittamaan rakennesuunnittelun ja muottitekniikan yhteensovituksen nykytila, havainnoimaan sen epäonnistumisesta johtuvia haasteita sekä löytämään ratkaisuja niihin. Aineiston keruu toteutettiin kaksipuolaisena, josta ensimmäisessä vaiheessa kerättiin vastauksia kysymyslomakkeen avulla. Toisessa vaiheessa toteutettiin puolistrukturoidut teemahaastattelut. Haastattelukysymykset oli rakennettu kysymyslomakkeeseen tulleiden vastausten pohjalta ja haastateltavat valittu kyselylomakkeeseen vastanneista. Haastatteluihin osallistui rakennesuunnittelijoita, muottisuunnittelijoita sekä työmaan toimihenkilöitä.

Tutkimuksesta selvisi, että yhteensovituksen epäonnistumisesta seuraa paljon haasteita, ylimääräisiä kustannuksia ja työtekniistä tehottomuutta. Koulutuksella, tietoisuuden lisäämisellä, 3D-mallinnuksella sekä etukäteissuunnittelulla pystytään vastaamaan haasteisiin ja parantamaan rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovittamista.

Asiasanat: betoni, paikallavalurakentaminen, muottitekniikka, rakennesuunnittelu, yhteensovittaminen

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Viivi Rauti
Thesis title	Combining between structural engineering and cast-in-place moulds
Commissioned by	Terra Infra Ltd
Time	2023
Pages	53 pages, 6 pages of appendices
Supervisor	Juha Karvonen, Anna Eskola, Esa Jukanen

ABSTRACT

The aim of this thesis was to determine the state of coordination between structural design and on-site molding technology, to examine the challenges of matching and to produce concrete, feasible ways to solve the challenges. The scope of this thesis was limited to housing construction, commercial building construction and repair construction.

The work was started by studying the moulding technology and its implementation on the site. At the same time, the structural design of on-site casting was also examined. The theoretical framework of the thesis examines on-site casting construction, pre-planning of work, moulding technology, and moulding process. The last chapter of the theoretical framework examines the occupational safety of mold work.

In the development part of the thesis, the aim was to find answers to the actual research questions, i.e. to examine the current state of structural design and mould engineering coordination, to observe the challenges arising from its failure and to find solutions to them. The data collection was carried out as a two-step process. In the first phase, material was obtained through questionnaire. In the second phase, semi-structured theme interviews were carried out. The interview questions were based on the answers of the questionnaire and the interviewees were selected from the answers to the questionnaire. Structural designers, mould designers and site workers participated in the interviews.

The study found that failure to coordinate results in many challenges, extra costs, and work-related inefficiencies. With training, awareness raising, 3D modeling and advance planning, it is possible to meet challenges and improve the coordination of construction engineering and the use of cast-in-place moulds

Keywords: concrete, cast-in-place concrete, moulding technology, construction engineering, combining

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	BETONI JA PAIKALLAVALURAKENTAMINEN	7
2.1	Betoni materiaalina	7
2.2	Paikallavalurakentaminen.....	7
2.3	Paikallavalurakentamisen ennakkosuunnittelu	9
2.4	Paikallavalurakentamisen rakennesuunnittelu	9
3	MUOTTITYÖ	10
3.1	Muottiin kohdistuva valupaine.....	10
3.2	Muottitekniikka ja muottityön suunnittelu	11
3.3	Muottikierto ja muottien purkaminen.....	12
3.4	Muotit, tukirakenteet ja tuentakalusto	13
3.4.1	Vaakamuotit.....	14
3.4.2	Pystymuotit	17
3.4.3	Eryitysmuotit	21
4	MUOTTITYÖN TURVALLISUUS.....	21
4.1	Muottityön vaarat	22
4.2	Muottien tarkistus.....	22
5	TUTKIMUSASETELMA JA OPINNÄYTETYÖN TOTEUTTAMINEN	23
5.1	Tavoite.....	23
5.2	Rajaus	23
5.3	Tutkimus- ja aineistonkeruumenetelmät	24
5.4	Aineiston analysointi	26
5.4.1	Kyselylomakkeen tulosten läpikäynti ja analysointi.....	26
5.4.2	Kyselylomakkeen esiin nostamat yhteensovittamisen haasteet ja niiden ratkaiseminen	31
5.4.3	Haastattelujen toteuttaminen	34
5.4.4	Haastattelujen tulokset.....	35

6	POHDINTA, JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHOTUKSET	42
6.1	Tutkimustulosten totuudenmukaisuus.....	42
6.2	Johtopäätökset ja kehitysehdotukset	42
	LÄHTEET.....	46

LIITTEET

Liite 1. Kyselylomake

Liite 2. Haastattelukysymykset

Liite 3. Rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovittamisen parantamisen keinot, taulukko

1 JOHDANTO

Paikallavalurakentaminen on yksi rakennusteollisuutemme kulmakivistä. Paikallavalurakentamista on käytetty betonirakentamisessa vuosikymmeniä, ja edelleen rakennustapa on säilyttänyt suosionsa. Vaikka paikallavaluprosessi on rakennusvaiheiltaan suoraviivainen, virheiden korjaaminen on kallista ja aiheuttaa aikataulullisesti kovaa painetta. Siksi paikallavalurakentamisen jokaisessa vaiheessa on panostettava suunnitteluun, järjestelmällisyyteen ja ennakkointiin. Huolellisesti toteutetulla suunnittelulla päästään edulliseen, laadukkaaseen ja aikataulullisesti järkevään toteutukseen.

Paikallavaluprosessi jakautuu toisistaan irrallisiin vaiheisiin, joiden on kaikesta huolimatta toimittava yhdessä, jotta lopputulos olisi toivotun kaltainen. Rakennesuunnitteluvaihetta seuraa rakennusvaihe, mikä pitää edelleen sisällään muotituksen, raudoituksen, betonoinnin ja muottien purun. Rakennesuunnitteluvaiheessa otetaan kantaa toteutettavaan betonirakenteeseen, mutta vain harvoin muotteihin ja niiden toteutukseen, jotta suunniteltu rakenne saataisiin valettua. Tämän takia työmaalla kuluu runsaasti aikaa ylimääräiseen muottien suunnitteluun, kun suunniteltua rakennetta ei pystytä muottittamaan selkein ja muottikierto huomioivin tavoin.

Jos rakennesuunnitteluvaiheessa otettaisiin enemmän huomioon muottitekniikka ja työmaalla käytettävä muottikalusto, pystyttäisiin rakentaminen työmaalla suorittaa tuottavammin, turvallisemmin ja taloudellisemmin. Samalla myös erilaisissa betonipinnoissa pystyttäisiin ennakoimaan paremmin lopputulos, kun muottipinta olisi huomioitu jo rakennesuunnitteluvaiheessa.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tuottaa konkreettisia, toteutettavia keinoja, joilla voidaan kehittää sitä, miten rakennesuunnittelu ja muottien rakentaminen toimisivat paremmin yhdessä.

Tutkimuskysymykset ovat:

- Mikä on rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovituksen nykytila?
- Mitkä ovat rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovittamisen haasteet?
- Miten rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovittamista voidaan parantaa?

Opinnäytetyön tilaajana toimii Terra Infra Oy. Terra Infra on vuonna 2018 perustettu kouvolaalainen infra-alan yritys, joka toimii kokonaisurakoitsijana yhdyskuntarakentamisen, talonrakennuksen maatöiden, paikallavalurakentamisen ja rakennusten purkutöiden sektoreilla (Terra Infra 2023).

Opinnäytetyö on tilattu Terra Infran paikallavalurakentamisen yksikölle, koska työn tulokset ja aihe hyödyttävät kyseisen sektorin toimintaa.

2 BETONI JA PAIKALLAVALURAKENTAMINEN

2.1 Betoni materiaalina

Betoni on maailmalla eniten käytetty rakennusmateriaali. Betoni koostuu runkoaineena toimivasta kiviaineksesta, vedestä ja sideaineena toimivasta sementistä. Kovettunut betoni on siis yhdistelmäaine eli komposiitti. Veden kanssa reagoiessaan sementti muodostaa sementtikiven, joka sitoo runkoaineen ja raudoituksen lujasti yhteen (Kovettuneen betonin ominaisuudet 2022).

Betonin laaja käyttö perustuu sen hyviin ominaisuuksiin, kuten kosteuden sielokykyyn, jäykkyyteen, lujuuteen, muokattavuuteen sekä edulliseen hintaan. Betoni kestää itsessään hyvin puristusta. Lisäämällä betoniin raudoituksia saadaan kasvatettua myös vetorasitusta. Raudoitukset voivat olla harjaterästä, erilaisia kuituja tai jännitettäviä punoksia.

Betoni sopii hyvin erilaisiin kohteisiin, kuten talo- ja infrahankkeisiin.

Betonin ominaisuuksia pystytään säätelemään erilaisten seossuhteiden sekä lisäaineiden avulla. Lisäaineiden avulla pystytään vaikuttamaan muun muassa betonin ilmapitoisuuteen, notkeuteen ja kovettumisen nopeuteen. Eri lisäaineilla betonille saadaan myös erilaisia rasituksensieto-ominaisuuksia. Lisäaineista käytetään ensisijaisesti vain vaativissa kemikaali- tai säärasituksessa olevissa betoneissa (Betoni 2023).

2.2 Paikallavalurakentaminen

Paikallavalurakentamisessa rakennuskohteen betonirakenteet valetaan työmaalla suoraan niiden lopulliseen paikkaan. Rakenteita varten rakennetaan

muotit, joihin betoni valetaan. Muotit mahdollistavat monimuotoiset rakenteet, muodot sekä erilaiset pinnat (Betonitekniikan oppikirja 2018).

Muottien tehtävä on tukea betonia sen kovettumisen ajan. Samalla se antaa rakenteelle sen suunnitellun muodon (RIL 147-2019 Tukitelineet ja muotit 2019). Kun betoni on saavuttanut tarvittavan lujuuden, rakenteen ympärillä olevat muotit puretaan.

Betonin paikallavalamisella on pitkä historia, joka ulottuu ainakin 1850-luvulle asti. Aluksi paikallavalun käyttö pientalorakentamisessa rajoittui lähinnä maan alapuolisiin rakenteisiin, kuten kellarin seiniin. Keksijä ja liikemies Thomas Edison oli yksi ensimmäisistä, jotka huomasivat potentiaalin paikallavalutekniikan käyttämisestä myös maanpinnan yläpuolisiin rakenteisiin. Hän teki paljon esittelyprojekteja asiasta, esimerkiksi rakennuttamalla useita omakotitaloja, jotka oli valettu kokonaan betonista. Myöhemmin betonikaluston, ja betonointitekniikan kehittyessä paikallavalurakentamisen käyttö levisi myös maanpinnan yläpuolisiin rakenteisiin (Removable Forms (Cast-in-Place) 2023).



Kuva 1. Thomas Edison betonivalmisteisen talon pienoismallin kanssa (PCA America's Cement Manufacturers 2023)

Paikallavalaminen on edelleen yksi käytetyimmistä rakennustavoista. Syynä tähän voidaan pitää paikallavalamisen tarjoamia monia etuja. Rakenteista saadaan esimerkiksi tiiviitä sekä monoliittisia. Lisäksi paikallavalun massiiviset rakenteet tasaavat lämpötilanvaiheluita ja toimivat hyvinä ääneneristeinä. Yksi

tärkeä tekijä on myös saatavuus – valmisbetonin toimitusverkosto toimii kattavasti ympäri Suomen. (Suurin osa betonista valetaan paikalla työmaalla 2021.)

2.3 Paikallavalurakentamisen ennakkosuunnittelu

Paikallavalurakentamisessa työn ennakkosuunnittelulla mahdollistetaan kustannusten optimointi. Optimointi pitää sisällään myös rakenteen kustannustehokkaan toteuttamisen. Hyvin toteutettu ennakkosuunnitelma hyödyntää kaikkia paikallavalurakentamisen parhaita puolia, kuten rakenteiden monimuotoisuutta, valetun betonin ominaisuuksia sekä muovailtavuutta (Suunnittelussa noudatettavat normit ja ohjeet sekä tuotestandardit 2018).

Hyvässä ennakkosuunnittelussa osataan myös ottaa huomioon nykyaikaisen, modernin muottitekniikan luomia mahdollisuuksia. Rakennettavan kohteen tuotannollinen hinta on siis yhteydessä rakennettavan kohteen toteutettavuuteen eli siihen, miten rakenne tai sitä ympäröivä muotti pystytään mahdollisimman optimaalisesti toteuttamaan. Rakennuksen toteutettavuutta pystytään parantamaan merkittävästi kiinnittämällä huomiota mahdollisimman varhaisessa vaiheessa muotti- ja rakennesuunnittelun yhteistyöhön (Suunnittelussa noudatettavat normit ja ohjeet sekä tuotestandardit 2018).

2.4 Paikallavalurakentamisen rakennesuunnittelu

Rakennesuunnittelun tehtävänä on vastata rakennuksen ja rakenneosien rakennusteknisestä toteutettavuudesta. Rakennesuunnittelun tehtävänä on myös varmistaa, että rakennus kestää kaikki siihen kohdistuvat rasitukset, koko rakennuksen suunnitellun käyttöiän ajan (Rakennesuunnittelu osana rakennushanketta 2022). Rakennesuunnittelija vastaa muun muassa rakennepiirustusten tuottamisesta, sekä lujuuslaskelmista, joilla osoitetaan rakenteiden kestävyys. Rakennussuunnitelmista käyvät ilmi myös kosteuden-, veden-, ja lämmöneristykset (Rakentaja 2012). Betonirakenteiden suunnittelijan pätevyys perustuu maankäyttö- ja rakennuslakiin, sitä täydentäviin ohjeisiin ja asetuksiin (FISE 2023.) Betonirakenteiden suunnittelua ohjaavat alan standardit, esimerkiksi eurokoodit.

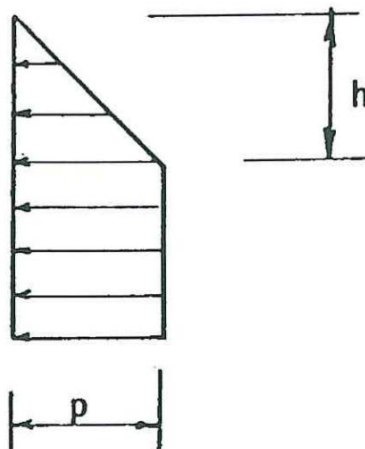
Suunnittelussa varmistetaan muun muassa rakenteiden ja rakenneosien yhteensopivuus, kuormien jakautuminen, rakenteen ja rakennuksen toimivuus. Betonirakennesuunnittelussa mitoitetaan myös terästen määrät ja etäisyydet sekä toimiminen yhdessä betonin kanssa (Pientalon betonirungon rakennesuunnittelu 2020). Rakennesuunnittelija käyttää suunnittelussa betonin materiaaliominaisuuksia, kuten puristus- ja vetolujuutta, virumaa, kimmokerrointa, kutistumaa sekä ottaa huomioon lämpötilaerojen aiheuttamat muodonmuutokset (Betonitieto, 2016).

3 MUOTTITYÖ

3.1 Muottiin kohdistuva valupaine

Valupaineella tarkoitetaan betonimassan vaakasuuntaan vaikuttavaa kuormaa muottirakenteissa. Valupaineen arvoa tarvitaan suunnitellessa paikallavalurakentamisen muotteja. Valupaine on pystyrakenteisten muottien suurin kuorma, mikä takia valupaine on mitoittava tekijä kyseisiä muottijärjestelmiä suunniteltaessa.

Kuvassa 2 on esitetty valupaineen jakautuminen. Tavanomaisessa betonissa valupaineen (p) oletetaan kasvavan suurimpaan arvoonsa lineaarisesti. Suurin arvo löytyy betonin pinnasta mitattuna korkeudella h , mikä vastaa arvon (p) hydrostaattista painekorkeutta. (RIL 147-2019 Tukitelineet ja muotit 2019.)



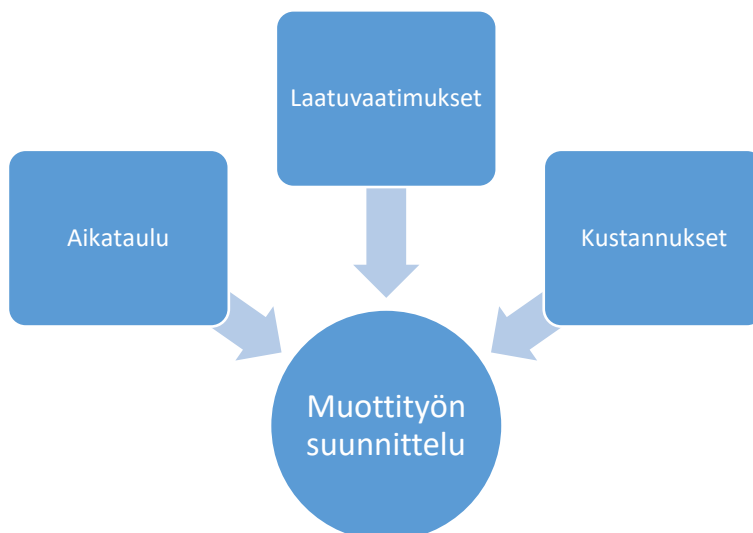
Kuva 2 Valupaineen jakautuminen (RIL 147-2019 Tukitelineet ja muotit 2019)

3.2 Muottitekniikka ja muottityön suunnittelu

Muottityön eteneminen ja toteutus suunnitellaan ennen muottityön aloittamista. Muottityön suunnittelussa huomioidaan työmaan olosuhteet, muut samaan aikaan työmaalla toimivat urakoitsijat, työmaan logistiikka, työvaiheet sekä työryhmät. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018.)

Työmaahan varatut resurssit ovat lähtökohta muottityön suunnittelussa. Varattuihin resursseihin sisältyvät muun muassa kalusto- ja koneluettelo sekä työntekijämäärä. Työmaan aikataulu mitoittaa resurssoinnin ja asettaa vaatimukset kalustomäärälle sekä muottityön nopeudelle. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018.)

Muottityön suunnittelu aloitetaan selvittämällä työmaan lähtötiedot. Samalla etsitään tiedot myös paikallavalumäärästä, työsaumoista, aikataulusta, kohteen laatuvaatimuksista sekä tekojärjestyksestä. Lisäksi on otettava huomioon työntekijät, käytettävissä olevat resurssit sekä välimatkat. Lisäksi on huomioitava haitat, jotka johtuvat esimerkiksi talviaikaan toteutetusta työstä ja säähäiriöistä. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018.) Muottityön suunnitteluun vaikuttavat tekijät on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Muottityön suunnitteluun vaikuttavat tekijät

Muottityön suunnittelu on rakennuskohde- ja rakennusosakohtainen, eli työ suunnitellaan kohteen tarpeet ja laatuvaatimukset huomioiden. Muottityön en-

nakkosuunnittelulla pyritään laadukkaaseen, kustannustehokkaaseen, aika-
taulussa pysyvään ja turvalliseen paikallavalurakenteen toteuttamiseen. (SFS-
EN 13670, 15.)

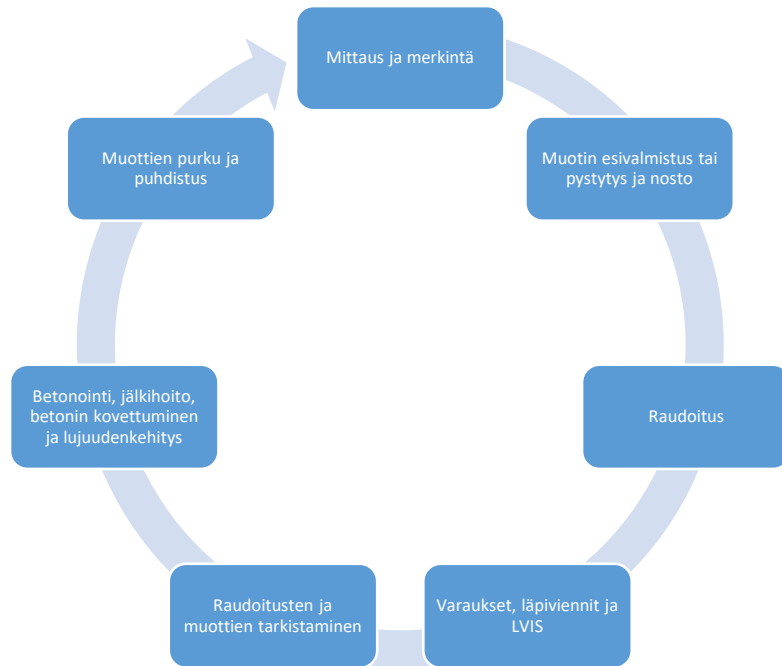
Muottijärjestelmän valintaan vaikuttavat työmaan lähtötiedot, kustannukset
sekä muottitarve. Muottitarve kartoitetaan välitavoitteiden sekä runkoaikatau-
lun perusteella. Muottikalustoksi valitaan vaihtoehto, joka on kustannusvertai-
lun perusteella edullisin, ja joka täyttää muottipinnan ja muotin tukirakenteiden
vaatimukset. (SFS-EN 13670, 15.)

Muottisuunnitelma laaditaan muottijärjestelmän valitsemisen jälkeen. Muotti-
toimittajan muottisuunnittelija suunnittelee muottisuunnitelman sekä muottien
tuentasuunnitelman. Tukitelineet ja muotit, sekä niiden tuet ja perustukset
suunnitellaan niin, että ne kestävät kaikki ennakoitavissa olevat rasitukset
sekä täyttävät jäykkyysominaisuuksiltaan rakenteelle määrätyt toleranssit.
Työmaan tehtävä on optimoida työ- ja muottikierto sekä suunnitellaan muotti-
työn eteneminen. (SFS-EN 13670, 15.)

Etukäteen tehty suunnittelu mahdollistaa toimivan, tehokkaan ja turvallisen
työnsuorittamisen. Kun muottityön suunnittelu on toteutettu hyvin, säästetään
työmaalla aikaa, kun muotit voidaan koota muottisuunnitelman ja muottityön
ennakkosuunnittelun mukaisesti. Muottisuunnitelman toteutumista seurataan
työn edetessä, ja tarvittaessa suunnitelmaa tarkennetaan. (by 201 Betonitek-
niikan oppikirja 2018.)

3.3 Muottikierto ja muottien purkaminen

Muottikierto tarkoittaa sykliä, jossa muotti pystytetään, puretaan ja pystytetään
uudestaan. Muottikierto pitää sisällään muotin mittaamisen paikalleen, pysty-
tyksen, raudoitteiden asennukset, LVIS-tarvikkeet sekä varaukset, betonoin-
nin, betonin tarvittavan kovettumisajan, muotin purun, huollon ja siirron uuteen
kohteeseen. Muottikierto suunnitellaan etukäteen. Kierron suunnittelussa on
huomioitava pysty- ja vaakamuottien muottikiertojen erot ja riippuvuudet suh-
teessa kertavalualueeseen. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018.)



Kuva 4. Muottikierron toteutuminen

Muotit, tukirakenteet sekä jälkituennat saa poistaa vasta kun betoni on saavuttanut riittävän lujuuden, ja on kykenevä kantamaan betonirakenneseen kohdistuvat kuormat. Muottien purkamisessa ja purkujärjestyksessä on noudatettava muottitoimittajan ja suunnittelijan ohjeita. Purkaminen toteutetaan, niin ettei valettuun rakenteeseen synny ylikuormitusta, kohdistu iskuja eikä rakenne muutenkaan vaurioidu. (SFS-EN 13670, 17.)

3.4 Muotit, tukirakenteet ja tuentakalusto

Muotit ovat rakenteita, jotka on suunniteltu tukemaan ja kannattamaan valettua betonimassaa, massan kovettumisen ajan. Samalla ne antavat betonirakenteelle suunnitellun aseman ja muodon. Muottien on oltava tarkoitukseensa sopivia, jotta ne täyttävät betonirakenteen mittatarkkuustoleranssit sekä pinnan laatuvaatimukset. Muotit voidaan rakentaa työmaalla kappalepuutavarasta, tai voidaan käyttää valmiita muottijärjestelmiä. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018.)

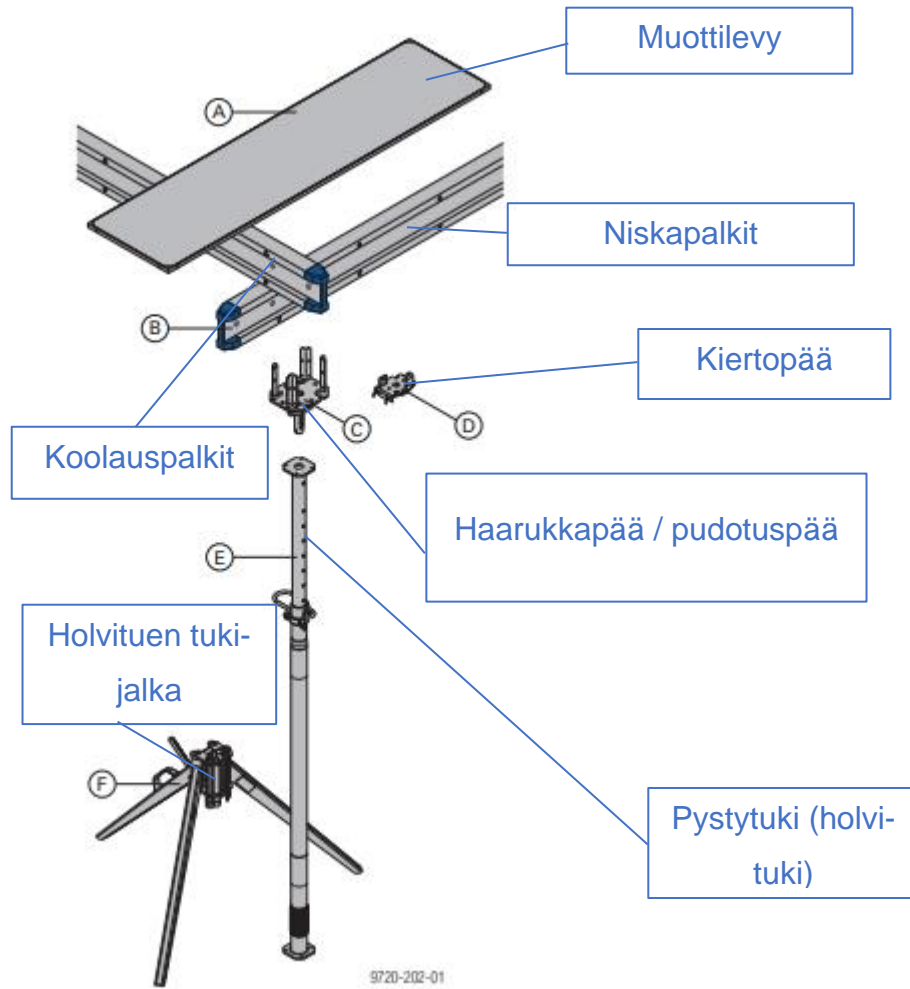
Käyttötarkoituksensa perusteella muotit voidaan jakaa pysty- ja vaakamuotteihin. Lisäksi käytetään erityismuotteja. Pystymuotit ovat esimerkiksi seinä, kuilu ja pilarimuotteja. Niiden suurin kuorma on valupaine. Vaakamuottien kuten

holvimuottien pääasiallinen kuormitus koostuu työntekijöiden, betonointikaluston sekä betonimassan omasta painosta (RIL 147-2019 Tukitelineet ja muotit 2019). Muottien ylläpidossa, käsittelyssä, hoidossa ja varastoinnissa on noudatettava maahantuojaan tai valmistajan ohjeita, jotta työt voidaan tehdä turvallisesti.

3.4.1 Vaakamuotit

Vaakamuotit koostuvat pääasiassa siltojen kansista sekä holvimuoteista. Myös palkkimuotit ovat vaakarakenteisia muotteja. Holvimuoteissa käytetään vakiopalkki- ja holvikasettijärjestelmää, pöytämuotteja sekä paikalla tehtyjä levy- ja lautamuotteja.

Vakiopalkkijärjestelmässä muotti rakentuu tukitorneista tai alumiini- tai terästuista, tukihaarukoista, niskapalkeista (pääkannatinpalkit), koolauspalkeista (sekundääripalkit) sekä muottilevyistä. Järjestelmä soveltuu kohteisiin, joissa muottikierto ei ole määräävä, koska sen rakentaminen vaatii paljon työvoimaa eli sillä on suuri työmenekki. (RIL 147-2019 Tukitelineet ja muotit 2019.) Vakiopalkkijärjestelmän osat on osoitettu kuvassa 5.



Kuva 5. Vakiopalkkijärjestelmän osat (Doka 2014)



Kuva 6. Vakiopalkkijärjestelmä työmaakäytössä

Holvikasettijärjestelmissä muotti kootaan vakiomittaisista kerrannaisista kaseteista, jotka ovat yleensä 3M-kerrannaisia ($M = 100 \text{ mm}$). Kasetit pystytetään tukitelineiden tai pystytukien varaan. Kasetiosat rakentuvat rungosta, tukitelineistä tai pystytuista, valmiista muottipinnasta, liitososista sekä jäykisteistä. Huolellisella ennakkosuunnittelulla holvikasettijärjestelmä soveltuu hyvin nopean muottikierron kohteisiin. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018.)



Kuva 7. Holvikasettijärjestelmä (RIL147-2019 Tukitelineet ja muotit)

Pöytämuotti on koneellisesti siirretty muottijärjestelmä, jota käytetään suurten holvipintojen valuihin. Pöytämuotit rakentuvat muottipinnasta, pääkannatinpalkeista eli niskoista, sekundääripalkeista eli koolauksista, kaiteista, siirtopyöristä, eristys- ja lämmitysjärjestelmästä sekä vino- ja pystytuista. Suurien pintojen valaminen vähentää jälkitöiden tarvetta. Samanlaiset, toistuvat käyttökohteet mahdollistavat pöytämuotin nopean muottikierron. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018.)



Kuva 8. Havainnekuva pöytämuotista (Doka muottimestarit 2005)



Kuva 9. Pöytämuotti työmaalla (PERI Suomi Ltd Oy 2009)

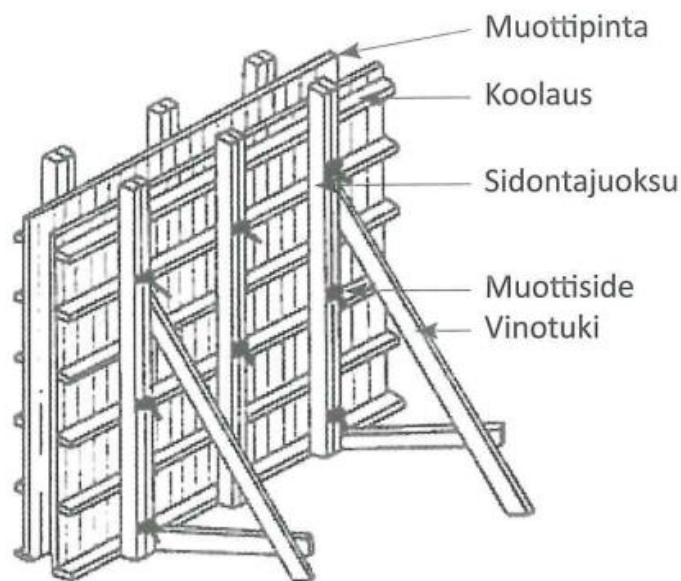
3.4.2 Pystymuotit

Pystyrakenteiset muotit voidaan ryhmitellä viiteen eri muottijärjestelmään: työmaalla rakennettuihin levy- ja lautamuotteihin, pilarimuotteihin, vakiopalkki-muotteihin, suurmuotteihin sekä kasettimuotteihin. Kasettimuotit jakautuvat edelleen normaaleihin ja kevyisiin järjestelmämuotteihin. (by Betonitieto 2018.)

Työmaalla tehdyt lauta- ja levymuottijärjestelmät rakentuvat irrallisesta puuta-varasta. Muotit rakentuvat tyypillisesti naulaamalla vanerista ja puulevyistä

sekä 22 x 100 mm² ja 55 x 100 mm² sahatavarasta. Muunneltavuutensa ansiosta paikalla rakennetut lauta- ja levymuotit soveltuvat moniin erityyppisiin rakenteisiin. Ammattitaitoiset timplurit mahdollistavat muottien soveltuvuuden myös arkkitehtuurisesti haastaviin sekä monimuotoisiin kohteisiin.

Lauta- ja levymuoteille tunnusomaista on, että ne rakennetaan ja puretaan rakennustarvike kerrallaan. Puhdistetun puutavaran uudelleenkäyttö on mahdollista, mutta puutavaran rikkoutuessa materiaalia menee myös hukkaan. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 34.)



Kuva 10. Seinän sahatavaramuotin periaateratkaisu (Kone-Ratu 06-3020; Rakennus-tietosäätiö 2004)



Kuva 11 Pystyrakenteiset, kaarevat kappaletavaramuotit kuvattuna Aalto Alvarin työmaalla Jyväskylässä 2022

Vakiopalkkimuotilla tarkoitetaan vakio-osista koottua pystyrakenteissa käytettävää muottia. Vakiopalkkimuotti soveltuu moneen käyttökohteeseen, mutta edellyttää kasauksessaan ammattitaitoisia työntekijöitä sekä ennakkosuunnitelmia. Tyypillisesti vakiopalkkimuottia käytetään porras- ja hissikuiluissa, erikoispilareissa sekä kaarevissa seinissä. Suurissa pinnoissa muottijärjestelmän etu on muottisiteiden vähäinen määrä. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 35.)

Suurmuotti on nosturin avulla asennettava pystyrakenteen muottijärjestelmä, joka koostuu kahdesta, yleensä teräsrunkoisesta muottipuoliskosta ja vaneri tai teräspintaisesta muottilevystä. Muottipuoliskot kiinnitetään toisiinsa sidepultein. (RIL147-2019 Tukitelineet ja muotit 2019, 71.) Suurmuotti on yleensä varusteltu lämmitysjärjestelmällä, joten se soveltuu erinomaisesti talvella ja syksyllä tehtäviin seinävaluihin (Doka muottimestarit 2014).



Kuva 12. Lämmitysjärjestelmällä varustettu suurmuotti (Sunicon 2023)

Kasettimuotit jakautuvat tavallisiin järjestelmämuotteihin ja kevyisiin järjestelmämuotteihin. Kevyet järjestelmämuotit ovat käsin liikuteltavia, teräs- tai alumiinirunkoisia, vaneri- tai muovipintaisia muotteja, joiden käyttö soveltuu parhaiten pieniin kohteisiin. Kevyistä kasettijärjestelmistä saadaan koottua myös suurempia muottiyksiköitä, tällä tavalla saadaan vähennettyä tarvittavaa asennustyötä. Suurempien muottiyksiköiden siirtäminen edellyttää nosturin käyttöä. (by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 237.)

Tavalliset järjestelmämuotit sopivat monentyyppiseen rakentamiseen. Muotit voidaan kiinnittää toisiinsa muottisitein tai kiinnikkein, jolloin pystytään rakentamaan suuria yksiköitä tai kohdekohtaisia elementtejä. Muunneltavan järjestelmämuotin hyöty on, että työmaalla pystytään valamaan kaikki pystyrakenteet samalla muottikalustolla. (by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 236.)

Onnistunut järjestelmämuottien käyttö edellyttää huolellista ennakkosuunnittelua. Kohteen mahdolliset pintavaatimukset on huomioitava jo muottityötä suunnitellessa, jotta pystytään ennakoimaan saumojen ja muottisiteiden betonipintaan jättämien jälkien sijainnit (by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 237).

Pystyrakenteisiin muotteihin kuuluvat myös pilarimuotit. Pilareita voidaan valaa pyöreän sekä suorakaiteen muotoisina. Pilareiden valamiseen pystytään

käyttämään usean eri muottijärjestelmän tuotteita. Käytetyimmät muottityypit ovat muottielementeistä koottu muotti, järjestelmämuotti sekä työmaavalmisteen sahatavaramuotti. Yleisimmin pilarimuotit sidotaan, ja jäykistetään soljilla, mutta poikkileikkaukseltaan hyvin suurissa pilareissa voidaan käyttää myös muottisiteitä. Muottisolkien väli mitoitetaan valupaineen perusteella. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 238.)

3.4.3 Erityismuotit

Pysty- ja vaakamuottien ohella betonimuotit voidaan jakaa myös erityiskohteisiin tarkoitettuihin erityismuotteihin. Erityismuottien käyttötapa eroaa tavanomaisista muoteista. Erityismuotteja on useita erilaisia. Yleisimmin käytettyjä erityismuotteja ovat liukuvalu- ja kiipeävät muotit, liittolevyt ja kuorilaatat sekä betoniset muottiharkot. Erityismuotteja voidaan käyttää sekä vaaka- että pystyrakenteissa. (by 201 Betonitekniikan oppikirja 2018, 239.)

4 MUOTTITYÖN TURVALLISUUS

Muottityössä on paljon vaaralle altistavia työvaiheita. Työturvallisuuslaki (738/2002) vaatii, että painonsa tai kokonsa vuoksi nostoapuvälineiden käyttöä edellyttävistä muottitöistä tehdään eri työvaiheille suunnitelmat. Turvallisuustoimenpiteet on esitettävä ainakin muottien käsittelystä, nostoista, varastoinnista, tuennasta, putoamisvaarasta sekä muottien purusta. Työssä tarvittavat turvallisuussuunnitelmat laaditaan ennen muottitöihin ryhtymistä. Suunnittelussa on huomioitava myös muotin valmistajan ja maahantuojan ohjeet. (Finlex 2002.)

Ennen työn aloitusta työntekijät perehdytetään muottityöhön ja sen vaaroihin. Samalla tarkistetaan myös suojainten, koneiden, muottikaluston ja laitteiden kunto. Työvaiheet käydään läpi etukäteen ja työn ja turvallisuuden toteutusta valvotaan jatkuvasti. Vaaratilanteiden sattuessa niistä ilmoitetaan eteenpäin ja vaarallisten töiden tekeminen lopetetaan välittömästi.

Työn suunnittelussa on ennakoitava säätiloja, ja varauduttava lisävaaraa aiheuttaviin sääolosuhteisiin kuten tuuleen ja pakkaseen. (Betoni 2007.)

Opinnäytetyöstä on rajattu pois telinetyöt sekä niihin liittyvät turvallisuusasiat, koska ne ovat itsessään oma, laaja kokonaisuutensa.

4.1 Muottityön vaarat

Muottityöhön liittyviä yleisimpiä vaaroja ovat muotin putoaminen ja heiluminen nostotilanteessa, muotin kaatuminen, puristuminen muotin ja rakenteiden väliin sekä henkilöiden kompastuminen, liukastuminen ja putoaminen. Korkealla työskennellessä huolehditaan putoamissuojauksesta muun muassa suojakaittein ja henkilökohtaisin putoamissuojauksin. (Työturvallisuuskeskus 2023).

Muotteja ja muottiosia joudutaan useasti asennus ja purkuvaiheessa nostamaan nostureilla. Muotin putoaminen luo suuren turvallisuusriskin, minkä takia nostettavan taakan alla ei saa koskaan oleskella. Muottien painot ja nostokohdat on merkittävä selkeästi ja nostotöissä saa käyttää vain toimivia, tarkastettuja ja turvallisia nostoapuvälineitä. Muotit tuetaan vaaditulla tavalla, ja myös tarvittavan jälkituennan asennuksesta huolehditaan. (RIL147-2019 Tukitelineet ja muotit.)

Valutöiden edetessä syntyy aukkoja ja kuiluja, joihin voi pudota. Kaikki aukot on peitettävä tai suojattava suojakaittein. Kompastumisvaaran ehkäisystä huolehditaan työmaan siisteydellä ja työvälinekaluston järkevällä logistiikalla. Työkaluilla ja muottiosilla on omat merkityt paikkansa, joissa niitä säilytetään. Muottitöissä käytettävien työvälineiden tulee olla huollettuja, hyväksytyjä sekä tarkoitukseensa sopivia. Kaikissa muottityön vaiheissa kiinnitetään huomiota ympärillä tapahtuviin työvaiheisiin ja huolehditaan henkilökohtaisten suojainten käytöstä. (Betonikeskus 2007.) Muottityön hyvällä ennakkosuunnittelulla ja perehdytyksellä pystytään lisäämään turvallisuutta, koska tiedotetaan työstä aiheutuvat riskit ja vaarat ja osataan varautua niihin (Työturvallisuuskeskus 2023).

4.2 Muottien tarkistus

Muotit tarkistetaan ennen valua. Erityistä huomiota muottitarkastuksessa kiinnitetään saumoihin, varauksiin, työsaumoihin sekä muotin tiiveyteen. Tarkastuksen yhteydessä tarkistetaan myös tukitelineet. Muottien ja tukitelineiden tarkistuksesta tehdään erillinen pöytäkirja. (by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 51.)

Muotti- ja tukitelinetarkistuksessa varmistetaan, että muottien ja tukitelineiden toteutus, sijainnit ja mitat vastaavat suunniteltua. Samalla tarkistetaan, että muotit on puhdistettu, öljytty tai kasteltu riittävällä tavalla, ja että suoja- ja työ- telineet ovat tukevat, turvalliset ja puhtaat. (by 201 Betonitekniiikan oppikirja 2018, 51.)

5 TUTKIMUSASETELMA JA OPINNÄYTETYÖN TOTEUTTAMINEN

5.1 Tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on selvittää rakennesuunnittelun ja muottitekniikan yhteistoimivuuden tila nykyhetkessä ja kehittää keinoja, joilla yhteensovitusta voidaan parantaa. Yhteensovituksen parantamisella tähdätään toimivampaan työmaahan. Lisäksi pyritään maksimoimaan tuottavuus, kun työmaalla ei tarvitse käyttää niin paljon aikaa ylimääräiseen muottisuunnitteluun, joka johtuu hankalasti muotitettavien rakenneosien suunnittelusta.

Tavoitteena on saada tulokseksi konkreettisia ja toteutettavia keinoja, joilla voidaan kehittää sitä, miten rakennesuunnittelu ja muottien rakentaminen toimisivat paremmin yhdessä ja joilla voidaan maksimoida muottityön toimivuus, taloudellisuus ja turvallisuus.

5.2 Rajaus

Opinnäytetyö on toteutettu tutkimalla paikallavalurakentamista, siihen liittyvää rakennesuunnittelua ja muottitekniikkaa koko maan laajuisesti. Tutkimus ei ota kantaa ulkomaille toteutettavaan paikallavalurakentamiseen. Opinnäytetyö tutkii muottitekniikkaa kappaletavamuottien sekä järjestelmämuottien osalta. Tutkimus ei ota kantaa infrarakenteisiin, kuten siltoihin ja teihin vaan keskittyy talo-, toimitila- ja korjausrakentamiseen. Opinnäytetyön lähteitä on etsitty sekä suomen- että englannin kielistä oppikirjoista, kirjallisuudesta, julkaisuista ja verkkolähteistä.

5.3 Tutkimus- ja aineistonkeruumenetelmät

Tutkimus on toteutettu pääasiallisesti kvalitatiivista tutkimusmenetelmää käyttäen, mutta validiteetin vahvistamiseksi apuna on käytetty myös kvantitatiivista tutkimusmenetelmää. Tutkimusta voidaan pitää pätevänä, kun tutkimuskysymykset, tutkimusmenetelmä ja kohderyhmä vastaavat tutkittavana olevaa ilmiötä (Hiltunen 2009, 3).

Aineiston keruutapana käytettiin kyselylomaketta sekä haastatteluja. Kyseiset tiedonkeruutavat valittiin, koska oli alusta asti selvää, että ajankohtaista tietoa ja kokemuksia aiheesta saataisiin vain henkilöiltä, jotka työskentelivät aiheen parissa päivittäin. Tutkimuksen tekemiseen käytettiin myös aikaisemman aiheesta kirjoitetun tutkimustiedon analysointia. Tutkimukseen liittyvistä aiheista, kuten paikallavalurakentamisesta, muottitekniikasta sekä rakennesuunnittelusta löytyi paljon tietoa, mutta tieto oli pilkottu aihepiirittäin, eikä itse aiheiden yhteensovituksista, ja yhdessä toimimisesta ollut paljon kirjoitettua materiaalia.

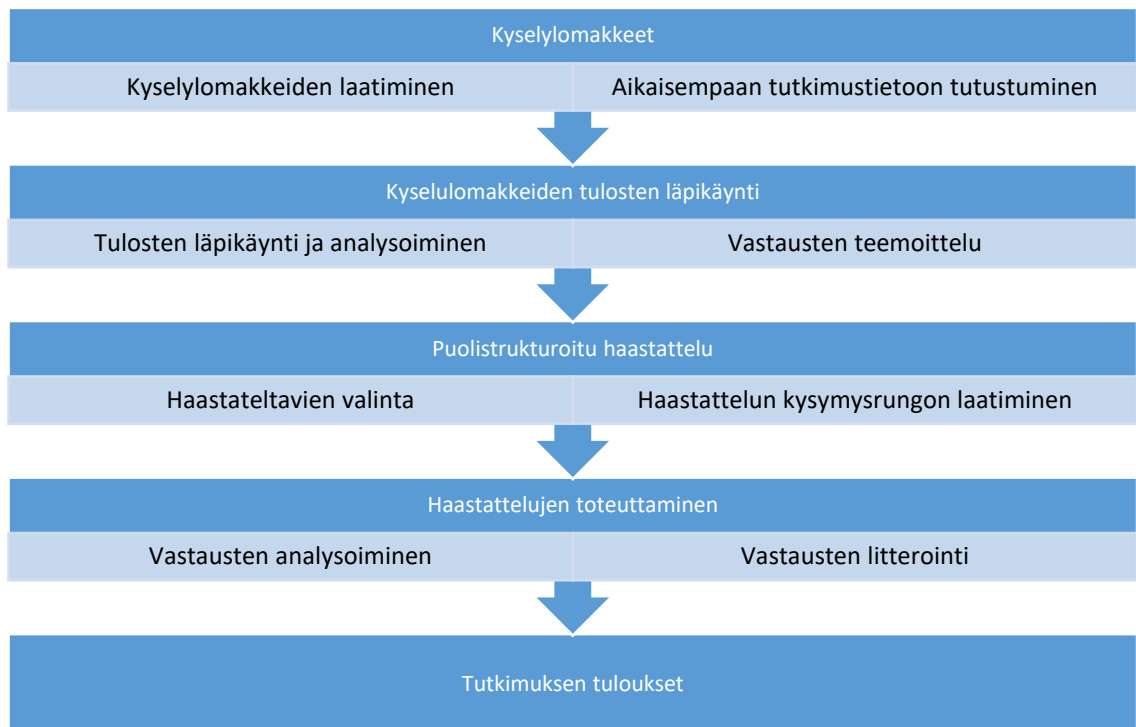
Vastaajan työnkuva mahdollistaa aihepiirin tarkastelun ja tulkitsemisen eri näkökulmista. Opinnäytetyöhön haluttiin kerätä materiaalia mahdollisimman monesta näkökulmasta, joten kyselylomakkeet lähetettiin muottisuunnittelijoille, rakennesuunnittelijoille sekä työmaan toimihenkilöille. Haastattelemalla muottitekniikan kanssa eri vaiheissa työskenteleviä henkilöitä pyrittiin saamaan näkökulmista mahdollisimman laaja otanta. Myös haastattelut tehtiin kaikkien kolmen työkuvan omaavan henkilön edustajille.

Aineistoa kerättiin kahdessa osassa. Ensimmäisessä osassa lähetettiin opinnäytetyön kyselylomakkeet suuremmalle joukolle: kuudelle (6) rakennesuunnittelijalle, kymmenelle (10) muottisuunnittelijalle ja yhdeksälletoista työmaan toimihenkilölle. Kyselylomakkeet lähetettiin vastaanottajille sähköpostin välityksellä. Vastaajille tarjottiin mahdollisuus vastata kysymyslomakkeeseen lomakkeella tai Google Forms -alustalla toteutetulla sähköisellä kyselyllä. Kyselyn kysymykset koskivat rakennesuunnittelun ja muottityön yhteensovituksen nykytilaa, samalla kysyttiin, olivatko vastaajat kohdanneet yhteensovi-

tuksen epäonnistumisen johdosta haasteita työssään. Kyselylomakkeessa kysyttiin myös vastaajien mahdollisia ratkaisuehdotuksia haasteiden ratkaisemiseksi.

Kyselylomake on liitteenä 1. Kyselylomakkeessa oli avoimia kysymyksiä, joihin pystyi vastaamaan omin sanoin sekä mielipiteitä mittaavia kysymyksiä, joissa arviointiasteikko oli numeerinen (1-5).

Kyselyn vastausten perusteella vastaajista valikoitiin pienempi joukko, joita haastateltiin. Haastattelut tehtiin paikanpäällä sekä verkossa Teams-alustalla. Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituna teemahaastatteluna. Haastattelukysymykset rakennettiin kyselyyn tulleiden vastausten perusteella. Haastattelujen tarkoituksena oli saada vastauksia ja mielipiteitä kolmanteen tutkimuskysymykseen: ”Miten rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muotitekniikan yhteensovittamista voidaan parantaa?”. Prosessin kulku on esitetty kuvassa 13.

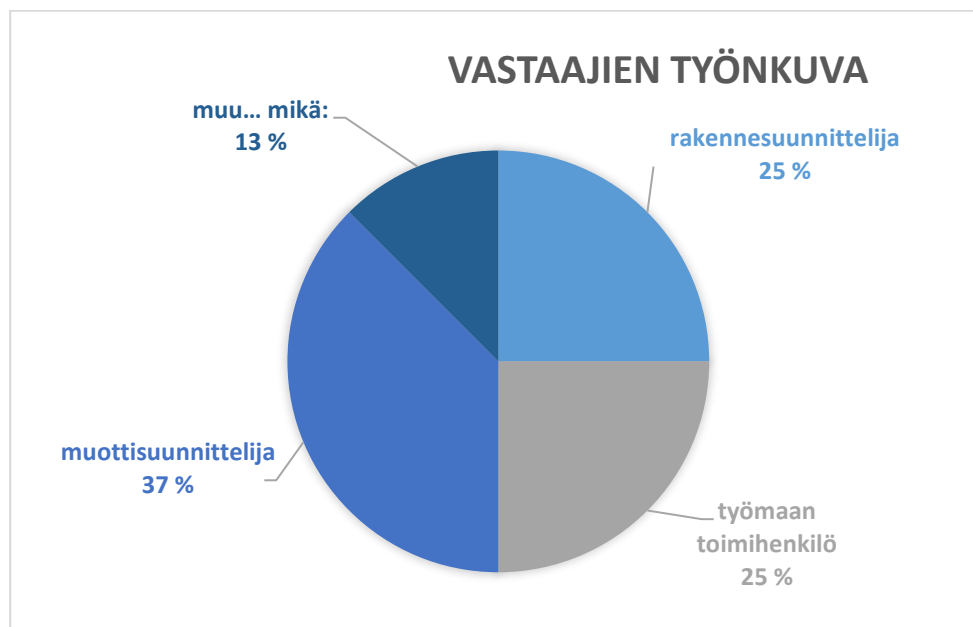


Kuva 13. Tutkimuksen eteneminen

5.4 Aineiston analysointi

5.4.1 Kyselylomakkeen tulosten läpikäynti ja analysointi

Opinnäytetyön kyselylomakkeeseen vastasi 17 henkilöä. Kyselylomake lähetettiin 35:lle asiantuntijalle, joten vastausprosentti oli 46 %. Vastauksia saatiin jokaiselta eri työnkuvan edustajalta, eli kyselyyn vastasi niin rakenne- ja muotisuunnittelijoita sekä työmaan toimihenkilöitä. Vastaajien työnkuvat on esitetty kuvassa 14.

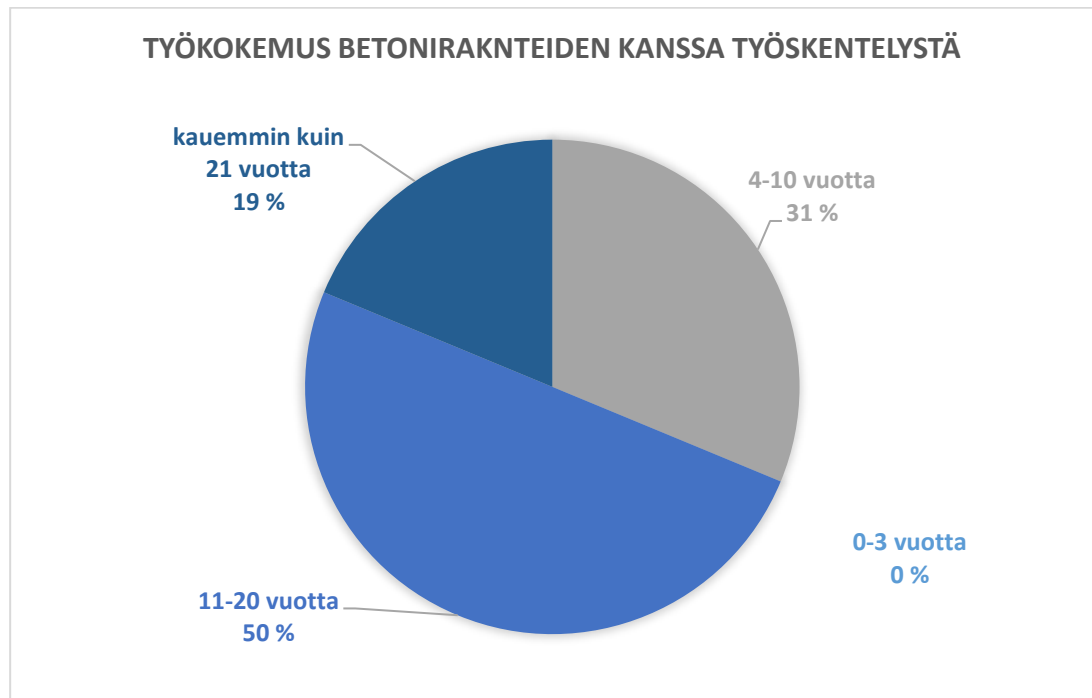


Kuva 14. Vastaajien pääasiallinen työnkuva N = 17

Kyselyn vastausten perusteella saatiin kokonaiskuva rakennesuunnittelun ja muotitekniikan yhteensovittamisen nykytilasta, haasteista, sekä saatiin hyviä ehdotuksia, miten yhteensovittamista voitaisiin parantaa.

Vastausten analysointi aloitettiin kokoamalla yhteen lomakkeilla ja Google Formsin kautta tulleet vastaukset. Kirjallisena tulleet vastaukset koottiin Word-tiedostoon, jossa vastaukset teemoiteltiin. Teemoittelussa saaduista vastauksista paikannetaan tutkimusongelman kannalta oleelliset teemat sekä kerätystä aineistosta nostetaan esiin usein esiintyvät piirteet (Juhila s.a). Numerisesti arvioidut vastaukset koottiin Excel-taulukkoon. Taulukoiden pohjalta luotiin graafit, jotta kyselyn tuloksia pystyisi havainnollistamaan konkreettisemmin.

Suurin osa kyselyyn vastanneista kertoi työskennelleensä 11–20 vuotta betonirakenteiden kanssa. Tuloksen perusteella voidaan olettaa, että kyselyyn vastanneilta löytyy paljon kokemusta ja näkemystä, siitä miten paikallavalurakentaminen ja siihen liittyvä rakennesuunnittelu ja muottitekniikka toimivat, ja mitä haasteita niihin mahdollisesti liittyy. Vastanneiden työkokemus ilmenee kuvasta 14.



Kuva 15. Vastaajien kokemus betonirakenteiden kanssa työskentelystä N = 17

Kyselyssä kysyttiin mielipiteitä siitä, kuinka hyvin rakennesuunnittelijoiden koettiin tuntevat paikallavalurakentamisen muottitekniikat. Jatkokysymyksenä tiedusteltiin, oliko vastaajilla ideoita, millä rakennesuunnittelijoiden muottitietämystä pystyttäisiin lisäämään.

Sekä numeerisesti arvioitu kuin sanallisestikin vastattu kysymys antoivat samankaltaisen tuloksen. Vastaajat kokivat, että rakennesuunnittelijoiden tietoa paikallavalumuoteista tulisi lisätä. Numeerisesti vastatun kysymyksen tulokset ovat kuvassa 16.

Suomesta löytyy useita muottitoimittajia, jotka tarjoavat omia tuotteitaan. Vastaajien mielestä paras tapa lisätä rakennesuunnittelijoiden tietämystä olisi tutustua muottitoimittajien tuotteisiin. Muottitoimittajilla on omilla sivuillaan katta-

vat tiedot tarjoamistaan tuotteista. Ehdotettiin myös, että muottitoimittajat voisivat järjestää koulutuksia sekä käydä suunnittelutoimistossa esittelemässä omia tuotteitaan ja muottijärjestelmiään, sekä niiden etuja ja rajoitteita. Muottijärjestelmiin tutustuminen tarjoaisi mahdollisuuden sovittaa pienillä muutoksilla suunniteltavia rakenteita valmiiksi saatavilla olevien muottijärjestelmien mittoihin. Tämä jouduttaisi ja tehostaisi työmaatyöskentelyä, kun muotteja ei tarvitsisi koota erikokoisista paloista vaan rakenteet pystyttäisiin muotittamaan vakiomittaisilla muoteilla.

Vastauksissa painotettiin myös suunnittelijoiden muottitietämyksen kehittyvän kokemuksen kautta. Lisäksi korostettiin työmaan toimihenkilöiden merkitystä sekä työmaalle tehtäviä vierailuja ja tutustumiskäyntejä, jotta suunnittelijat pääsisivät näkemään, miten muottijärjestelmät toimivat käytännössä.



Kuva 16. Miten hyvin vastaajat kokevat rakennesuunnittelijoiden tuntevan erilaiset muottitekniikat

Vastaajista suurin osa oli sitä mieltä, että työmaalla toteutettavien muottien rakentamista ei huomioida riittävästi rakennesuunnitteluvaiheessa. Vastausten perusteella, muotitusta huomioidaan jonkin verran, muttei kuitenkaan tarpeeksi. Tulokset ilmenevät kuvasta 17.

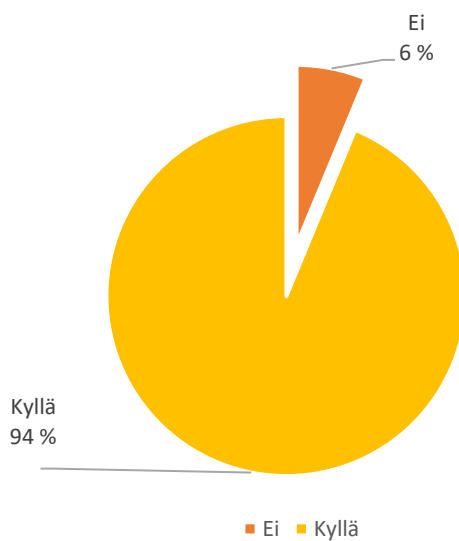


Kuva 17. Vastaajien kokemus, siitä huomioidaanko rakennesuunnitteluvaiheessa riittävästi muottien rakentaminen

Kyselylomakkeessa kerättiin vastauksia myös siitä, näkyykö rakennesuunnittelun ja muottitekniikan yhteensovitus heidän työssään ja onko yhteensovituksen puutteesta aiheutunut heille työssä haasteita.

Vastaajista 94 % vastasi, että yhteensovitus näkyy heidän työssään. Vastaajista 94 % kertoi myös kohdanneensa ongelmia, jotka olivat johtuneet siitä, etteivät rakennesuunnittelu ja muottitekniikka olleet toimineet yhdessä. Vastaukset ilmenevät kuvista 18. ja 19.

Vaikuttaako/näkykö muottitekniikan ja rakennesuunnittelun yhteistoiminta työssänne?



Kuva 18. Kysymys yhteistoiminnasta N = 17

Oletteko kohdanneet töissänne haasteita, jotka olisivat johtuneet siitä, että muottitekniikka ja rakennesuunnittelu eivät olisi toimineet yhdessä?



Kuva 19. Kysymys haasteiden kohtaamisesta N = 17

5.4.2 Kyselylomakkeen esiin nostamat yhteensovittamisen haasteet ja niiden ratkaiseminen

Kyselyn vastanneista valtaosa oli kohdannut yhteensovittamisen epäonnistumisesta aiheutuneita haasteita. Vastaajilta kysyttiin, millaisia yhteensovituksen toimimattomuuden aiheuttamia ongelmia he olivat kohdanneet ja millaisia ideoita heillä olisi haasteiden ratkaisemiseksi.

Vastauksista nousi esiin kolme keskeistä haastetta: jälkituennan tarve ja alapuolisten rakenteiden riittävän kestävyuden varmistaminen, suunniteltujen rakenteiden hankalat muodot, jotka eivät ole muottiteknisesti tai työteknisesti optimaalisia toteuttaa sekä työ- ja valusaumat. Lisäksi suuri osa vastaajista totesi, että rakennesuunnittelijoilla ei ole käytettävää muottitekniikkaa vielä tiedossa siinä vaiheessa, kun rakennesuunnittelua tehdään, ja siksi huomioon ottaminen on erittäin vaikeaa. Ohessa on suoria lainauksia kyselyn vastauksista:

”Jälkituennat ja alempien rakenteiden tukeminen. Tulee usein yllätyksenä, kun valun paino ylittää suunnitellun hyötykuorman tason.”

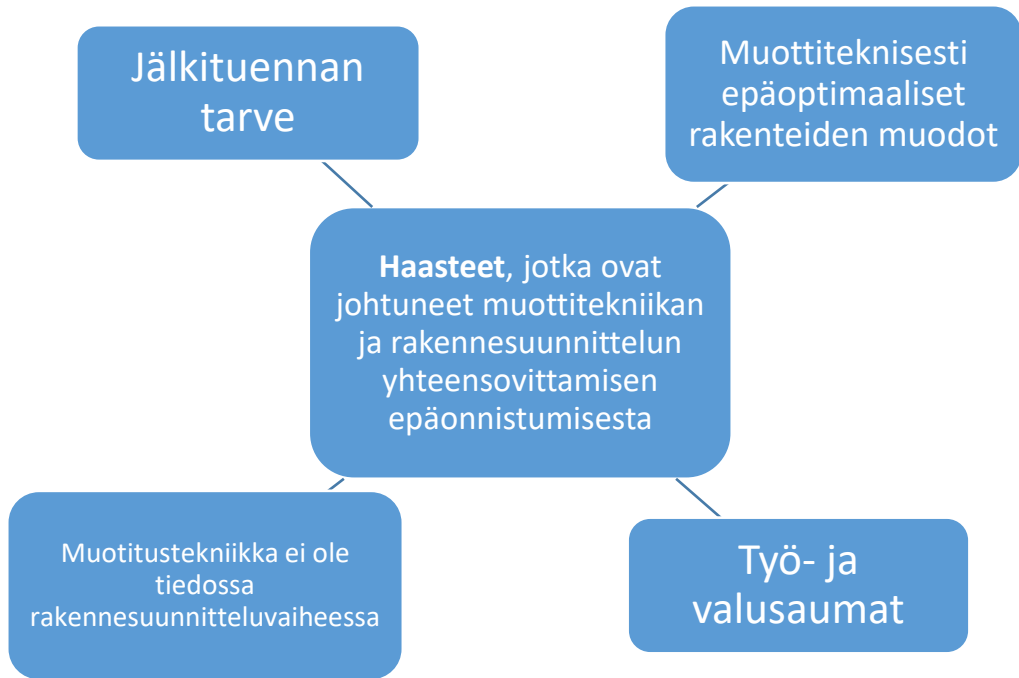
”Kaikki ei sovellu suoraan käytettävään muottitekniikkaan- tai järjestelmään (esimerkiksi kiipeävät muotit, liukuvalut jne.) Mikä ei ole suunnittelijoilla usein tiedossa, kun suunnitelmia pääasiassa laaditaan.”

”Suunnitelmista poikkeavat valu/muottikorkeudet (työsaumat).”

”Suurinta haastetta tuo työ- ja liikuntasauvojen kanssa vehtaaminen.”

”Rakennesuunnittelija ei suunnitellessaan välttämättä tiedä kuka betonityöt tekee ja tehdäänkö muotit kappaletavaralla vai järjestelmämuotilla.”

”Valittu muottitekniikka ei ole tiedossa siinä vaiheessa, kun suunnittelua tehdään.”



Kuva 20. Yhteensovituksen epäonnistumisesta seuranneet haasteet

Kyselylomakkeella vastaajia pyydettiin kertomaan heidän ratkaisujaan, muottitekniikan ja rakennesuunnittelun yhteensovittamisen epäonnistumisesta johtuneiden haasteiden ratkaisemiseksi. Vastauksissa toistui ajatus siitä, että muottisuunnittelijat ja urakoitsijat voitaisiin ottaa rakennusprojektiin mukaan jo aikaisemmassa vaiheessa.

”Urakoitsija ja muottitoimittaja mukaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.”

”Rakennesuunnittelija voisi alkuvaiheessa olla yhteydessä työmaahan ja muottisuunnitteluun.”

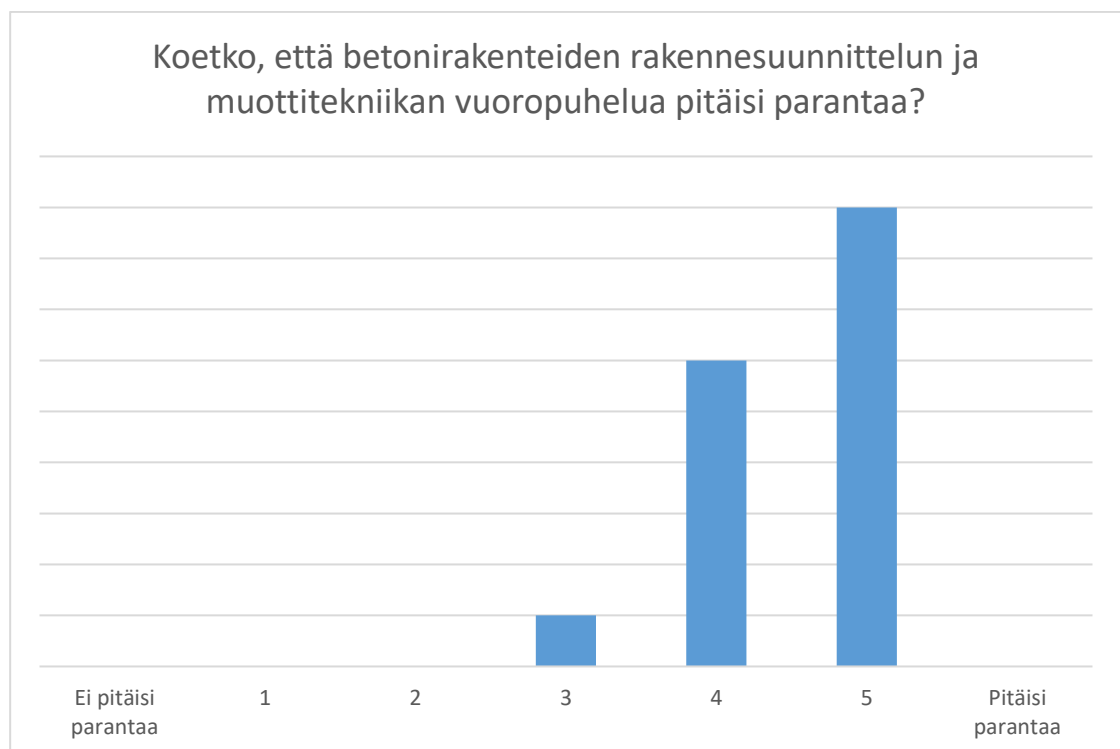
Rakennesuunnitteluvaiheen vähäisen muottitekniikan huomioimisen kerrottiin johtuvan siitä, että muottijärjestelmä päätetään vasta sitten, kun urakoitsija on valittu. Vastauksista kävi ilmi, että monet ongelmat olisi pystytty mahdollisesti välttämään, jos muottijärjestelmä olisi tiedetty jo rakennesuunnitteluvaiheessa. Siksi kannatusta sai ajatus, että urakoitsija ja muottitoimittaja voitaisiin ottaa rakennusvaiheeseen mukaan jo aikaisemmassa vaiheessa.

” Lähtökohtaisesti käytetty muottitekniikka tulisi olla tiedossa jo suunnittelun urakkavaiheessa, että mahdolliset työsaumat ja liittymärakenteet voitaisiin suunnitella valitun muottitekniikan mukaisesti.”

Rakennesuunnittelijoiden osaamisen lisäämistä muoteista, muottijärjestel- mistä sekä niiden ominaisuuksista korostettiin vastauksissa. Tärkeänä pidet- tiin myös kommunikaation lisäämistä rakentavan tahon ja rakenne- sekä muottisuunnittelijoiden välille.

” Lisää kommunikointia suunnittelun ja toteuttavan tahon kanssa.”

Kyselylomakkeen vastauksista kävi ilmi vastaajien ajattelevan, että rakenne- suunnittelun ja muottitekniikan yhteensovitusta pitäisi parantaa nykytilanteesta (kuva 21). Kaikki kyselyyn vastanneet kokivat myös, että rakennesuunnittelun ja muottitekniikan yhteensovituksen parantamisesta olisi konkreettista hyötyä (kuva 22).



Kuva 21. Vuoropuhelun merkitys



Kuva 22. Yhteensovittamisen parantamisen konkreettinen hyöty

5.4.3 Haastattelujen toteuttaminen

Kyselylomakkeiden tulosten analysoinnin ja teemoittelun jälkeen aloitettiin haastattelukysymysten laadinta. Haastattelukysymykset jaettiin kolmeen kysymysrunkoon, jotta rakennesuunnittelijoille, betoniurakoitsijoille ja muottitoimittajille saatiin esitettyä kohdennetut kysymykset. Kohdennettujen kysymysten lisäksi kysymysrungot sisälsivät myös neljä samaa kysymystä. Haastattelun kysymysrungot löytyvät liitteestä 2.

Haastattelukysymykset rakennettiin kysymyslomakkeiden vastausten perusteella, ja niillä pyrittiin löytämään vastauksia kolmanteen tutkimuskysymykseen ”Miten rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovittamista voidaan parantaa?”.

Haastateltavat valikoitiin kyselylomakkeeseen vastanneiden joukosta. Haastattelukyselyt lähetettiin sähköpostitse kolmelle valitulle haastatteluryhmälle: työmaan toimihenkilöille, rakennesuunnittelijoille ja muottitoimittajan muottisuunnittelijoille. Haastatteluun pääsi mukaan toimihenkilöitä kaikilta kolmelta

työnkuvan saralta. Haastateltavia saatiin siis sekä työmaantoihimiehiltä, rakennesuunnittelijoilta sekä muottitoimittajilta. Vaikka vastanneita ei ollut suuri joukko, ei haastatteluja päätetty tehdä enempää, koska samat ajatukset ja näkökulmat toistuivat vastanneiden kesken ja koska vastauksia saatiin kaikista kolmesta haastatteluryhmästä. Kaikki painottivat vastauksissaan ennakointia ja muottisuunnittelijoiden ja betoniurakoitsijoiden mukaan ottamista jo aikaisemmassa vaiheessa rakennushankkeessa.

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina teemahaastatteluina, joten kysymysrunгон läpikäynnin ohella haastateltavia kannustettiin myös kertomaan kokemuksistaan ja mielipiteistään vapaasti. Haastattelut toteutettiin paikan päällä sekä Teams-haastatteluina.

Haastattelujen toteuduttua vastauksia alettiin litteroida eli vastauksia alettiin purkaa kirjalliseen muotoon. Litteroinnilla pyritään helpottamaan aineistoon syventymistä ja tutkimusaineiston järjestelmällistä läpikäyntiä, luokittelua ja ryhmittelyä. (Hirsjärvi ym. 2015, 138; Vilkkä 2015, 88.) Vastaukset litteroitiin sanasta sanaan Word-tekstidokumenttimuotoon. Vastausten litteroinnin helpottamiseksi haastattelut äänitettiin haastateltavan luvalla.

Litteroinnin jälkeen vastauksista etsittiin samankaltaisuuksia sekä säännönmukaisuuksia, ja hajanaista aineistoa yhtenäistettiin selkeäksi informaatioksi. Tutkimusongelman lopullinen vastaus saatiin, kun analysoitu tutkimusaineisto oli tulkittu siihen tarkoitetun viitekehäyksen avulla.

5.4.4 Haastattelujen tulokset

Haastattelukysymykset rakennettiin kyselylomakkeen vastausten perusteella, ja niillä etsittiin vastauksia kolmanteen tutkimuskysymykseen. Tässä luvussa esitetään kehitystyön kannalta oleellisin haastatteluaineiston sisältö. Luvussa esitetään myös haastateltavien suoria lainauksia. Haastattelujen vastaukset nostivat esiin samoja teemoja, vaikka vastaajat toimivat eri työnkuville. Kysymysrungot alkoivat eri työnkuville (muottisuunnittelijoille, urakoitsijoille ja rakennesuunnittelijoille) kohdennetuilla kysymyksillä. Haastattelun neljä viimeistä kysymystä olivat samat jokaiselle haastateltavalle.

Rakennesuunnittelijoille kohdennetut kysymykset kartoittivat heidän muottitekniikan osaamisestaan, ja sitä onko heille olemassa työkaluja, jotka auttavat heitä huomioimaan muottitekniikan rakennesuunnittelussa. Lisäksi kysyttiin rakennesuunnittelijoiden mahdollisuutta vaikuttaa arkkitehdin suunnittelemiin rakenteiden muotoihin, joiden toteuttaminen tuottaa työteknisesti paljon kustannuksia.

Haastattelun tuloksista kävi ilmi, ettei rakennesuunnittelijoilla ole suoria apuvälineitä, jotka auttaisivat heitä muottitekniikan huomioimisessa. Haastatteluissa kävi myös ilmi, että rakennesuunnittelun oppilaitoksissa opetetaan muottitekniikkaa ja sen huomioimista suunnittelussa hyvin vähän. Suunnittelijat kertoivat, että yritykset järjestävät välillä koulutuspäiviä, joissa on joskus vierailut muottitoimittajien edustajia kertomassa järjestelmistään. Muottitoimittajien esittelyitä ei kuitenkaan järjestetty systemaattisesti vaan niiden kerrottiin olevan yksittäisiä kertoja.

Ohessa on suoria lainauksia haastatteluista:

”Me ollaan järjestetty muutamia tilaisuuksia, koulutuspäiviä, ainakin kertaalleen meillä oli muottitoimittaja mukana siellä. Hän avasi muottijärjestelmäänsä ja sen tarpeita.”

Tällaisia koulutuksia ja muottitoimittajien toteuttamia esittelyitä toivottiin rakennesuunnittelijoiden puolelta lisää.

”Jalkautetaan tätä muottitekniikkaa tänne konttoreille.”

Rakennesuunnittelijoilta kysyttiin, millaisista apuvälineistä he kokisivat hyötyvänsä, jotta pystyisivät huomioimaan muottitekniikan suunnittelussaan paremmin. Esiin nostettiin muottitoimittajien toimittamat taulukot, joissa olisi esitetty muottitoimittajan yleisimmät muottijärjestelmät, niiden käyttö, kiinnityspisteet, ominaisuudet ja haasteet. Lisäksi muottitoimittajien järjestämiä koulutustilaisuuksia ja esittelyitä toivottiin. Myös 3D-mallinnusohjelman hyödyntämisestä keskusteltiin. Rakennesuunnittelijat kokivat, että jos muottijärjestelmät saataisiin näkymään esimerkiksi Tekla-mallinnusohjelmassa, pystyisivät suunnittelijat jo suunnitteluvaiheessa näkemään, ovatko suunniteltu rakenne ja siihen ajateltu muotti yhteensopivia.

”Mietin, että onkohan meillä sisäänrakennettu Teklaan jotain muotituksiin liittyvää. Väittäisin, ettei ole tällä hetkellä. Olisi kyllä tarpeen.”

”Olisi aivan loistavaa, jos sen muottipuolen saisi sinne 3D-malliin.”

Rakennesuunnittelijoiden muottitiedon ja osaamisen lisääminen nähtiin suurena mahdollisuutena ja tapana helpottaa niin rakennesuunnittelijoiden, muottitoimittajien kuin urakoitsijoidenkin työtä. Myös muottityypin aikaisemmalla välitsemisellä nähtiin olevan hyötyä. Suunnittelijat kokivat, että jos he saisivat tiedon käytettävästä muottijärjestelmästä jo suunnitteluvaiheessa, he pystyisivät paremmin huomioimaan muottityön toteutuksen työmaalla. Muottitekniikan tietämättömyys rakennesuunnitteluvaiheessa aiheuttaa haastateltavien mukaan paljon muutossuunnittelulta. Muutossuunnittelussa rakenteita tarvitsee suunnitella työmaavaiheen aikana uudestaan, kun selviää ettei suunniteltua rakennetta voida toteuttaa työmaalla optimaalisesti.

”Usein joudutaan suunnittelemaan betonirakenteet tietämättä mitä muottityyppejä ollaan käyttämässä ja pitää vaan parhaan mukaan arvailla mitä mahdollisesti käytetään.”

Muottisuunnittelijoita rakennesuunnittelijat toivovat mukaan hankkeeseen jo varhaisessa vaiheessa, jotta he pystyisivät huomioimaan muottien asettamat tarpeet paremmin suunnittelussa.

”Kaivataan vuorovaikutusta muottitoimittajan kanssa mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.”

Rakennesuunnittelijoille kohdennetuissa haastatteluissa, tiedusteltiin myös rakennesuunnittelijoiden mahdollisuutta vaikuttaa suunniteltavien rakenteiden muotoon. Kyselylomakkeen vastausten perusteella monet kokivat turhauttavaksi sen, ettei työmaalla toteudu optimaalinen muottien käyttö vaan muotteja joudutaan palastelemaan ja joissain tilanteissa monimuotoisten rakenteiden toteuttaminen ei edes onnistu järjestelmämuotilla vaan on käytettävä omatekoista kappaletavaramuottia. Tämä vie aikaa ja syö työmaan tehokkuutta.

Rakennesuunnittelijat totesivat haastattelussa, että heidän mahdollisuutensa vaikuttaa arkkitehdin suunnitelmiin ovat lähes aina riippuvaisia siitä, kuinka hyvin he osaavat perustella rakenteen muodon muuttamisen. Myös tilaajan roolia korostettiin. Kustannuksia ja niiden vertailua eri vaihtoehtojen välillä pidettiin konkreettisimpana tapana vaikuttaa arkkitehtuurisen rakenteen muuttamisen toteutettavampaan muotoon.

”Hieman konkretiaa siitä, mitä ongelmia arkkitehtuuristen rakenteen toteuttamisesta seuraa ja laittaa vielä euroja perään. ’Tässä on tämä arkkitehdin ratkaisu ja tässä muottisuunnittelijan ratkaisu, joka on näin paljon halvempi.’ Kyllä siinä ainakin tilaaja varmaan kiinnostuu.”

Muottisuunnittelijoille kohdennettu kysymys liittyi siihen, kuinka paljon heiltä kysytään mielipidettä rakennesuunnitteluvaiheessa. Vastaajat olivat yhtä mieltä siitä, ettei mielipidettä kysytä usein. Mielipidettä oli kysytty vain haastavien kohteiden kohdalla, jotta rakennesuunnittelijat olivat saaneet varmistuksen, että haastavan rakenteen muuttaminen varmasti onnistuu.

”Sen pitää olla haastava kohde, että on kysely niistä. Mutta aika harvinaista on.”

Muottisuunnittelijoiden mielipiteitä kerrottiin kysyttävän paljon enemmän varsinaisessa rakennusvaiheessa. Tässä vaiheessa konsultoinnin koettiin olevan jo liian myöhäistä, koska rakenteita oli alettu jo toteuttaa. Suunnittelumuutos tässä vaiheessa keskeyttäisi työn etenemisen, viivästyttäisi aikatauluja ja olisi kallista, joten usein rakenteet toteutetaan alkuperäisen suunnitelman mukaan, vaikka se olisi työteknisesti optimaalista. Ennakointi, suunnitelmien etupainotteen toteuttaminen ja niihin tutustuminen nähtiin kannattavana ratkaisuna. Haastatellut muottisuunnittelijat kertoivat, että vain osa urakoitsijoista on heihin yhteydessä ajoissa, jolloin suunnitelmiin pystytään tekemään vielä muutoksia.

”On työmaita, joissa tekijät ovat ajoissa ja meihin yhteydessä. Tällöin voidaan muuttaa. Se on oikea tapa toimia. Välitetään oikeasti, miten nämä kohteet voidaan toteuttaa.”

Muottitoimittajien edustajilta kysyttiin myös, olisiko heillä resursseja järjestää suunnittelijoille koulutuksia, tarjoamastaan muottikalustosta ja sen ominaisuuksista. Varsinkin suuremmat muottitoimittajat kokivat, että heillä olisi resursseja järjestää esittelyitä, ja he näkivät myös asian tuomat hyödyt.

”Tämmöiseen (muottityyppien esittelyyn) pitäisi kyllä panostaa. Pystyisi kyllä järjestämään.”

Urakoitsijoille esitetyistä kohdennetuista kysymyksistä päällimmäiseksi nousi urakoitsijoiden kyky vaikuttaa rakennesuunnitelmiin työtekniisten ratkaisujen pohjalta. Suurin osa vastanneista, koki etteivät he pysty vaikuttamaan suunniteltaviin rakenteisiin. Työmaalla oli jouduttu toteuttamaan paljon epäedullisia, kalliita ja työtekniisesti tehottomia ratkaisuja, koska suunnitteluvaiheessa ei ollut mietitty riittävästi valettavien rakenteiden muotittamista. Urakoitsijat toivoivat mahdollisuutta vaikuttaa, tai tarjota vaihtoehtoisia ratkaisuja rakenteiden toteuttamiseen, jotta muottityön toteutus työmaalla voitaisiin optimoida.

”Meidän työmailla on välillä todella haastavaa. Jos on esimerkiksi suunniteltu betonisia ulokkeita, joissa olisi ollut mahdollisuus käyttää esimerkiksi piilokonsolijärjestelmää. Hankkeen alussa pitäisi käydä työtapoja läpi.”

”Kohteen suunnitteluvaiheessa olisi mahdollisuus vaikuttaa.”

Kohdennettujen kysymysten jälkeen haastateltavilta kysyttiin neljä samaa kysymystä, jotka koskivat jälkituentaa, valusaumoja sekä ajankohtaa, missä vaiheessa muottitekniikka tulisi huomioida rakennushankkeessa.

Vastauksissa toistuivat samat teemat: ennakointi, etupainotteinen suunnittelu, yhteistyö ja kommunikaation lisääminen tahojen välillä. Muottitekniikan tuntemuksen lisäämistä ja sen aikaisempaa huomioimista rakennesuunnittelussa kannatettiin.

Kaikkien vastanneiden tahojen mielestä muottitekniikka tulisi pääsääntöisesti ottaa huomioon rakennesuunnitteluvaiheen aikana, jolloin tiedetään jo vähän, millaista rakennetta toteutetaan. Samalla pystyttäisiin minimoimaan väärinym-

määräykset muottien käytön, ja ominaisuuksien suhteen. Tässä vaiheessa pysyttäisiin siten suunnittelemaan rakenneratkaisuja, jotka olisivat myös muottija työtekniisesti optimaalisia toteuttaa.

Muottityypin valinnan jälkeen pidettävät yhteiset kokoukset urakoitsijan, muotitoimittajan ja rakennesuunnittelijan välillä avaisivat keskusteluyhteyttä ja lisäsivät konkreettisesti ymmärrystä työ- ja muottiteknisistä tarpeista.

”Mieluummin niin, että heillä (rakennesuunnittelijoilla) olisi luonnoksia ja sitten kyseltäisiin ja katsottaisiin, mitkä ovat parhaat tavat toteuttaa kyseisen kohteen muotitus.”

”Suunnittelun alkuvaiheessa. Kun me (rakennesuunnittelijat) vähän tiedämme, millaisia rakenteita sinne on tulossa.”

Jälkituentaan ja sen järjestämiseen ei ollut suoraa vastausta. Tärkeimpänä vastauksena pidettiin jälkituentatarpeen tiedostamista. Rakennesuunnittelijat olivat yhtä mieltä siitä, ettei yläpuolisten rakenteiden tukemiseen tarkoitettua muottikalustoa voi pitää mitoituksen lähtökohtana. Suunnittelijat toivoivat muotitoimittajan välittävän tiedot muottikaluston alapuolisille rakenteille aiheuttamista kuormista. Kyseisten tietojen avulla suunnittelijat pystyisivät paremmin tarkistamaan jo suunnitteluvaiheessa, kestävätkö alapuoliset rakenteet sellaisenaan vai tarvitsevatko ne jälkituenta.

Jälkituennan tarvetta eikä sen mitoittamista ole tarkemmin tukittu. Suunnittelussa on edetty vanhemman suunnittelijan ohjeiden mukaan. Suunnittelijat kuitenkin toivoivat jälkituennasta yksikertaista ohjetta, johon kaikki voisivat nojautua. Yhtenäisesti luotu ohje mahdollistaisi, että jälkituentaan tarvittava kalusto ja sen määrä mitoittaisiin joka paikassa samalla tavalla. Koska tuennasta ei ole kaikille suunnittelijoille yhteistä ohjetta, jälkituennan mitoitus tapa vaihtelee toimistoittain.

”Meille (suunnittelijoille) annettiin vapaat kädet sanoa, että hoitakaa työmaalla jälkituenta, vaikka tuolla tavalla. Luulen, että meille sanottiin niin, koska aihetta ei ole tutkittu, eivätkä vanhemmatkaan suunnittelijat olleet saaneet asiasta selkeää ohjetta. Eikä ole minkäänlaista tutkimusta, kuinka paljon tuenta tarvitaan ja kuinka ne kuormat menee.”

Kyselylomakkeeseen tulleiden vastausten perusteella työ- ja valusaumojen asettelu ja niiden esittäminen tai esittämättä jättäminen oli yksi suurimmista yhteensovittamisen haasteista. Rakennesuunnittelijat kertoivat, että työsaumojen esittäminen piirustuksissa on riippuvainen suunniteltavan rakenteen vaativuus- ja seurantaluokasta. Rakenteet, joiden seuraamusluokka on CC3, pitävät sisällään rakennukset ja rakenteet, joilla voi olla vakavia seurauksia ihmishenkien menetysten, hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia. Seuraamusluokan CC3 rakenteista rakennesuunnittelijoiden on esitettävä kaikki työsaumat, mutta matalampien seuraamusluokkien kohdalla tämä ei ole pakollista, vaan on mahdollista suunnitella yksinkertaistettu soveltava työsauma.

Haastatellut urakoitsijat ja muottisuunnittelijat kertoivat, ettei kaikkiin suunnitelmiin ole piirretty lainkaan valusaumoja tai joissakin kohteissa saumat oli piirretty työteknisesti epäedullisiin kohtiin. Muottisuunnittelijat ja urakoitsijat toivoivatkin, että suunnittelijat kyselisivät työmaan mielipidettä valusaumoihin ja niiden asetteluun jo suunnittelun aikana, kun urakoitsija on valittu. Vapaaehtoisesti toteutettavien työsaumojen piirtämistä suunnitelmiin kannatettiin. Vapaaehtoisten työsaumojen koettiin lisäävän tehokkuutta työmaalla ja säästävän aikaa, koska urakoitsijan ei enää alemman kuin CC3 seuraamusluokan rakenteissa, tarvitsisi kysyä niin usein suunnittelijalta työmaavaiheen aikana, onko johonkin kohtaan mahdollista tehdä työsauma.

”Se, että suunnitelmissa todettaisiin, että tähän voi tehdä työsauman, muttei ole pakko. Sillä saisi tehokkuutta lisää.”

Kaikissa haastateltavien vastauksissa toistui ennakointi, aikaisin liikkeellä oleminen sekä kommunikoinnin ja yhteistyön lisääminen suunnitteluvaiheessa. Tiedostamalla muottien tuomat haasteet ja edut pystytään työtä optimoimaan, tekemään kustannustehokkaammin ja aikaa säästään.

6 POHDINTA, JOHTOPÄÄTÖKSET JA KEHITYSEHOTUKSET

6.1 Tutkimustulosten totuudenmukaisuus

Opinnäytetyön tuloksia voidaan pitää suhteellisen valideina, koska materiaalinkeruuvaiheessa toistuivat samat teemat ja vastaukset. Haastatteluja saatiin kaikilta kolmelta taholta: rakennesuunnittelijoilta, muottisuunnittelijoilta sekä urakoitsijoilta. Tämä mahdollisti sen, että tutkimuskysymyksiä pystyttiin katsomaan eri näkökulmista ja eikä käytettävä aineisto siis ollut yksipuolista.

Opinnäytetyön tuloksia heikentää hieman haastatteluun osallistuneiden vähäinen määrä. Pienen otannan tulkittiin johtuvan siitä, että useat vastanneet olivat panostaneet vastauksiinsa jo kyselylomakevaiheessa eivätkä kokeneet, että heillä olisi sen lisäksi paljon sanottavaa. Paljon tutkimusaineistoa saatiinkin kyselylomakkeiden pohjalta ja aineistoa syvennettiin haastatteluissa. Viitekehyksessä tarkasteltu tutkimusaineisto ja saatu informaatio oli yhdenmukaista, minkä seurauksena saatua tutkimustulosta voidaan pitää paikkaansa pitävänä. Tutkimus myös onnistui vastaamaan kaikkiin, työssä asetettuihin tutkimuskysymyksiin.

6.2 Johtopäätökset ja kehitysehdotukset

Opinnäytetyössä haluttiin selvittää rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovituksen nykytila, mahdolliset yhteensovituksen haasteet sekä löytää keinoja yhteensovittamisen parantamiseen. Kävi ilmi, että opinnäytetyön kyselyyn vastanneista 93 % oli kohdannut työssään haasteita, jotka olivat johtuneet rakennesuunnittelun ja muottitekniikan yhteensovituksen epäonnistumisesta tai siitä, ettei yhteensovitusta ollut tarpeeksi. Tämä kertoo, että tutkimusongelma on todellinen, ja eri tahot kohtaavat aiheesta johtuvia haasteita.

Tuloksista kävi ilmi, että yhteensovitusta tapahtuu rakennesuunnittelun ja muottitekniikan välillä jonkin verran, muttei tarpeeksi. Yhteensovituksesta, ei ole tullut yleistä käytäntöä, vaan sitä tapahtuu satunnaisesti eri tahojen välillä, kuten urakoitsijan ja muottisuunnittelijan välillä. Myös tahojen oma tahtotila ja asenne vaikuttavat siihen, kuinka paljon he ovat kysymysten ja ehdotuksien

pohjalta yhteydessä toisiinsa. Samoin oikea-aikaisuuden ja hyvissä ajoin liikkeellä olemisen kanssa. Tahot, jotka välittävät työn toteutumisesta tehokkaasti, turvallisesti ja kustannustehokkaasti ovat itse varhain yhteydessä suunnittelijoihin.

Kaikki opinnäytetyön kyselyyn vastanneista kokivat, että rakennesuunnittelun ja muottitekniikan yhteensovittamisen parantamisesta voisi olla konkreettista hyötyä, ja että yhteensovittamisen parantamisella voitaisiin saada aikaan suuria aika-, raha- ja materiaalisäästöjä.

Opinnäytetyön tuloksissa korostuu se, että yhteensovitusta pystyttäisiin parantamaan, jos muottitekniikka otettaisiin jo aikaisemmassa vaiheessa huomioon. Mikäli muottisuunnittelu otettaisiin huomioon jo aikaisemmassa vaiheessa, pystyttäisiin jo rakennesuunnitteluvaiheessa huomioimaan enemmän muottien työmaatoteutus, ja varmistuttaisiin siitä, että rakenteet on varmasti mahdollista suunnitella kyseisellä tavalla, resursseja säästäen. Vaikeuden tämän toteutumiseen aiheuttaa se, että muottitekniikka valitaan vasta siinä, vaiheessa kun urakoitsija on valittu. Tietyn muottityypin käytön sitominen urakkaan, voi olla eri urakoitsijoita syrjivä, koska kaikki eivät käytä samaa muotitustapaa. Urakoitsijat tulisi ottaa rakennushankkeeseen mukaan jo varhaisessa vaiheessa, jotta he pääsisivät vaikuttamaan ja tuomaan esille työteknisen puolen. Samalla rakennesuunnittelijat saisivat tietoonsa käytettävän muotitustekniikan, ja pystyisivät ottamaan sen paremmin huomioon suunnittelussa.

Ennakoivana tapana yhteensovituksen parantamiselle voidaan pitää rakennesuunnittelijoiden muottitietämyksen lisäämistä. Muottitekniikkaa opetetaan hyvin rajallisesti kouluissa. Yhteensovituksen epäonnistumisen tuomien haasteiden tiedostaminen on ensimmäinen askel tiedon parantamisessa. Kun ongelmat tiedostetaan myös korkeammalla taholla, muottitekniikan huomioimisen merkitys kasvaa, ja sitä voidaan ottaa lisää mukaan myös rakennesuunnittelijoiden koulutukseen. Jo työelämässä olevien rakennesuunnittelijoiden muottitietämystä pystytään lisäämään erilaisin taulukoin, joihin olisi kasattu yksityiskohtaista tietoa eri muottitoimittajien muottijärjestelmistä, niiden ominaisuuksista, kuormista, käytön edellytyksistä ja hyödyistä. Taulukoiden avulla suunnittelijat pystyvät jo vähän hahmottamaan työmaa aikaisen muottityön ja sen

tuomat ylimääräiset kuormat. Rakennesuunnittelijat pystyisivät jo täten huomaamaan tarvitsevatko alemmat kerrokset mahdollisesti ylimääräistä jälkituentaa. Taulukoista rakennesuunnittelija myös pystyisi hieman hahmottamaan muottien muita tarpeita, kuten tarvittavaa työskentelytilaa muottien kokoamiselle ja purkamiselle. Kuten myös muottitekniikoiden optimaalista käyttöä.

Kolmantena rakennesuunnittelijoiden muottitietämystä lisäävänä toimenpiteenä suositellaan muottitoimittajien toteuttamia koulutuksia ja tietoiskuja. Muottitoimittajan edustajat vierailisivat ahkerammin suunnittelutoimistoissa kertomassa omista muottijärjestelmistään ja niiden tuomista eduista ja haasteista. Suurimpien muottitoimittajien edustajat kokivat, että heillä olisi resursseja järjestää kyseisiä tilaisuuksia. Koulutuksista ja esittelykänneistä olisi kuitenkin tehtävä tapa, ruutiini, jota toteutettaisiin tietyin väliajoin. Tällöin rakennesuunnittelijoiden muottiosaaminen pysyisi ajankohtaisena ja muottitekniikan huomioimisen tärkeys pystyisi esillä.

Rakennesuunnittelun ja muottitekniikan yhteensovittamista voitaisiin myös parantaa muottityyppien ja muottijärjestelmien mallinnuksesta ja luomisesta 3D-malleihin, esimerkiksi Teklaan. Koska lähestulkoon poikkeuksetta rakennesuunnittelutoimistot ovat siirtyneet suunnittelussaan 3D-ohjelmiin, olisi hyvä jos paikallavalumuotit tai tavallisimmat järjestelmämuotit löytyisivät myös 3D-mallista. Silloin suunnittelun aikana rakennesuunnittelijat voisivat perehtyä muottien toteuttamiseen ja tehdä tarvittavia törmäystarkasteluja todetakseen toimivatko muottijärjestelmät suunniteltujen rakenteiden kanssa.

Opinnäytetyön edetessä esiin nousi kolme aihetta, jotka olisivat sopivia jatkotutkimuksenaiheita. Opinnäytetyön aikana selvisi, ettei rakenteiden jälkituennasta ja niiden mitoituksesta ole selkeitä, yhtenäisiä ohjeita. Aiheesta saisi varmasti kerättyä kokoon paljon hajanaista tietoa ja kokoamalla sen yhteen ja tarkastelemalla sitä valitussa viitekehyksessä saataisiin varmasti paljon työelämässä hyödytettävää tietoa.

Toinen sopiva jatkotutkimusaihe olisi muottitoimittajille tehtävä kooste tai taulukko eri muottityyppien ominaisuuksista, tarpeista ja muottijärjestelmän tuomista ylimääräisistä kuormista.

Kolmannessa kehitystyössä voitaisiin tutkia 3D-mallin hyödyntämistä paikalla-valumuottien suunnittelussa ja mahdollisesti mallintaa, joitakin muottityyppejä 3D-mallinnusohjelmaan, esimerkiksi Tekla Structuresiin. Taulukoilta ja muottien 3D-mallinnusta apuvälineinä käyttäen rakennesuunnittelijat pystyisivät paremmin ottamaan huomioon muottitekniikan suunnitellessaan rakenteita. Opinnäytetyön tuloksista on tehty liitteeseen 3 koottu yhteenvetotaulukko.

LÄHTEET

Betoni. 2007. Betonin valmistus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/betonin-valmistus/> [viitattu 27.4.2023].

Betoni. 2023. Lisäaineet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betoni.com/tietoa-betonista/betoni-rakennusmateriaalina/lisaaineet/> [viitattu 27.4.2023].

Betoni. 2018. Suunnittelussa noudatettavat normit ja ohjeet sekä tuotestandardit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://betoni.com/suunnittelu/rakenne-ja-elementtisuunnittelu/> [viitattu 20.1.2023].

By 201 Betoniteknikan oppikirja. Suomen Betoniyhdistys. 2018. Helsinki: BY-Koulutus Oy

By Betonitieto. 2018. Pystyrakenteiden muotit. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/tyomaat/betonitoiden-johtaminen-talonrakentamisen/betonitoiden-suunnittelu/muottitoiden-suunnittelu/muottijarjestelmat-ja-materiaalit/pystyrakenteiden-muotit.html> [viitattu 26.1.2023].

By Betonitieto. 2023. Kovettuneen betonin ominaisuudet. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.betonitieto.fi/suunnittelijat/betonirakenteiden-suunnittelu-talonrakentaminen/betonirakenteiden-suunnitteluperusteet/materiaaliominaisuudet/betonin-perusominaisuudet.html> [viitattu 27.4.2023].

Doka muottimestarit. 2005. Dokaflex pöytä. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999778011_2005_11_online.pdf [viitattu 26.1.2023].

Doka muottimestarit. 2014a. Dokaflex 1-2-4 *Käyttäjätietoa Asennus- ja käyttö-ohje*. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999776011_2014_06_online.pdf [viitattu: 25.1.2023].

Doka muottimestarit. 2014b. Sähkölämmitteiset suurmuotit. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.doka.com/fi/news/news/140606_Dokafin1 [viitattu: 26.1.2023].

FINLEX. 2002. Työturvallisuuslaki. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738> [viitattu 27.1.2023].

FISE. 2023. Laadukas rakentaminen taataan pätevyityneillä tekijöillä. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://fise.fi/patevyyspalvelu/hae-patevyutta/suunnittelijat/betonirakenteiden-suunnittelija/> [viitattu 27.4.2023].

Hiltunen, L. 2009. Validiteetti ja reliabiliteetti. Jyväskylän yliopisto. Powerpointesitys. Saatavissa: http://www.mit.jyu.fi/ope/kurssit/Graduryhmä/PDFt/validius_ja_reliabiliteetti_handout.pdf [viitattu 27.4.2023].

Juhila, K, 2020. Teemoittelu. Tietoarkisto. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.fsd.tuni.fi/fi/palvelut/menetelmaopetus/kvali/analyysitavan-valinta-ja-yleiset-analyysitavat/teemoittelu/> [viitattu 2.5.2023].

Koski, H. 2010. Ratu Rakentamisen työmaatekniikka. Rakennustieto Oy. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://kortistot-rakennustieto-fi.ezproxy.xamk.fi/resource/juha/content/18073#page=1> [viitattu 26.1.2023].

Kuusela, P. 2020. Pientalon betonirungot rakennesuunnittelu. Turun ammattikorkeakoulu. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/354277/Kuusela_Petri.pdf?sequence=2&isAllowed=y [viitattu 27.4.2023].

Lumme, P., Roihuvuo I. & Vuorio M. 2021. Suurin osa betonista valetaan paikalla työmailla. *Betoni*. 72–79. Verkkolehti. Saatavissa: https://betoni.com/lehti/wp-content/uploads/sites/4/2021/03/BET2101_72-79.pdf [viitattu 19.1.2023].

PCA America's Cement Manufacturers. 2023. Removable Forms (Cast-in-Place). WWW-dokumentti. Saatavissa: [https://www.cement.org/cement-concrete/paving/buildings-structures/concrete-homes/building-systems-for-every-need/removable-forms-\(cast-in-place\)](https://www.cement.org/cement-concrete/paving/buildings-structures/concrete-homes/building-systems-for-every-need/removable-forms-(cast-in-place)) [viitattu 19.1.2023].

PERI Suomi Ltd Oy. 2009. PERI Pöytämuotit Vakiomittainen moduulipöytä tai muunneltava pöytämuotti. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.peri.fi/tuotteet/muotit/holvimuotit/poytamuotit.html> [viitattu 26.1.2023].

Pihlajamäki, J. 2020. Rakennesuunnittelu osana rakennushanketta. Tampereen ammattikorkeakoulu. Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan koulutus. Opinnäytetyö. PDF-dokumentti. Saatavissa: viitattu 27.4.2023].

Rakentaja. 2012. Rakennesuunnittelu. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.rakentaja.fi/artikkelit/1740/rakennussuunnittelu.htm> [viitattu 27.4.2023].

RIL 147-2019 Tukitelinet ja muotit. Suomen rakennusinsinöörien Liitto RIL ry. 2019. Hansaprint Oy

SFS-EN 13670. 2010. Betonirakenteiden toteuttaminen. Standardi. Saatavissa: <https://sales.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/147763.html.stx> [viitattu: 27.4.2023].

Sunicon. 2023. Referenssejä *Suurmuotit*. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.sunicon.fi/referenssit> [viitattu: 26.1.2023].

Työturvallisuuskeskus. 2023. Perehdyttäminen ja työhönopastus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ttk.fi/tyoturvallisuus/vastuut-ja-velvoitteet/tyonantajan-yleiset-velvollisuudet/perehdyttaminen-ja-tyonopastus/> [viitattu: 27.4.2023].

Terra Infra Oy. 2023. Terra – Rakennamme maata. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.terrainfra.fi/tietoa-meista/> [viitattu 2.5.2023].

KYSELYLOMAKE

Kaikki kyselyn vastaukset käsitellään anonyymisti, eikä vastaajaa voida tunnistaa hänen vastaustensa perusteella.

Kysely on osa opinnäytetyötä, joka tutkii muottitekniikan ja rakennesuunnittelun yhteensovittamista ja sen parantamista.

1. Pääasiallinen työnkuvani on:

- rakennesuunnittelija
 työmaan toimihenkilö
 muottisuunnittelija
 muu... mikä:

2. Kuinka kauan olette työskennelleet betonirakentamisen parissa?

- 0 – 3 vuotta
 4 – 10 vuotta
 11 – 20 vuotta
 kauemmin kuin 21 vuotta

3. Oletteko viimeisen kahden (2) vuoden aikana olleet tekemisissä paikallavalurakentamisen muottien kanssa?

- en yhtään
 jonkin verran
 paljon

4. Oletteko viimeisen kahden (2) vuoden aikana olleet tekemisissä rakennesuunnittelun kanssa?

- en yhtään
 jonkin verran
 paljon

5. Miten hyvin koette, että rakennesuunnittelijat tuntevat erilaiset paikallavalurakentamisen muottitekniikat?

Parannettavaa on

Tuntevat muottitekniikat erinomaisesti

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

6. Jos koette, että rakennesuunnittelijoiden tulisi tuntea muottitekniikat paremmin, missä aiheissa koette puutteita olevan? Onko teillä ideoita, miten tietotaitoa voitaisiin lisätä?

7. Vaikuttaako/näkykö muottitekniikan ja rakennesuunnittelun yhteistoiminta työssänne?

ei

kyllä

8. Miten yhteistoiminta näkyy?

9. Koetteko, että rakennesuunnittelussa huomioidaan riittävästi työmaalla toteutettavien muottien rakentaminen?

Ei huomioida riittävästi

Huomioidaan erinomaisesti

1

2

3

4

5

10. Oletteko kohdanneet töissänne haasteita, jotka olisivat johtuneet siitä, että muottitekniikka ja rakennesuunnittelu eivät olisi toimineet yhdessä?

en ole kohdannut

olen kohdannut

11. Miten yhteensovittamisen haasteet ovat ilmenneet? Jos ette ole kohdanneet haasteita, uskotko, että niitä voisi ilmetä ja miten ne mahdollisesti ilmenisivät?

12. Koetko, että rakennesuunnittelun ja muottitekniikan vuoropuhelua pitäisi parantaa?

Ei pitäisi parantaa

Pitäisi parantaa

1

2

3

4

5

13. Onko teillä ideoita, miten vuoropuhelua ja yhteensovittamista voitaisiin parantaa?

14. Uskotteko, että rakennesuunnittelun ja muottitekniikan yhteensovittamisen parantamisesta on konkreettista hyötyä?

ei

kyllä

HAASTATTELUKYSYMYKSET

Rakennesuunnittelijoille:

- 1) Millaisia apuvälineitä teillä on, jotta pystytte huomioimaan muottitekniikan rakennesuunnittelussa?
- 2) Onko teillä ideoita, millaisista apuvälineistä olisi konkreettista hyötyä? Koetko, hyötyväanne mm. taulukosta, jossa olisi esitetty yleisimmät muotitustekniikat ja niiden ominaisuudet?
- 3) Koetko, että muottitoimittajien tekemistä esittelykänneistä olisi hyötyä?
- 4) Onko teillä konkreettisia keinoja, miten muottisuunnittelijat ja betonirakennusurakoitsijat voitaisiin sisällyttää rakennushankkeeseen jo rakennesuunnitteluvaiheessa?
- 5) Pitäisikö mielestänne muottitekniikka huomioida mieluummin ennen rakennesuunnittelun aloitusta (esim. muottitoimittajien esittelyillä, taulukoilla) vai rakennesuunnitteluvaiheen aikana eli rakennesuunnittelijat istuisivat samaan pöytään betoniurakoitsijan kanssa ja keskustelisivat valitusta muotitustekniikasta, sen hyödyistä ja ongelmapaikoista?
- 6) Onko teillä ideoita, millä ratkaista jälkituentaan liittyvät haasteet ja varmistaa alapuolisten rakenteiden kestävyys? (Muottien omasta painosta, muottien tukireaktioista ja valupaineesta johtuva lisäkuorma)
- 7) Johtuuko monimutkaisten rakenteiden ja muotojen suunnittelu arkkitehdistä? Pystyttekö vaikuttamaan arkkitehdin suunnittelemiin muotoihin vai onko rakennesuunnittelu toteutettava täysin arkkitehdin suunnittelun mukaan? (Huoli siitä, ettei muottien optimaalinen käyttö toteudu monimutkaisista suunnitelmista johtuen.)
- 8) Miten ratkaisisitte työsaumojen kanssa esiintyvät hankaluudet?
- 9) Onko yksinkertaistetun, sovellettavan valusauman detaljin piirtäminen mahdollista vai onko jokainen valusauma suunniteltava erikseen?
- 10) Vapaa sana

Muottisuunnittelijoille:

- 1) Kuinka paljon rakennesuunnitteluvaiheessa teihin ollaan yhteydessä/teiltä kysytään mielipidettä rakenteiden muotitukseen liittyen?
- 2) Onko teillä konkreettisia keinoja, miten muottisuunnittelijat ja betonirakennusurakoitsijat voitaisiin sisällyttää rakennushankkeeseen jo rakennesuunnitteluvaiheessa?
- 3) Pitäisikö mielestänne muottitekniikka huomioida mieluummin ennen rakennesuunnittelun aloitusta (esim. muottitoimittajien esittelyillä, taulukoilla) vai rakennesuunnitteluvaiheen aikana eli rakennesuunnittelijat istuisivat samaan pöytään betoniurakoitsijan kanssa ja keskustelisivat valitusta muotitustekniikasta, sen hyödyistä ja ongelmapaikoista?
- 4) Onko teillä ideoita, millä ratkaista jälkituentaan liittyvät haasteet ja varmistaa alapuolisten rakenteiden kestävyys? (Muottien omasta painosta, muotinpaineesta ja valupaineesta johtuva lisäkuorma)
- 5) Miten ratkaisisitte työsaumojen kanssa esiintyvät hankaluudet?
- 6) Vapaa sana

Työmaan toimihenkilöille

- 1) Kuinka paljon koette rakennesuunnittelijoiden huomioivan käyttämänne muottijärjestelmän?
- 2) Miten toimitte tilanteessa, jossa rakennesuunnitelmaa ei ole mahdollista toteuttaa käyttämälläne muottijärjestelmällä? Pystytekö vaikuttamaan asiaan?
- 3) Onko teillä konkreettisia keinoja, miten muottisuunnittelijat ja betonirakennusurakoitsijat voitaisiin sisällyttää rakennushankkeeseen jo rakennesuunnitteluvaiheessa?
- 4) Pitäisikö mielestänne muottitekniikka huomioida mieluummin ennen rakennesuunnittelun aloitusta (esim. muottitoimittajien esittelyillä, taulukoilla) vai rakennesuunnitteluvaiheen aikana eli rakennesuunnittelijat istuisivat samaan pöytään betoniurakoitsijan kanssa ja keskustelisivat valitusta muotitustekniikasta, sen hyödyistä ja ongelmapaikoista?
- 5) Onko teillä ideoita, millä ratkaista jälkituentaan liittyvät haasteet ja varmistaa alapuolisten rakenteiden kestävyys? Muottien omasta painosta, muottipaineesta ja valupaineesta johtuva lisäkuorma.
- 6) Miten ratkaisisitte työsaumojen kanssa esiintyvät hankaluudet?
- 7) Vapaa sana

RAKENNESUUNNITTELUN JA PAIKALLAVALURAKENTAMISEN MUOTTITEKNIIKAN YHTEENSOVITTAMISEN PARANTAMISEN KEINOT

Rakennesuunnittelun ja paikallavalurakentamisen muottitekniikan yhteensovittamisen parantamisen eri toimenpiteitä	
Haasteet	Ratkaisuehdotus
Rakennesuunnittelijoiden tietämys muosteista ei riittävällä tasolla (ei opeteta tarpeeksi kouluissa)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Tunnistetaan tarve, että muottitietämystä on lisättävä 2) Muottitekniikan opetuksen lisääminen kouluissa 3) Taulukot, joissa on esitelty yleisimmin käytetyt muottityypit, niiden tarpeet, edut ja haasteet 4) Muottitoimittajien toteuttamat esittelykäynnit ja koulutukset suunnittelutoimistoihin 5) Muottityyppien mallintaminen 3D-mallinnusohjelmiin
Rakennesuunnittelijat eivät välttämättä tiedä käytettävää muottityyppiä rakennesuunnitteluvaiheessa	<ol style="list-style-type: none"> 1) Urakoitsijoiden mukaan ottaminen hankkeisiin mahdollisimman varhaisessa vaiheessa 2) Rakennesuunnittelijat tuovat tilaajalle enemmän ilmi muottitekniikan konsultointitarvetta
Urakoitsijat eivät pääse vaikuttamaan, jonka seurauksena muottityö ei ole työteknisesti optimaalista (esim. valusaumojen osalta)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Urakoitsijoiden mukaan ottaminen rakennusvaiheeseen mahdollisimman varhaisessa vaiheessa 2) Kun rakenteista on tehty alustaviasuunnitelmia, pidetään palaveri suunnittelijoiden ja urakoitsijoiden kanssa (mahdollisesti myös valitun muottitoimittajan kanssa), jossa käydään läpi työmaalla käytettävä muottityyppi, ja tehdään edotuksia valusaumoista ja niiden mahdollisista paikoista

	3) Kommunikaation lisääminen urakoitsijoiden, rakennesuunnittelijoiden ja muottitoimittajien välillä
Jälkituennasta aiheutuvat haasteet (jälkituennan mitoituksen ristiriitaisuus)	1) Jälkituentatarpeen esille tuominen ja ymmärtäminen 2) Jälkituennasta olisi hyvä tehdä lisää tutkimusta. Hajanaisia mitoitusohjeita olisi hyvä koota yhteen, jotta saataisiin yhtenäistä hyödynnettävää materiaalia ja ohjeita, miten jälkituentaa toteutetaan → Hyvä tulevan opinnäytetyön aihe