

Säde Viljanen

BETONIELEMENTTIEN LAATUPOIKKEAMAT RAKENNUSTYÖMAALLA

Opinnäytetyö

Tekniikan ammattikorkeakoulututkinto

Rakennustekniikka

2023



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Säde Viljanen
Työn nimi	Betonielementtien laatupoikkeamat rakennustyömaalla
Toimeksiantaja	SRV Rakennus Oy
Vuosi	2023
Sivut	52 sivua, liitteitä 4 sivua
Työn ohjaaja(t)	Viivi Etholén ja Sirpa Laakso

TIIVISTELMÄ

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin betonielementtien laatupoikkeamia rakennustyömaalla. Tutkimuksen kohteena oli toimeksiantaja SRV Rakennus Oy:n rakennuskohteen betonielementit Kangasalan Ruutanan koulukeskushankkeessa. Lähtökohtana opinnäytetyölle oli toimeksiantajan tarve selvittää missä kohtaa rakennusprosessia betonielementteihin syntyy laatupoikkeamia. Betonielementtitoimitusprosessi on pitkä ja hajaantunut ketju, joka kärsii usein heikosta kommunikaatiosta eri toimijoiden välillä ja on altis virheille. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuottaa toimeksiantajalle tietoa betonielementtien laatupoikkeamista. Tuotetun tiedon avulla toimeksiantaja pystyy kehittämään omia toimintatapojaan sekä yhteistyötä muiden osapuolten kanssa laatupoikkeamien määrän vähentämiseksi.

Opinnäytetyö toteutettiin tapaustutkimuksena, jossa käytettiin laadullisia ja määrällisiä tutkimusmenetelmiä. Teoreettisen tiedon keruussa hyödynnettiin työmaavierailua, alan julkaisuja sekä aihetta koskevia ohjeita, määräyksiä ja lakeja. Opinnäytetyössä toteutettiin kaksi tutkimusta, havaintotutkimus työmaalla ja kyselytutkimus koskien betonielementtirakentamista. Työmaalla havaitut betonielementtien laatupoikkeamat, niiden syntyajankohta ja niitä seuraavat toimenpiteet tilastoitiin ja analysoitiin. Kyselytutkimus toteutettiin sähköisellä Webropol-tiedonkeruujärjestelmällä. Vastaukset koostettiin vastaajan työnkuvan mukaan ryhmittäin ja yleisimpiä teemoja nostettiin näkyviin tilastoinnin avulla.

Tutkimuksessa kävi ilmi, että kohteen betonielementeistä neljässä prosentissa on laatupoikkeamia. Noin puolet laatupoikkeamista olivat suunnittelussa tai elementtitehtaalla aiheutuneita virheitä elementeissä ja loput työmaan aikaisia kolhuja. Kyselytutkimukseen vastasi yhteensä 26 henkilöä ja he edustivat kaikkia betonielementtirakentamisen sidosryhmiä. Tärkeimpinä teemoina vastauksissa nousivat esille suunnittelun ohjauksen ja yhteistyön merkitys projektiin alusta alkaen.

Toimeksiantajan kannalta opinnäytetyön tärkeimmät tulokset olivat betonielementeissä havaittujen laatupoikkeamien tilastointi sekä rakentamiseen osallistuvien sidosryhmien antamat vastaukset. Tutkimuksen aikana huomattiin tarve elementtien vastaanottolomakkeelle, jotta laatupoikkeamista aiheutuvat lisäkustannukset voidaan kohdistaa oikein.

Asiasanat: betonielementti, laadunvalvonta, laatupoikkeama

Degree title	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Säde Viljanen
Thesis title	Quality Deviations of Precast Concrete Elements at a Construction Site
Commissioned by	SRV Rakennus Oy
Time	2023
Pages	52 pages, 4 pages of appendices
Supervisor	Viivi Etholén and Sirpa Laakso

ABSTRACT

This thesis examined the quality deviations of precast concrete elements at a construction site. The commissioner for this thesis was SRV Rakennus Oy and object of research was precast concrete elements at their site. The basis for the study was the commissioner's need to find out the origin of quality deviations in precast concrete elements. The precast concrete delivery process is a long and fragmented chain that often suffers from poor communication between different operators and is prone to errors. The main goal of the thesis was to produce information for the commissioner about deviations of precast concrete elements. With the help of the information produced, the client can develop its own operating methods and cooperation with other parties in order to reduce the number of quality deviations.

The research method of the thesis was a case study applying both qualitative and quantitative research methods. Data collection included site visits and getting acquainted with publications in the construction sector, instructions, laws and regulations. The thesis included an observational study at the construction site and a survey with the topic of precast concrete construction. The study included statistics of quality deviations detected at the construction site, when quality deviations have occurred and what measures are caused by the quality deviation. The survey was carried out with Webropol online survey program. The answers were compiled in groups according to the respondent's job description and the most common themes were highlighted using statistics.

The study revealed that four per cent of the concrete elements at the site have quality deviations. About half of the quality deviations are design or element factory errors and the rest are on-site errors. A total of 26 people responded to the survey, and they represent all parties involved in element construction. The most important topics highlighted were the importance of design management and the importance of information flow in projects.

From the point of view of the commissioner, the most important results of the thesis were the statistics of the quality deviations observed and the answers given by parties involved in construction. During the study, the need for an element acceptance form was noticed, so that the additional costs caused by quality deviations can be correctly allocated.

Keywords: precast concrete element, quality control, quality deviation

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	TUTKIMUKSEN TAUSTAT	7
2.1	Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimusmenetelmät	8
2.2	Lähde- ja tutkimusaineisto	9
3	BETONIELEMENTTIRAKENTAMINEN	9
3.1	Betonielementtirakentamisen historia	10
3.2	Lait ja standardit	11
3.3	Rakennustuotteet, CE-merkintä ja kansalliset hyväksyntämenettelyt	12
4	BETONIELEMENTTIRAKENTAMISEN PROSESSI	14
4.1	Betonivalmisosatoimitusten toimintamalli	15
4.2	Elementtitoimitusprosessi	15
5	LAADUNVARMISTUS	17
5.1	Laadunvarmistus työmaalla	18
6	BETONIELEMENTTIRAKENTAMISEN LAATUONGELMAT KIRJALLISUUDEN PERUSTEELLA	19
6.1	Sallitut mittapoikkeamat	21
6.2	Betonipinnan ulkonäkövaatimukset	23
7	CASE RUUTANAN KOULUKESKUS UUDISRAKENNUS	23
8	TUTKIMUSMENETELMÄT	24
8.1	Analysointimenetelmät ja tutkimuksen luotettavuus	28
9	TUTKIMUSTULOKSET	29
9.1	Havainnot betonielementeissä	30
9.2	Kyselytutkimus	32
9.2.1	Mikä on mielestäsi hyvää ja toimivaa betonielementtirakentamisessa tällä hetkellä?	33
9.2.2	Mitä haasteita ja ongelmia kohtaat betonielementtirakentamisessa?	35
9.2.3	Miten havaittuihin haasteisiin ja ongelmiin reagoidaan yksikössäsi?	37

9.2.4	Millä toimenpiteillä varmistatte laadukkaan betonielementtirakentamisen?	38
9.2.5	Miten kehittäisitte betonielementtirakentamista?	40
9.2.6	Miten kehittäisitte yhteistyötä eri toimijoiden välillä?	41
9.2.7	Onko sinulle jäänyt jokin erityisen hyvä tai huono kokemus betonielementtirakentamisesta mieleen?.....	43
10	TULOSTEN TULKINTA JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET	44
11	POHDINTA	48
	LÄHTEET.....	50
	LIITTEET	

Liite 1. Havaintolomake

Liite 2. Kyselytutkimus

1 JOHDANTO

Betonielementti on rakentamisessa käytetty teollinen valmisosa. Betonielementtirakentaminen on parhaimmillaan laadukasta, tehokasta ja kuluja säästävää. Jos betonielementissä havaitaan laatupoikkeama, eli elementti ei täytäkseen asetettuja vaatimuksia rakennustyömaalla, se pitää korjata tai vaihtaa. Laatupoikkeamista seuraa viivästyksiä aikatauluun sekä lisätöistä aiheutuvia kustannuksia. Laatupoikkeaman syyn määrittäminen on olennaista, jotta poikkeamasta aiheutuvat kustannukset voidaan kohdistaa oikein. Betonielementtien toimitusprosessi on laaja ja hajaantunut ketju, joka kytkee toisiinsa rakennuttajan, suunnittelijan, elementtitoimittajan ja rakennusliikkeen. Prosessi kärsii usein heikosta kommunikaatiosta eri toimijoiden välillä ja on altis virheille.

Tämä opinnäytetyö tutkii betonielementtien laatupoikkeamia rakennustyömaalla. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli SRV Rakennus Oy ja tutkimuskohdeena oli Kangasalla sijaitseva Ruutanankouluhankkeen uudisrakennus. Lähtökohtana opinnäytetyölle oli toimeksiantajan tarve selvittää missä kohtaa rakennusprosessia betonielementteihin syntyy laatupoikkeamia.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tuottaa tietoa betonielementtien laatupoikkeamista. Tutkimuskohteen betonielementit tarkasteltiin ja betonielementtien laatupoikkeamista raportoitiin laatupoikkeaman syntyajankohta sekä poikkeamasta aiheutuva toimenpide. Lisäksi laatupoikkeamaa ja sen syntymissyitä kuvailtiin, jotta laatupoikkeaman juurisyy tunnistetaan ja työtapojen kehittäminen laatupoikkeamien vähentämiseksi on mahdollista.

Työmaalla toteutetun havaintotutkimuksen lisäksi toteutettiin kyselytutkimus, jonka tarkoituksena oli tuottaa tietoa kaikkien betonielementtirakentamiseen osallistuvien osapuolten kokemuksista. Yhteistyön merkitystä painotetaan Maankäyttö- ja rakennuslaista lähtien, joten elementtirakentamisen prosessin kehittämisessä on huomioitava kaikki betonielementtirakentamiseen osallistuvat sidosryhmät. Syitä betonielementtien laatuongelmiin haluttiin tarkastella mahdollisimman monipuolisesti, jotta toimeksiantaja saisi merkityksellistä tietoa, jonka avulla toimeksiantaja voi ryhtyä kehittämään toimintaansa laatupoikkeamien vähentämiseksi.

2 TUTKIMUKSEN TAUSTAT

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli SRV Rakennus Oy. Rakennuskohteen betonielementtiasennukset alkoivat heinäkuussa 2023 ja asennusten alusta lähtien työmaalle saapuneissa elementeissä havaittiin valmistuksessa tapahtuneita virheitä, kuten eroja sallituista mittapoikkeamista tai puutteita pinnan laadun vaatimuksissa. Kuvassa 1 on esitettyä kuorielementti, joka jouduttiin hylkäämään pinnan virheiden takia. Lisäksi elementeistä löytyi rakennustyömaalla syntyneitä kolhuista johtuneita ulkonäkövirheitä. Toimeksiantajalle syntyi tarve selvittää, missä vaiheessa elementtirakennusprosessia betonielementtien laatupoikkeamat syntyvät ja sitä kautta lähteä kehittämään toimintatapoja laatupoikkeamien määrän vähentämiseksi. Toimeksiantajan kannalta oli myös oleellista voida määrittää, kenelle laatupoikkeamasta aiheutuvat lisäkustannukset kuuluvat.



Kuva 1. Julkisivuelementin yläreunassa näkyy muotin raja. (Kuva: Säde Viljanen 2023)

Elementtitoimitusketju on monivaiheinen ja laatupoikkeamien syitä voivat olla niin virheet annetuissa suunnittelun lähtötiedoissa kuin elementtien vääränlainen varastointi työmaalla. Laatuongelmat elementeissä johtavat lähes poikkeuksetta lisätyöhön ja kustannusten nousuun. Elementtejä joudutaan korjaamaan ja pahimmassa tapauksessa palauttamaan työmaalta elementtitehtaalalle. Jos esimerkiksi betonielementin pinnan lohkeamia ei havainnoida heti

elementin saavuttua työmaalle, on reklamointi mahdotonta, kun ei voida osoittaa, etteivät virheet ole syntyneet työmaalla.

2.1 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimusmenetelmät

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, missä kohtaa rakennusprosessia betonielementteihin syntyy laatupoikkeamia sekä löytää toimeksiantajalle kohteita ja keinoja kehittää omaa toimintaansa. Tutkimuksen tavoitteena oli tuoda esiin, milloin elementtien laatupoikkeamat syntyvät sekä miten laatupoikkeama vaikuttaa rakentamiseen. Lisäksi tutkimuksessa selvitettiin betonielementtirakentamisen sidosryhmien suhtautumista elementtirakentamisen haasteisiin ja kehittämiseen. Opinnäytetyön tulosten on määrä toimia lähtökohtana toimeksiantajan jatkokehittämistyölle laatuongelmien vähentämiseksi.

Opinnäytetyö toteutettiin tapaustutkimuksena, jossa yhdistettiin kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Betonielementtien laatupoikkeamia havainnointiin työmaalla kvantitatiivisessa tutkimuksessa, jossa tilastoitiin missä vaiheessa prosessia laatupoikkeamat syntyvät. Lisäksi tutkimuksessa havainnointiin laatupoikkeaman vaikutusta betonielementin käyttöön ja kerättiin sanallista tietoa poikkeamasta.

Tavoitteiden saavuttamiseksi opinnäytetyössä toteutettiin myös kyselytutkimus. Kyselytutkimuksen tarkoituksena oli selvittää betonielementtirakentamiseen osallistuvien sidosryhmien ajatuksia elementtirakentamisesta. Kyselytutkimuksessa kerättiin tietoa prosessin ongelmista, yhteistyöstä eri toimijoiden välillä ja näkemyksistä kehityskohteiden suhteen. Kyselytutkimus toteutettiin Webropol-tiedonkeruujärjestelmällä.

Kehitystyön konkreettisenä tuotoksena laadittiin toimeksiantajalle raportti kohteen betonielementtien laatuongelmista sekä kooste kyselytutkimuksen vastauksista. Laatupoikkeamien syntyyn johtavia syitä arvioitiin ja prosessiin liittyviä kehityskohtia havaittiin tutkimuksen aikana ja ne on esitetty toimeksiantajalle toimenpide-ehdotuksina.

2.2 Lähde- ja tutkimusaineisto

Tämän opinnäytetyön teoriaosan lähdeaineistona käytettiin betonirakentamiseen liittyvää kirjallisuutta ja verkkomateriaalia, alan toimijoiden julkaisuja, RT-kortistoa ja artikkeleita sekä betonirakentamista ohjaavia lakeja ja standardeja. Aikaisempiin aiheeseen liittyviin tutkimuksiin tutustuttiin Google Scholarin hakukoneen ja yliopistojen arkistojen avulla. Lähteinä on pyritty käyttämään mahdollisimman uusia, ajan tasalla olevia julkaisuja.

Aiheeseen tutustuttaessa on hyödynnetty myös SRV Rakennus Oy:n asiakirjoja kuten asennussuunnitelmaa, mallielementtikatselmusta ja reklamaatioita. Tutkimuksen aikana tehtiin työmaavierailuja, jolloin oli mahdollisuus havainnoida työmaata ja keskustella työmaan henkilökunnan kanssa.

3 BETONIELEMENTTIRAKENTAMINEN

Betonielementti on muualla kuin sen lopullisessa käyttöpaikassa valmistettu tuote, joka on tuotannon aikana suojattu huonoilta sääolosuhteilta ja on teollisen prosessin lopputulos (SFS-EN 13369:2018). Elementtirakentamiselle on tyypillistä useiden osapuolten tiivis yhteistyö sekä tehokas, nopea ja laadukas rakentaminen. Betonielementeillä voidaan toteuttaa pinta- ja rakenneratkaisuja, jotka eivät muuten olisi mahdollisia. (Laitinen 1996, 3.)

Elementtirakentamisella päästään resurssitehokkaaseen lopputulokseen. Tehtaalla tuotetuissa elementeissä materiaalihukka on pienempi ja materiaali-tehokkuus parempi. Teollinen ympäristö myös vähentää työtaturmien määrää. Elementtirakentamisessa runkovaihe on lyhyt ja tilat saadaan säältä suojaan nopeasti. Myös sisävalmistusvaihe nopeutuu, kun rungon kuivatus jää vähäisemmäksi. Rakennustontit ovat usein ahtaita, joten varastointiongelmat vähenevät, kun työmaalla ei tarvita valuun käytettäviä työkaluja ja raaka-aineita. Esijännitetyt betonielementit mahdollistavat pitkät jännevälit, jotka sallivat rakennuksen monikäyttöisyyden ja monimuotoisuuden. (Betoniteollisuus ry 2020c; Yee 2001.)

Elementtien käyttäminen lyhentää rakennusaikaa ja näin pienentää kokonaiskuluja. Käyttämällä korkeaa esivalmistusastetta voidaan vähentää täydentävien töiden määrää. Myös vakioitujen optimaalisiksi kehitettyjen elementtivaihtoehtojen käyttö tuo säästöjä, kun ei tarvitse riskillä keksiä uutta. (Betoniteollisuus ry 2020c.)

3.1 Betonielementtirakentamisen historia

Betonirakentaminen yleistyi 1900-luvun alussa Pariisin maailmannäyttelyssä esiteltyjen innovaatioiden myötä. Maailmansotien jälkeen syntyi tarve rakentaa taloudellisesti ja tehokkaasti. Ratkaisu löytyi jo ennen sotia tutkitusta elementtitekniikasta. Suomen betoniteollisuutta alettiin kehittämään elementtitekniologialla ja ensimmäiset elementtivalmisteiset kohteet rakentuivat 1950-luvulla. 1968–1970 Suomessa kehitettiin BES-järjestelmä, jossa standardoitiin betonielementit ja niiden liitosdetaljit. BES-järjestelmä mahdollisti halvan ja nopean asuntotuotannon, jossa kuitenkin rakennusmiljöön laatu jäi jalkoihin. Betonirakentajat pystyivät vastaamaan kaupungistumisesta seuranneeseen asutokesyntään suur- ja pöytämuottitekniikalla sekä kenttävalimoilla, joissa valmistettiin ensimmäiset sandwich-julkisivuelementit. 1980-luvulla laadittiin Runko-BES -aineisto, jossa standardointia jatkettiin teollisuus- ja toimitilarakentamisen puolelle. 1990-luvulta lähtien ovat arkkitehtuuri, rakennuksen ominaisuudet, ympäristövaikutukset ja elinkaarikustannukset ohjanneet betonirakentamisen kehitystä. Nykypäivänä betonirakentamisen tehokkuutta, tuottavuutta ja laatua lisää tietotekniikka, eli sähköinen tiedonsiirto ja -hallinta sekä tietokoneavusteinen suunnittelu. (Betoniteollisuus ry 2020b.)



Kuva 2. Petri Aaltosen kuvassa Hervannan kerrostalolähiöstä ilmentyy hyvin 1960–1970-luvuille tyypillinen elementtirakentaminen. Tavoitteena oli rakentaa nopeasti ja edullisesti. (Kuva: Aaltonen 2016)

Kuvassa 2 kiteytyy 1960–1970-luvuille elementtitalojen massatuotanto metsän keskelle pystytetyissä lähiöissä. Rakennusten pohjakuvat olivat yleispäteviä ja talot toistensa kopioita.

3.2 Lait ja standardit

Maankäyttö- ja rakennuslain (1999/132) mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan säännösten ja määräysten mukaisesti. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on käytettävä pätevää henkilöstöä sekä huolehdittava, että rakennustyössä käytettävät rakennustuotteet täyttävät asetetut vaatimukset.

Rakentamista ohjaavat lait ja annetut säädökset määrittävät vähimmäisvaatimukset, jotka täytyy täyttää. Maankäyttö- ja rakennuslakiin on määritelty rakentamisen lupamenettely ja viranomaisvalvonta, sekä rakentamista koskevat yleiset edellytykset ja olennaiset tekniset vaatimukset. Tarkemmat asetuksena annettavat säännökset sekä niitä täydentävät ministeriön ohjeet on koottu Suomen rakentamismääräyskokoelmaan. Näitä vaatimuksia tarkentavat viranomaismääräykset, kuten kuntien rakennusvalvontojen asettamat vaatimukset.

Lisäksi suunnittelua, rakennustuotteiden ja -materiaalien valmistusta sekä testausta ohjaavat eurooppalaiset yhdenmukaiset standardit sekä kansalliset liitteet, joissa huomioidaan muun muassa paikalliset olosuhteet. Standardien lisäksi eri yhteisöt ja yhdistykset ovat laatineet hyvää rakennustapaa ohjeistavia julkaisuja ja normeja. (Suomen betoniyhdistys 2019.)

Betonistandardit voidaan yleisesti jakaa neljään eri tyyppiin: suunnittelu-, tuote-, testaus- ja toteutusstandardit. Suomessa betonistandardointia ja valtaosaa rakennusalan standardoinnista hoitaa Rakennustuoteteollisuus. (Betonteollisuus ry 2023b.)

Rakennusmateriaalina on käytettävä CE-merkinnällä tai suomalaisella rakennustuotteita koskevalla tuotehyväksynnällä merkityjä tuotteita. Rakentamisen lopputulokseen vaikuttaa suunnittelijoiden sekä työmaiden ja tehtaiden työntekijöiden osaaminen, joten rakentamisen laadun varmistukseksi on määritelty kohteen ja tehtävän vaatimustason mukaiset pätevyysvaatimukset. (Suomen betoniyhdistys 2019.)

3.3 Rakennustuotteet, CE-merkintä ja kansalliset hyväksyntämenettelyt

Rakennushankkeeseen ryhtyvän on huolehdittava siitä, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan lain vaatimuksia vastaavaksi. Rakennustuotteita ovat rakennuksen kiinteät osat, kuten betonielementit. Maankäyttö- ja rakennuslaissa (1999/132) on säädetty olennaiset tekniset vaatimukset rakennustuotteiden:

- käyttöturvallisuudelle
- terveellisyydelle
- rakenteiden lujuudelle ja vakaudelle
- esteettömyydelle
- meluntorjunnalle
- energiatehokkuudelle
- paloturvallisuudelle

CE-merkintä vaaditaan kaikilta rakennustuotteilta, joilla on harmonisoitu tuotestandardi. CE-merkinnän avulla tuotteen valmistaja voi vakuuttaa, että tuot-

teen ominaisuudet on ilmoitettu eurooppalaisen harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen hyväksynnän mukaisesti. CE-merkinnän tavoitteena on mahdollistaa valmistajan ilmoittamien tuotteen ominaisuuksien vertailu rakennuskohteen vaatimuksiin. Kun tuotteen ominaisuudet on aina merkitty yhdenmukaisesti, on eri valmistajien tuotteita helpompi vertailla. Tämä parantaa valmistajien välistä kilpailua ja rakennustuotteiden liikkuvuutta. Jos tuotteella ei ole harmonisoitua tuotestandardia, voi CE-merkinnän hankkia eurooppalaisen teknisen arvioinnin eli ETA:n avulla. (Ympäristöministeriö 2013.)

Jotta CE-merkinnän saa kiinnittää, on tuotteelle laadittava suoritustasoilmoitus (DoP). Suoritustasoilmoituksessa on käytävä ilmi kaikki ominaisuuksien arviot, joita tarvitaan kansallisten viranomaissäädösten täyttämiseen eli

- valmistajan nimi ja osoite
- tuotetyypin yksilöllinen tunniste
- viittaus harmonisoituun tuotestandardiin tai ETA:an
- ominaisuuksien ilmoitetut suoritustasot käyttökohteittain
- rakennustuotteet aiottu käyttötarkoitus
- käytetyt suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmennusjärjestelmät (AVCP)
- mahdollisesti käytettyjen ilmoitettujen laitosten nimet
- valmistajan allekirjoitus ja päivämäärä

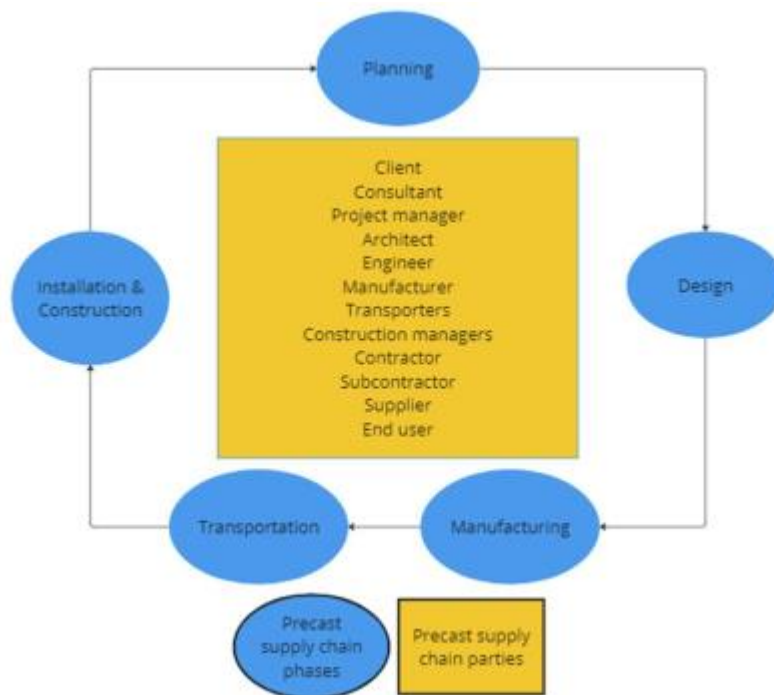
Suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuja ominaisuuksien arvoja verrataan kansallisiin vaatimuksiin ja näin voidaan selvittää, onko rakennustuote soveltuva käytettäväksi rakennuskohteessa. (Ympäristöministeriö 2013.)

Kansallisia hyväksymismenettelyitä käytetään Suomessa niille rakennustuotteille, joissa ei voida käyttää CE-merkintää. Laissa eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (2012/954) säädetään menettelyistä, joiden avulla voidaan todeta, täyttääkö rakennustuote maankäyttö- ja rakennuslaissa säädetyt olennaiset tekniset vaatimukset. Kelpoisuus voidaan todeta tyyppihyväksynnällä, varmennustodistuksella tai valmistuksen laadunvalvonnalla. Suomessa on myös käytössä rakennuspaikkakohtainen varmentaminen, jolloin rakennusviranomaisen voi varmistaa, että rakennustuote on turvallinen ja soveltuu käytettäväksi kyseisessä kohteessa. Rakennuspaikkakohtaista varmentamista

voidaan edellyttää, jos valmistaja ei ole esittänyt rakennustuotteen ominaisuuksia millään tavalla ja rakennusvalvontaviranomaisella on syytä epäillä, ettei tuotteen tekniset vaatimukset täyty. (Ympäristöministeriö s.a.)

4 BETONIELEMENTTIRAKENTAMISEN PROSESSI

Rakentamisen osapuolten kokoonpano ja vastuunjako vaihtelevat eri projekteissa ja projektimuodoissa. Osapuolina saattaa olla erillisiä toimijoita tai sama toimija voi olla useassa roolissa. Esimerkiksi rakenteiden pääsuunnittelija voi olla myös elementtisuunnittelija tai rakennuttaja voi olla myös urakoitsija. (Laitinen 1996, 31.)



Kuva 3. Elementtitoimitusketju ja sen osapuolet. Betonielementtirakentaminen on monitahoinen prosessi, joten tiedonkulku eri toimijoiden välillä on tärkeää. (Kuva: Abedi ym. 2016)

Betonielementtiprojektin onnistumiseksi tiedonkulun ja aikataulutuksen tulee olla sujuvaa. Kuvassa 3 on listattuna projektin osapuolet ja havainnollistettu tiedonkulunvaatimusta sidosryhmien välillä. Tiedonsiirron ja elementtitoimitusketjun hallinnan tukena on nykyään käytössä BIM eli rakennuskohteen tietomallinnus. Yhteinen työkalu mahdollistaa monimutkaisten projektien toteuttamisen tehokkaasti. (Abedi ym. 2016.)

4.1 Betonivalmisosatoimitusten toimintamalli

Betonikeskus ry ja Talonrakennusteollisuus ry ovat yhdessä laatineet ohjeen betonielementtien suunnittelusta, toimituksista ja asennustyön ohjauksesta. Ohjeen tarkoitus on tuoda esiin hyviä pelisääntöjä ja menettelytapoja, joita noudattamalla betonielementtitoimitukset voidaan toteuttaa aikataulussa ja ilman lisäkustannuksia. Tiivistettynä ohjeen sisältö on:

- Hankkeessa tulee käyttää YSE- ja RYHT- yleisiä sopimusehtoja
- Tee tarkat suunnittelu-, elementtitoimitus- ja asennusurakkasopimukset
- Noudata Rakennusteollisuuden eettisiä pelisääntöjä
- Suunnittele realistinen ja riittävän tarkka toteutusaikataulu
- Ohjaa elementtisuunnittelua
- Varaa aikaa sopimusneuvotteluun, suunnitelmakatselmukseen, tehdaskatselmukseen ja asennustyön aloituskokoukseen
- Varaudu toimituksen riskeihin
- Käytä projektin ohjauksen tukena lomakkeita
- Sovi alkuperäisessä sopimuksessa lisätöistä ja muista poikkeamista
- Sovi etukäteen esim. laatupoikkeamien tai toimitusten siirtymisestä aiheutuneista taloudellisista seuraamuksista
- Panosta yhteistyöhön ja informoi sopimusosapuolta
- Hyvin laaditut sopimukset ja ennakkosuunnittelu nostaa kaikkien osapuolten tuottavuutta ja kilpailukykyä. (Betoniteollisuus ry 2023a.)

Ohjeessa on viitattu useisiin elementtisuunnittelu.fi -sivustolta löytyviin erillisohjeisiin ja lomakkeisiin. Elementtisuunnittelu.fi -sivuston on määrä vakiinnuttaa elementtisuunnittelun toimintamalleja ja ratkaisuja.

4.2 Elementtitoimitusprosessi

Elementtitoimitusprosessi lähtee liikkeelle tilaajan tekemästä tarjouspyynnöstä. Tarjouspyynnöstä tulisi käydä ilmi kaikki hankkeen suorittamiseen ja hinnoitteluun vaikuttavat tekijät. Tavallisesti tarjouspyynnön laatii kohteen pääsuunnittelija. Tarjouspyynnön asiakirjojen tulisi sisältää:

- tarjouspyyntö
- sopimusehdot
- urakkarajaliite
- urakkaohjelma
- alustava toimitusaikataulu
- elementtityöselostus
- suunnittelun tehtävänjako

- piirustukset ja detaljit
- määräluettelot
- maksu- ja mittausperusteet
- toimituksen sisältö ja rajaus
- rakennuttajan turvallisuusasiakirjat
- takausmallit. (Betoniteollisuus ry 2012.)

Tilaaaja vastaa asiakirjojen oikeellisuudesta. Lähtötietojen ollessa yksiselitteiset ja kattavat, on eri tarjouksien vertailu mahdollista. (Betoniteollisuus ry 2012.)

Tarjous annetaan tarjouspyynnön mukaisesti. Tarjouspyynnöstä poikettaessa se on tuotava selkeästi esille. Tarjouksessa esitettävät varaukset on siirrettävä myös varsinaiseen sopimukseen. (Betoniteollisuus ry 2012.)

Ennen sopimuksen solmimista pidetään urakkaneuvottelu, jossa käydään läpi toimituksen sisältö yksityiskohtaisesti. Elementtien toimitusajat sovitaan ja neuvottelussa sovitut muutokset viedään myös toteutus suunnitelmiin. Sopimusta tehdessä tulee sopia ja kirjata kaikki epäselvät asiat sekä määrittää osapuolten vastuut. Sopimuksesta tulee selvittää perustiedot kuten määrä, hinta ja takuu. Lisäksi sopimuksessa on otettava kantaa muun muassa poikkeamailmoituskäytäntöön, ilmoitusvelvollisuuteen ja katselmuksiin. (Betoniteollisuus ry 2012.)

Valmistuskuvat lähetetään elementtitehtaalle sovitun aikataulun mukaan niin että ne ovat ajallaan käytettävissä. Toteutusvaiheessa on tärkeää pitää aloituspalaveri ja katselmuksia työmaalla ja tehtaalla riittävän ajoissa. Myös säännöllinen yhteydenpito ja tiedotus työmaan, suunnittelijoiden ja tehtaan välillä on oleellista. Elementtien toimitus tapahtuu sopimuksessa sovitun toimitusaikataulun mukaan. (Betoniteollisuus ry 2012.)

Kun elementit on toimitettu, järjestetään valmisosatoimituksen vastaanottotarkistus, jossa selvitetään toimituksen sopimuksen mukaisuus. On myös suositeltavaa järjestää palautepalaveri, jossa käsitellään toimituksen onnistumiset ja kehittämiskohteet. (Betoniteollisuus ry 2012.)

Koko hankkeen ajan tulee suorittaa suunnittelunohjausta, eli määräysten, tietojen ja ohjeiden luovuttamista toiselle osapuolelle sopimuksenmukaisen tehtävien hoitamisen mahdollistamiseksi. Suunnittelun ohjauksen tarkoitus on varmistaa, että rakennuskohteen suunnitteluprosessi johtaa sille asetettuihin tavoitteisiin. (Heikkilä 2021, 29.)

5 LAADUNVARMISTUS

Laadunvarmistukseen sisältyy kaikki ne toimet, jotka ovat tarpeen, jotta saadaan riittävä varmuus siitä, että tuote tai toimenpide täyttää sille asetetut laatuvaatimukset. Laadukas lopputuote edellyttää, että kaikki osapuolet tekevät yhteistyötä hankkeen alusta lähtien. Laadunvarmistuksen avulla ehkäistään virheitä tai pyritään löytämään ne mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Laadunvarmistuksen avulla on myös mahdollista siirtää informaatiota eri osapuolten välillä. (Suomen betoniyhdistys 2019, 9.)

Betonielementtien valmistuksessa valvotaan, että annettuja määräyksiä ja ohjeita on noudatettu sekä materiaalit ja tuotteet on tarkastettu ja tarkastukset dokumentoitu. Valmistuksessa valvonnan kohtia ovat muotti- ja tukirakenteet, raudoitukset, jännitystyöt, betonin suunnitelmienmukaisuus, betonointi, tiivistäminen, pinnan viimeistely, jälkihoito ja lämpökäsittely. Tarkastukset suoritetaan yleensä silmämääräisesti, mutta toteutusluokassa 2 tarkastuksia täydennetään tärkeimpien rakenneosien systemaattisilla mittauksilla. Toteutusluokassa 3 tehdään yksityiskohtainen tarkastus kaikkiin kantavuuden ja säilyvyyden kannalta merkittäviin rakenneosiin. (Suomen betoniyhdistys 2019, 9–11.)

Betonielementtikuormaa vastaanottaessa mahdolliset laatu puutteet pitäisi kirjata rahtikirjaan tai muuhun dokumenttiin. Elementit tarkastellaan silmämääräisesti ja apuna voi käyttää esimerkiksi Betonikeskus ry:n dokumenttia ”Betonivalmisteiden laatu poikkeamien käsittely”. Esimerkiksi pinnan laadun arvioinnin perusteena voidaan käyttää mallielementtiä, BY 40 ”Betonirakenteiden pinnat” -julkaisua tai muita vastaavia ohjeita. Kun elementtitoimitus on tehty, toimituksen sopimuksenmukaisuus selvitetään vastaanottotarkastuksessa (Betoniteollisuus ry, 2020d.)

Valtaosassa urakoita sovelletaan Rakennusurakan yleisiä sopimusehtoja. YSE 1998:sta selviää kattavasti sopimusosapuolten vastuut ja oikeudet. YSE:n laadunvarmistusosion pykälässä 9 kirjataan tilaajan velvollisuudeksi varmistaa omien sopimusvelvoitteidensa täyttyminen laadunvarmistustoimenpiteillä niin, että urakoitsijalla on niiden puolesta mahdollisuudet täyttää omat suoritusvelvollisuutensa. Pykälässä 10 käsitellään urakoitsijan vastuuta. Urakoitsija on YSE:n mukaan velvollinen noudattamaan tilaajan sopimusasiakirjoissa määrittämiä laadunvarmistustoimenpiteitä. Lisäksi urakoitsijan on tarvittaessa viimeistään ennen työn aloitusta osoitettava miten hän varmistaa suoriutuksensa laadun. Urakoitsijan on korjattava mahdolliset puutteet ja virheet ennen tilaajalle luovutusta. (RT 16-10660: 2016.)

5.1 Laadunvarmistus työmaalla

Standardissa Betonirakenteiden toteutus (SFS-EN 13670: 2010) on määritelty vaatimukset suunnitelmien sisällölle sekä työn toteuttamiselle ja dokumentoinnille. Standardin tarkoitus on ohjata betonirakenteiden toteutusta niin, että saavutetaan suunniteltu turvallisuus- ja käyttökelpoisuustaso. Suomessa standardin SFS-EN 13670 kanssa yhdessä tulee käyttää kansallista liitettä SFS 5975:2019, joka sisältää täydentäviä sääntöjä ja viittauksia.

Rakennustyömaan vastaavalla työnjohtajalla, betonityön johtajalla ja betonielementtien asennustyönjohtajalla pitää olla kohteen vaativuuden mukainen pätevyys ja osaaminen. Betonityönjohtajan on oltava oleellisten työvaiheiden aikaan paikalla. Laissa maankäyttö- ja rakennuslain muuttamisesta 41/2014 on esitetty kelpoisuusvaatimukset työnjohtajalle ja eritysalan työnjohtajalle. (Suomen betoniyhdistys 2019, 91.)

Ennen töiden aloitusta tulee työmaalla järjestää eri osapuolten yhteinen aloituskokous, jossa käsitellään asennussuunnitelma, työmaan olosuhteet, vastuujako, työturvallisuus ja projektin aikataulutilanne (Ratu KI-6029: 2017). Rakennustöiden laatu 2017 (Ratu KI-6029: 2017) -kirjassa ohjeistetaan yksityiskohtaisesti työtä edeltävät ja työn aikaiset laadunvarmistustoimenpiteet. Elementtien varastointia työmaalla tulisi välttää toimitusten oikealla ajoituksella.

Saapuessa elementtien kunto sekä laatu tarkistetaan ja puutteet kirjataan rahtikirjaan. Varastoinnille sekä siirroille ja nostoille on varattava riittävästi tilaa. Asentajien ohjeeksi laaditaan asennussuunnitelma ja nostosuunnitelma. Lisäksi tiedossa on oltava työn aikataulu ja liittyminen muihin töihin. Kaluston tarkastukset ja työturvallisuudesta huolehtiminen on osa laadunvarmistusta työmaalla.

Laadukas elementtiasennus vaatii kaikkien osapuolten panosta. Rakennesuunnittelijan on annettava elementtien asennussuunnitelmaa varten riittävät tiedot asennusjärjestyksestä, väliaikaisesta tuennasta ja lopullisesta kiinnittämisestä niin, että rakenteellinen vakavuus säilyy koko ajan. Suunnittelija antaa myös tiedot turvallisesta nostosta ja käsittelystä. (Betoniteollisuus ry 2020a.)

Sertifikaatti tai CE-merkintä ei automaattisesti takaa, että rakennustuote on kelvollinen vaan vastaanottotarkistuksessa on todettava, että tuote täyttää kohdekohtaiset vaatimukset (Suomen betoniyhdistys 2019, 46).

Toimeksiantajan kohteessa laaditussa betonivalmisosien asennussuunnitelmassa (SRV rakennus Oy 2023) on asennustyön valvonta ja laadunvarmistus kirjattu aliurakoitsijana toimivan asennusyrityksen työnjohtajalle ja pääurakoitsijan betonityönjohtajalle. Asennussuunnitelmaan on myös kirjattu, *että asennusryhmä ilmoittaa poikkeamista ja muutoksista välittömästi työnjohdolle ja tarvittaessa omalle lähimmälle esimiehelleen*. Havaitut virheet kirjataan rahtikirjaan, valokuvataan ja tapauksen mukaan reklamoidaan.

6 BETONIELEMENTTIRAKENTAMISEN LAATUONGELMAT KIRJALLISUUDEN PERUSTEELLA

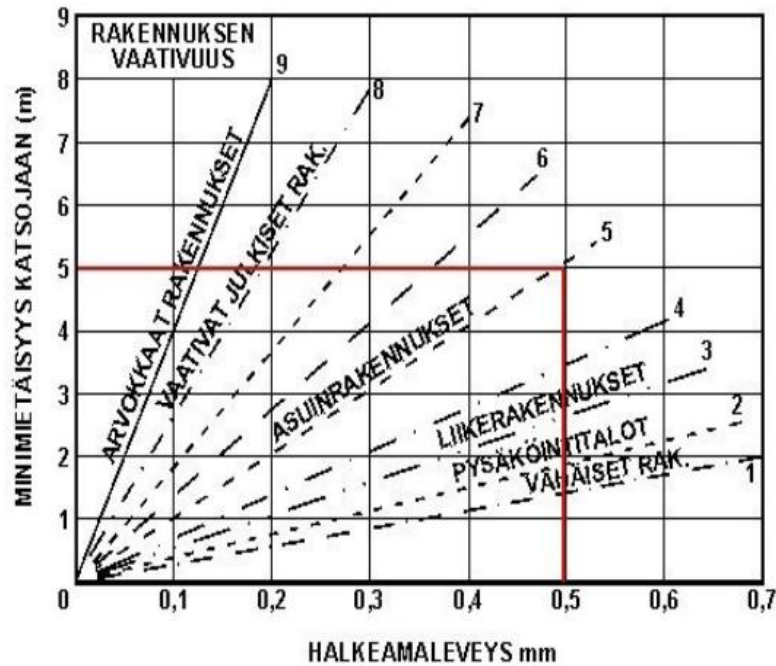
Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustuotannon- ja talouden yksikössä tehtiin keväällä 2012 tutkimus, jonka tavoitteena oli selvittää asuinkerrostalorakentamisen ja elementtitoimitusten tuottavuuden ja laadun kehitystarpeita. Rakennukset ja rakenteet monimutkaistuvat jatkuvasti ja ovat vaikeammin toteutettavissa. Elementeissä tämä näkyy muun muassa kiinnitysdetaljien variaationa, tyyppirakenteiden suurena määränä ja paljon talotekniikan varauksia sisältävinä elementteinä. Vaikka suunnittelun vaatimustaso on kasvanut, ei suunnittelijoiden määrää ole lisätty. Laadukkaan suunnittelun edellytyksenä on

toimiva suunnittelun ohjaus, jossa annetaan suunnittelijoille edellytykset toteuttaa työ. Tutkimuksessa perimmäiseksi syyksi laatuongelmiin kiteytettiin rakennusalan toimintakulttuuri, jossa asiat tehdään kerrasta toiseen samalla tavalla kehityksen tai toimintatapojen muutoksen sijaan. (Koskenvesa & Teriö 2013, 151–154.)

Laatuongelmat vaikuttavat elementin varmuustasoon, säilyvyyteen tai estetiikkaan. Rakenteen kantokyky voi heikentyä esimerkiksi, jos poikkileikkaus pienenee mittaepätarkkuuden vuoksi tai betonin lujuus alittaa suunnittelulujuuden. Vaikka rakenteen varmuuskertoimissa huomioidaan mittapoikkeamat ja betonin normaalit lujuusvaihtelut, on vastaavan rakennesuunnittelijan otettava kantaa missä määrin kantokyky on heikentynyt ja varmuustaso alentunut. (Betonikeskus ry 2006).

Säilyvyyttä koskevat vaatimukset esitetään betoninormeissa. Jos valmistuksessa tapahtuu rakenteen säilyvyyteen ja käyttöikään vaikuttavia laadun alituksia, voidaan rakenteen käyttöikä laskea tarkemmin. Puutteellista terästen suojabetonikerrosta voidaan parantaa erialaisilla pinnoitteilla ja halkeamia voidaan injektoida, eli täyttää tiivistävällä materiaalilla. Jos tavoiteltu käyttöikä ei ole saavutettavissa, on elementti valmistettava uudestaan. (Betonikeskus ry 2006).

Usein kuljetuksessa ja asennuksessa syntyneet vauriot ovat vain esteettisiä ja niitä käsitellään kohdekohtaisten ulkonäkövaatimusten mukaan. Esteettiset puutteet voidaan useimmiten korjata niin, että elementistä tulee vaatimuksia vastaava. (Betonikeskus ry 2006).



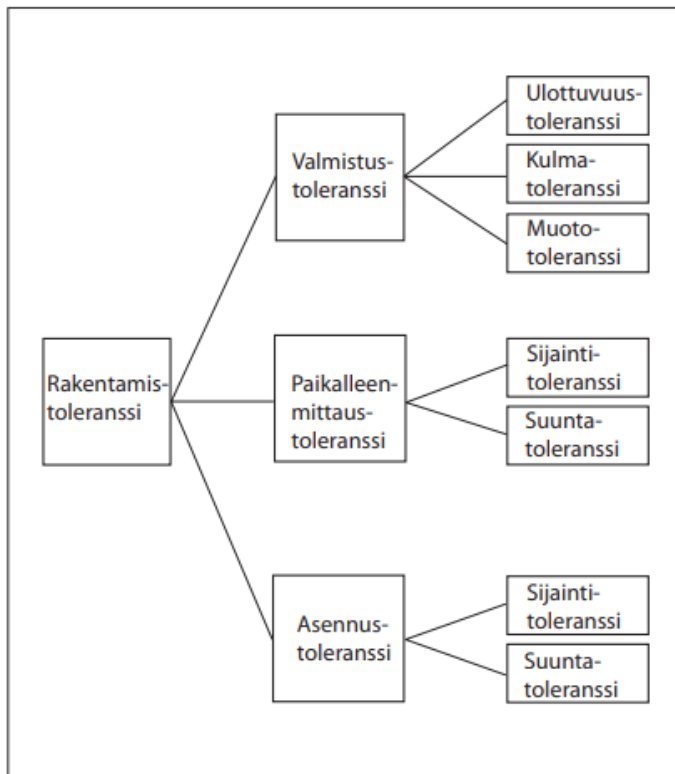
Kuva 4. Taulukko havainnollistaa silmämääräisesti nähtävien halkeamien sallitut leveydet katseluetäisyyteen verrattuna. Esimerkiksi asuinrakennuksessa 0,5 mm leveä halkeama on hävittävä 5 m etäisyydeltä katsottuna. (Kuva: betonikeskus ry 2006)

Vaikka elementtivalmistajat pyrkivät täydellisiin tuotteisiin niin laatuvirheitä syntyy. Sen takia on tärkeää sopia tarkastus- ja hyväksymiskriteereistä projekti-kohtaisesti. Sopimusten apuna voi käyttää valmiita ohjeistuksia kuten kuvassa 4 olevaa Betonikeskuksen taulukkoa esteettisesti hyväksyttävistä halkeamaleveyksistä. Betonikeskuksen taulukossa on havainnollistettu sallittu halkeamaleveys suhteessa katseluetäisyyteen. Taulukossa on huomioitu myös rakennuksen vaativuus, eli mitä merkittävämpi rakennus on, sitä pienempiä sallitut halkeamaleveydet ovat. Tilaajan ja arkkitehdin on hyvä vaatia mallielementtiä tehtaalta, jotta voidaan varmistua haluttujen ominaisuuksien toteutuksesta. (Carleton 2019). Työmaalla toteutetussa havaintotutkimuksessa laatupoikkeamat olivat enimmäkseen halkeamia tai virheitä mitoissa (74 % havaituista laatupoikkeamista), joten seuraavana on avattu tarkemmin näitä ongelmia kirjallisuuden perusteella.

6.1 Sallitut mittapoikkeamat

Rakennusosien mittapoikkeamia syntyy valmistuksessa, muodonmuutoksissa, kuljetuksessa, asennuksessa, paikalleen mittauksessa ja käytössä. Jotta eri

rakenteet pystytään yhdistämään työmaalla, on määritelty sallitut mittapoikkeamat, jotka rakennusosien on täytettävä. Sallittujen mittapoikkeamien eli toleranssien tarkoitus on minimoida ongelmat ja saada osat sopimaan yhteen. Eri toleranssien yhdistely työmaalla vaatii hyvää arviointikykyä ja työkokemusta. Toleranssien riippuvuus toisiinsa on esitetty kuvassa 5. Rakentamistoleranssi, eli valmiin rakenteen toleranssi, muodostuu valmistus-, paikalleenmittaus- ja asennustoleranssista. (Betonikeskus ry 2006; RT 02-10996: 2010.)



Kuva 5. Rakentamistoleranssi on valmiin rakenteen tietyn mitan sallittu vaihtelu. (Kuva: RT 02-10996: 2010)

Suunnittelunormeissa ja tuotestandeissa ilmoitetaan rakenteellisen toiminnan kannalta vaaditut toleranssit. Valmistus- ja rakentamistoleranssien heitto sallitusta voi aiheuttaa paitsi ongelmia liitettävien rakennus- ja laiteosien sekä kalusteiden asennukseen, myös ulkonäköhaittaa. (Betonielementtien toleranssit 2011: 2020, 6–7.)

6.2 Betonipinnan ulkonäkövaatimukset

Betonielementin pinta ei aina täytä sovittuja laatuvaatimuksia. Usein virheet syntyvät elementin valun aikana tai käytettäessä lisäaineita väärin, vääräntyyppisestä muottiöljystä tai muotin puutteellisesta laadusta. Ulkonäköä arvioidaan erityisesti väri vaihteluiden, halkeamien ja pinnan epätasaisuuksien osalta. Yleisimpiä pinnan virheitä ovat huokokset, hammastukset, valupurseet, pinnan aaltoilut, harvavalut, kolot ja nystemät. Pinnan laatuvaatimukseen vaikuttavat muun muassa betonipinnan luokka. Luokat löytyvät BY 40. Betonirakenteiden pinnat/ luokitusohjeet 2003-julkaisusta. (Betonikeskus ry 2006, 6.)

Erilaisten kiviainesten ja väripigmenttien avulla voidaan valmistaa erivärisiä betonielementtejä. Pienet väri vaihtelut ovat luonnollisia, mutta väribetonipinnassa oleellista on värisävyn tasaisuus. Värieroja voidaan tarkastella silmämääräisesti tai hyödyntäen erilaisia menetelmiä, kuten CIELAB-järjestelmää, jossa mitatun värin koordinaatteja verrataan tunnetun värin koordinaatteihin. Julkisivussa virheeksi voi koitua vierekkäisten elementtipintojen liian suuri värierio. (Betonikeskus ry 2006, 6–8.)

7 CASE RUUTANAN KOULUKESKUS UUDISRAKENNUS

Opinnäytetyön tutkimuskohteen rakennushanke koostuu uudisrakennuksen rakentamisesta sekä olemassa olevien rakennusten saneerauksesta. Uudisrakennuksen rakennustyöt aloitettiin maaliskuussa 2023 ja sen on määrä valmistua marraskuussa 2024. Rakennushanke on yhteistoimintaurakka, jonka osapuolia ovat SRV Rakennus Oy, Kangasalan kaupunki ja A-Insinöörit Rakennuttaminen. Uudisrakennuksen bruttopinta-ala on 5354 neliometriä. Rakennukseen tulee opetustiloja, väestönsuoja, monitoimihalli sekä puku- ja pesutiloja.

Tämän opinnäytetyön tutkimuksen kohteena olivat betonielementit Ruutanan koulukeskuksen uudisrakennuksessa. Kohteessa oli yhteensä 856 betonielementtiä, jotka valmisti kaksi elementtitoimittajaa. Ontelolaatat, pilarit, palkit ja TT-laatat toimitti Parma Oy. Väliseinät sekä sisä- ja ulkokuorielementit toimitti Sora ja Betoni V. Suutarinen. Lisäksi porraselementit toimitti Kuukivi Betoni Oy. Elementtiasennuksista vastasi aliurakoitsija Rakennus Jari Kupiainen Oy.

Aliurakoitsijan kanssa on laadittu salassa pidettävä Elementtiasennustyön Urakkakortti, johon on selvitetty aliurakoitsijan vastuut ja aliurakoitsijalle kuuluvat materiaalien hankinnat ja siirrot, työsuoritukset, työmaaveloitteet, laadunvalvontatoimenpiteet, työturvallisuus toimenpiteet sekä laatuvaatimukset. Kohteessa käytetyt elementit olivat tyypeiltään:

- Kuorielementit AK + sokkelikuorielementit 82 kappaletta
- Pilarit 24 kappaletta
- Palkit 28 kappaletta
- Porraselementit 11 kappaletta
- Väliseinäelementit 68 kappaletta
- SK sisäkuorielementit 68 kappaletta
- RK sisäkuorielementit 68 kappaletta
- TT-laatat 28 kappaletta
- Ontelolaatat 28 kappaletta
- Massiivilaatat 7 kappaletta
- Ruutuelementit 10 kappaletta

Rakennuskohteeseen on laadittu Rakennustuotannon laatusuunnitelma (SRV 2023). Laatusuunnitelmasta käy ilmi, että kohteen hankinnat ja urakkasopimukset on toteutettu yrityksen toimintamallin mukaan. Laatusuunnitelman mukaan rakennustöiden suunnittelusta, toteutuksesta ja valvonnasta vastaavat työmaalle nimetyt työmaapäällikkö sekä työmaamestarit. Laatusuunnitelmassa on määrätty, että mahdollisiin aikataulupoikkeamiin puututaan välittömästi. Kunkin aliurakoitsijan ja toimittajan kanssa sovitaan tarkka työn tai toimituksen ajankohta. Aliurakasta pidetään työn loputtua lopputarkastus. Laatusuunnitelmaan on lisäksi kirjattu, että työmaan laadunvarmistus suunnitellaan tarkastusasiakirjan avulla ja tarkastusasiakirjaa pidetään yllä jatkuvasti. Tarkastusasiakirjassa esitettyjen laadunvarmistustoimenpiteiden lisäksi työmaamestarit valvovat aliurakoitsijoiden työsuorituksia ja havaittuihin poikkeamiin puututaan välittömästi.

8 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tapaustutkimuksen tavoitteena on tutkitun tiedon tuottaminen kohteesta ja sen avulla kehitysideoiden tai ratkaisuongelmien luominen havaittuun ongelmaan. Tapaustutkimus voidaan suorittaa määrällisenä tai laadullisena tutki-

muksena tai niitä yhdistelemällä. Aineistoa kerätään yleensä luonnollisissa tilanteissa, kuten havainnoimalla tilanteita tai analysoimalla kirjallisia aineistoja. Myös haastatteluita käytetään tiedonkeruumenetelmänä, jolloin itse toimijat voivat kuvata ja selittää tutkittavaa asiaa. Kehittämistä ei aloiteta tyhjästä vaan tutkimus nojautuu olemassa olevaan tietoon. (Moilanen ym. 2009, 52–54.)

Havaintotutkimus toteutettiin kirjaamalla betonielementeissä olevia laatupoikkeamia. Havainnointia varten laadittiin lomake (Liite 1), johon kirjattiin elementtitunnus ja saapumispäivämäärä. Havaintolomake laadittiin yhteistyössä toimeksiantajan kanssa, jotta tutkimuksesta saatava tieto olisi toimeksiantajan tarpeita palvelevaa. Havainnoinnista tehtiin helposti toteutettava, jotta se voidaan tehdä muun työn ohessa. Betonielementtien havainnoinnin toteuttivat elementtiasennusliikkeen työnjohtaja, SRV Rakennus Oy:n runkomestari, SRV Rakennus Oy:n työnjohto sekä työmaainsinööri. Betoniteollisuus ry:n (2020d) ohjeistuksen mukaan elementtien mahdolliset laatupuutteet on kirjattava kuormia vastaanottaessa, joten havaintolomakkeen täyttö aloitettiin elementtikuorman vastaanotossa. Laatupoikkeamia syntyi myös kuorman vastaanoton jälkeen elementin varastoinnissa ja asennuksessa, joten havaintolomakkeita täytettiin myös myöhemmissä rakentamisvaiheissa. Tutkimusta suunniteltaessa toimeksiantaja ilmoitti, että elementtiasennukset ovat valmiita marraskuun alkuun mennessä. Työmaan asennusaikataulu ei kuitenkaan toteutunut, joten havainnointitutkimus lopetettiin ennen kuin kaikki kohteen elementit oli asennettu. Tutkimus oli lopetettava, jotta opinnäytetyön aikataulu ei viivästy. Tutkimuksen ulkopuolelle jäi yhteensä yhdeksän kuorielementtiä.

Havaintolomakkeen ensimmäisessä kysymyksessä merkittiin rastilla, onko laatupoikkeama syntynyt suunnittelussa, tehtaalla, kuljetuksessa, varastoinnissa vai asennuksessa. Kysymyksen tarkoituksena oli määrittää, missä vaiheessa prosessia laatupoikkeama on syntynyt, jotta toimeksiantaja pystyy kehittämään oikeaa osa-aluetta. Esimerkiksi laatupoikkeaman voitiin arvioida syntyneen suunnittelussa, jos laatupoikkeama oli elementistä puuttuva aukko.

Toisessa kysymyksessä merkittiin rastilla vaadittava toimenpide. Vaihtoehdot olivat: elementti voidaan asentaa ilman toimenpiteitä, elementti voidaan asentaa toimenpiteiden/korjauksen jälkeen, elementti hylätään tai elementti on

asennettu ja vauriot korjataan myöhemmin. Kysymys valittiin, jotta saadaan kartoitettua minkälaisia jatkotoimenpiteitä laatupoikkeamat tuottavat. Toimenpiteiden kartoituksen avulla toimeksiantaja voi määrittää, kuinka paljon rahaa kuluu laatupoikkeamien korjaamisen ja miten laatupoikkeama vaikuttaa kohteen aikatauluun.

Viimeisenä kysymyksenä oli kohta, jossa pyydettiin kuvailemaan laatupoikkeamaa. Kysymys valittiin, jotta saadaan kerättyä tietoa laatupoikkeamien luonteesta ja löydettyä keinoja havaittujen laatupoikkeamien ennalta ehkäisyyn.

Kyselytutkimus toteutettiin Webropol-tiedonkeruujärjestelmän avulla. Kyselytutkimuksen linkki lähetettiin saatekirjeen kanssa sähköpostilla jaettavaksi eteenpäin. Saatekirjeessä selvitettiin kyselyn sisältö ja tarkoitus. Kyselyssä ilmoitettiin oma työnkuva ja vastattiin seitsemään avoimeen kysymykseen betonielementtirakentamisesta. Työnkuvan avulla vastaajat oli mahdollista ryhmitellä tuloksia analysoitaessa. Kysymykset muotoiltiin niin, että ne soveltuvat kaikille kyselyn kohderyhmille. Kyselyn avoimet kysymykset olivat:

1. Mikä on mielestäsi hyvää ja toimivaa betonielementtirakentamisessa tällä hetkellä?

Ensimmäisessä kysymyksessä kartoitettiin vastaajien mielipiteitä hyvistä asioista betonielementtirakentamisessa. Yhteistyön kehitystä eri toimijoiden välillä voidaan lähteä rakentamaan toimiviksi todetuista asioista.

2. Mitä haasteita ja ongelmia kohtaat betonielementtirakentamisessa?

Kysymyksen avulla pyrittiin tuomaan esille mitkä asiat eri toimijat kokevat tällä hetkellä haasteiksi betonielementtirakentamisessa. Eri toimijoilla on omat haasteensa, joita ei omassa työssä välttämättä osata ottaa huomioon, joten toisen näkökulman tiedostaminen auttaa kokonais kuvan hahmottamisesta. Kun toisten osapuolten ongelmat ovat tiedossa, on haasteita mahdollista ratkoa kokonaisvaltaisesti.

3. Miten havaittuihin haasteisiin ja ongelmiin reagoidaan yksikössäsi?

Kysymyksellä kartoitettiin eri toimijoiden käytänteitä ongelmien kanssa toimimiseen. Kun tiedetään, miten haasteisiin reagoidaan, voidaan tarkastella mitkä syyt johtivat haasteisiin ja löytää keinoja niiden välttämiseksi.

4. Millä toimenpiteillä varmistatte laadukkaan betonielementtirakentamisen?

Neljännessä kysymyksessä selvitettiin vastaajien keinoja toteuttaa laadukasta betonielementtirakentamista. Yrityksillä on käytössä laatuohjelmia, mutta myös ”hiljaista tietoa” jota hyödynnetään päivittäisessä toiminnassa ja jota haluttiin kerätä tällä kysymyksellä.

5. Miten kehittäisitte betonielementtirakentamista?

Seuraavat kaksi kysymystä suuntasivat huomion tulevaisuuteen. Viidennen kysymyksen avulla oli tarkoitus tuoda esiin, miten betonielementtirakentamista voitaisiin kehittää, jotta ongelmien ja haasteiden määrä vähenisi.

6. Miten kehittäisitte yhteistyötä eri toimijoiden (rakennuttaja/suunnittelija/elementtitoimittaja/elementtiasennusliike/rakennusliike) välillä?

Koska yhteistyön merkitys betonielementtitoimitusprosessi on merkittävä, kuudes kysymys käsitteli yhteistyön kehittämistä eri toimijoiden välillä.

7. Onko sinulle jäänyt jokin erityisen hyvä tai huono kokemus betonielementtirakentamisesta mieleen?

Viimeisen kysymyksen tarkoitus oli kerätä tietoa vastaajan yksittäisistä hyvistä tai huonoista kokemuksista. Aiemmissä kohteissa vastaan tulleet haasteet ja onnistumiset ovat arvokasta tietoa, jota tulisi hyödyntää tulevissa projekteissa.

Rakennusala on todella verkostoitunutta ja ala koostuu toistensa kanssa tekemisissä olevista yrityksistä ja muista tahoista. Rakennusalan ydintoiminta on urakoitsijoiden, suunnittelijoiden, rakennuttajien ja tuoteteollisuuden yhteistyötä. (Ahonen ym. 2020, 21.) Koska rakentaminen ei ole vain työmaalla tapahtuvaa toimintaa, on alan kehittämisessä olennaista yhdistää sidosryhmien tietotaito. Kyselytutkimuksen kohderyhmäksi valikoitui rakennuttajat, suunnit-

telijat, elementtitoimittajat, elementtiasentajat ja rakennusliikkeet, jotta kehitystyössä päästäisiin hyödyntämään betonielementtirakentamisen ydintoimijoiden kokemukset.

Kysely lähetettiin toimeksiantajan organisaatiosta valituille henkilöille ja kohteen parissa työskenteleville yhteyshenkilöille Kangasalan kaupungilla, rakennuttajakonsultin edustajille A-insinööreillä, arkkitehdeille Arkkitehdit von Boehm – Renel Oy:ssä sekä rakennesuunnittelijoille Ramboll Finland Oy:ssä. Lisäksi kysely lähetettiin rakennuskohteen elementtiasennuksesta vastaavalle työnjohtajalle Rakennus Jari Kupiainen Oy:ssä ja kohteen elementtitoimittajien edustajille Parma Oy:ssä sekä Sora ja Betoni V. Suutarinen Oy:ssä. Kyselytutkimus lähetettiin myös YIT:lle, VRP:lle, Sitowiselle ja Insinööri Studiolle. Tarkoituksena oli, että yhteyshenkilö jakaa vastauslinkkiä saatekirjeineen eteenpäin organisaatiossaan.

8.1 Analysointimenetelmät ja tutkimuksen luotettavuus

Tutkimuksista saatua tietoa käsiteltiin kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tutkimuksen metodien mukaan. Havaintotutkimuksen tulokset tilastoitiin, jotta tuloksia voidaan vertailla keskenään. Tuloksia on havainnollistettu kuvaajien avulla.

Kyselytutkimuksen tulokset analysoitiin Webropol-tiedonkeruujärjestelmän tuottamalla taulukolla. Vastajista koostettiin kuvaaja, jossa ilmenee vastaajien määrä työnkuvan mukaan. Tiedonkeruujärjestelmän tuottama taulukointi keräsi vastaukset ryhmiin vastaajien työnkuvan mukaan. Ryhmien vastauksista koostettiin tiivistelmä ja vastauksia analysoitiin etsimällä yhtenäisiä toistuvia teemoja. Vastaukset käsiteltiin ryhmittäin, jotta näkemyserot eri sidosryhmien välillä tulisivat ilmi. Yleisimpien teemojen esittämien kaaviossa nosti esille aiheiden merkityksellisyyttä koko vastaajajoukolle.

Validius tarkoittaa mittarin tai tutkimusmenetelmän kykyä mitata juuri sitä, mitä on tarkoitus mitata ja reliaabelius tarkoittaa tulosten tarkkuutta eli toistettavuutta (Hirsjärvi ym. 2009, 231). Betonielementtien laatupoikkeamien havaintotutkimusta voidaan pitää validina, koska havainnointia on ollut tekemässä

työmaan johto ja havainnointilomake toteutettiin yhdessä työmaan johdon kanssa heidän tarpeeseensa. Tutkimuksen reliabelius ei kuitenkaan ole hyvä, koska havainnointiin vaikuttaa varmasti havainnoijan omakohtaiset mielihpiteet ja näin tulokset eivät luultavasti olisi samat toistettaessa havainnointi eri henkilöllä.

Työmaalla tehtyä tutkimusta voi pitää luotettavana siltä kannalta, että 99 % kohteen elementeistä tarkasteltiin tutkimuksen aikana. Kuitenkin tutkimuksen ulkopuolelle jääneet yhdeksän elementtiä olivat tyypiltään kuorielementtejä, eli elementtityyppiä, jossa esiintyi eniten laatupoikkeamia.

Laadullisen tutkimuksen voi sanoa olevan luotettava, kun tutkimuskohde ja tulokittu materiaali ovat yhteensopivia eikä teorianmuodostukseen ole vaikuttaneet epäolennaiset tai satunnaiset tekijät. Luotettavuuden kriteerinä voidaan pitää tutkijan rehellisyyttä ja tutkijan tekemiä tekoja, valintoja ja ratkaisuja. (Vilkka 2021, 196.) Opinnäytetyön tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttaa heikentävästi kokemattomuuteni tutkimuksen teossa. Tulosten analysointi on pyritty tekemään parhaalla mahdollisella tavalla, mutta tulkintaan vaikuttavat perehtyneisyyteni aiheeseen, joten tulokset eivät ole toistettavissa.

Kyselytutkimus toteutettiin nimettömänä, jotta vastaajilta saataisiin mahdollisimman rehellisiä vastauksia omista kokemuksistaan. Tämä kuitenkin vaikuttaa tutkimuksen luotettavuuteen, koska samalla ihmisellä oli mahdollisuus vastata kyselyyn useamman kerran (Jyväskylän yliopisto 2018).

9 TUTKIMUSTULOKSET

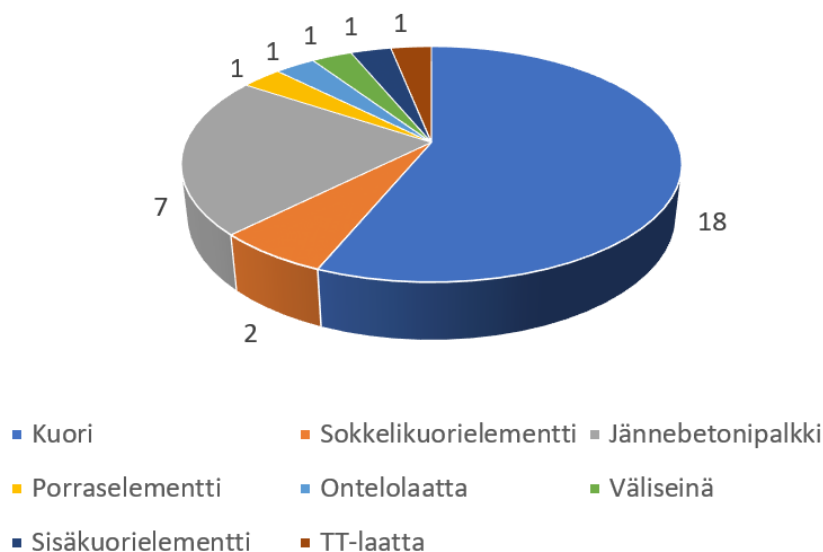
Opinnäytetyössä tilastoitiin SRV Rakennus Oy:n Ruutanan koulukeskushankkeen uudisrakennuksen betonielementeissä olevia laatupoikkeamia. Havaintolomakkeeseen kirjattiin laatupoikkeamien syntyajankohdat, mitä toimenpiteitä poikkeamasta seuraa ja kuvailtiin laatupoikkeaman tyyppiä. Lisäksi betonielementtirakentamisen prosessiin osallistuville toimijoille järjestettiin kyselytutkimus. Tässä kappaleessa esitetään tutkimuksissa saadut tulokset. Tulosten tarkastelu ja niiden perusteella tehdyt toimenpide-ehdotukset on esitetty luvussa 9.

9.1 Havainnot betonielementeissä

Työmaalla tehdyt laatupoikkeamahavainnot koottiin taulukoksi Exceliin. Taulukosta laadittiin kuvaajat esittämään saatuja tuloksia. Tutkimuksessa tarkasteltiin yhteensä 847 elementtiä. 32 elementissä löytyi laatupoikkeama eli virheellisiä elementtejä oli neljä prosenttia kokonaismäärästä.

Laatupoikkeamia havaittiin yhteensä kahdeksassa eri elementtityypissä. Kuvassa 6 on esitelty laatupoikkeamien määrät elementtityypeittäin. Eniten laatupoikkeamia oli kuorielementeissä (18 elementissä laatupoikkeama) ja palkkeissa (seitsemässä elementissä laatupoikkeama). Kahdessa sokkelikuorielementissä havaittiin laatupoikkeama sekä yksi laatupoikkeama porraselementissä, ontelolaatassa, väliseinässä, SK-sisäkuorielementissä ja TT-laatassa.

Laatupoikkeamien määrät elementtityypeittäin

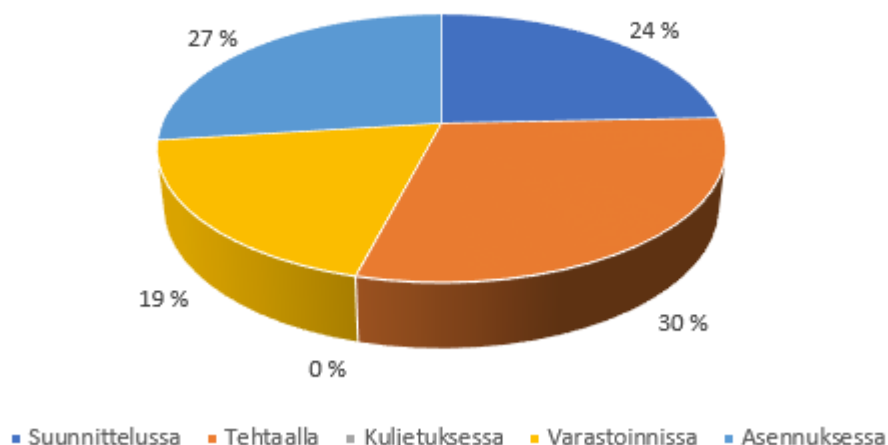


Kuva 6. Laatupoikkeamien määrät elementtityypeittäin

Kuorielementtejä ja sokkelikuorielementtejä oli kohteessa yhteensä 82 kappaletta, eli niistä 24 prosentissa oli laatupoikkeama. Ontelolaattoja oli kohteessa 462 kappaletta (0,2 %:ssa laatupoikkeama), palkkeja 28 kappaletta (25 %:ssa laatupoikkeama), porraselementtejä 11 kappaletta (9 %:ssa laatupoikkeama), väliseiniä 68 kappaletta (2 %:ssa laatupoikkeama), SK-sisäkuorielementtejä 68 kappaletta (2 %:ssa laatupoikkeama) sekä TT-laattoja 28 kappaletta (4 %:ssa laatupoikkeama). Kohteen RK-sisäkuorielementeissä, massiivilaattaelementeissä tai ruutuelementeissä ei havaittu laatupoikkeamia.

Joissakin elementeissä oli useampi laatupoikkeama ja laatupoikkeamat olivat syntyneet toimitusketjun eri vaiheissa. Tämän takia laatupoikkeamien määrä on pienempi kuin tilastoitujen syntymisajankohtien määrä.

Missä laatupoikkeama on syntynyt



Kuva 7. Laatupoikkeaman syntyajankohta.

Kuvassa 7 on laatupoikkeamien syntyajankohdat jaettuna prosentiosuuksien mukaan. Yhtään laatupoikkeamaa ei syntynyt kuljetuksessa. Eniten laatupoikkeamia syntyi tehtaalla (30 %) vaikkakin laatupoikkeamien syntyajankohdat jakautuivat melko tasaisesti myös suunnittelun (24 %), varastoinnin (19 %) ja asennuksen (27 %) välille.

Suunnittelussa syntyneitä laatupoikkeamia olivat puuttuvat aukot (kolmessa elementissä) ja virheet aukkomitoituksessa (kuudessa elementissä). Tehtaalla syntyneitä laatupoikkeamia olivat ongelmat pinnan laadussa (kahdessa elementissä), betoni nostorei'issä (neljässä elementissä), mittapoikkeama elementissä (kolmessa elementissä), porraselementin virheet (yhdessä elementissä) ja TT-laatan liitososan virhe (yhdessä elementissä). Tehtaalla syntyneitä laatupoikkeamia havaittiin sekä Parma Oy:n että Sora ja Betoni V. Suutarinen Oy:n toimittamissa elementeissä. Varastoinnissa syntyneitä laatupoikkeamia olivat elementteihin tulleet lohkeamat (seitsemässä elementissä). Myös asennuksessa syntyneet laatupoikkeamat olivat lohkeamia tai naarmuja elementissä (kahdeksassa elementissä) ja lisäksi yhdessä elementissä oli aukkojen mittapoikkeama.

28 elementtiä saatiin asennettua ja havaitut laatupoikkeamat korjataan myöhemmin. Neljä elementtiä saatiin asennettua, kun laatupoikkeama oli korjattu. Kahdessa näistä havaittiin asennuksen jälkeen uusi laatupoikkeama. Kaksi elementtiä jouduttiin hylkäämään kokonaan ja palauttamaan tehtaalle. Toisessa elementissä pinta oli viallinen ja toinen elementti oli liian lyhyt ontelolaatta. Yhtään laatupoikkeamaa ei havaittu niin, että elementti voidaan asentaa ilman laatupoikkeamasta aiheutuvia toimenpiteitä.

Jokaisen elementin laatupoikkeama oli kuvailtu sanallisesti. Osassa elementeistä oli useampi laatupoikkeama. Laatupoikkeamien kuvaukset olivat:

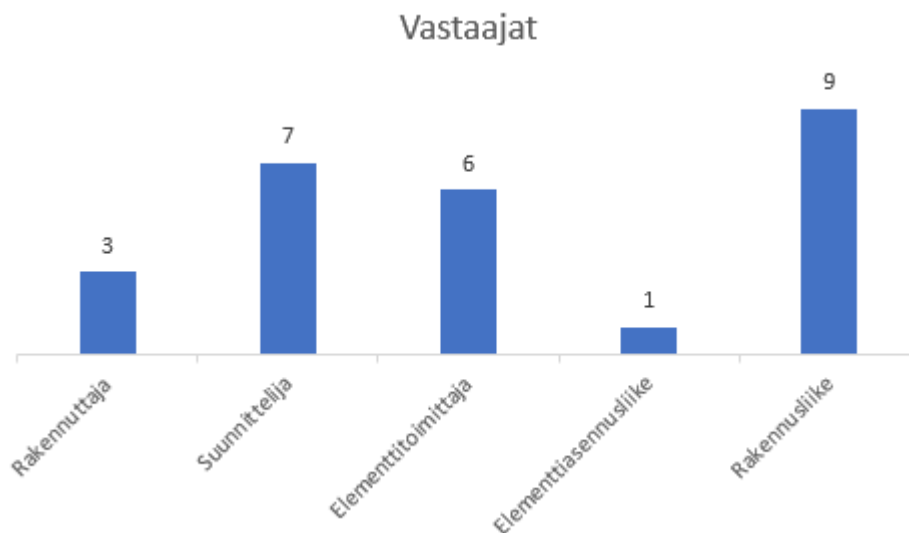
- Elementin pinta on viallinen (yksi elementti)
- Ontelo lyhyt 100 mm (yksi elementti)
- Betonia nostorei'issä (neljä elementtiä)
- Lankkujen saumat pykäsivät, sävyeroja lankuissa ja huomioraidan reunoissa lohkeamia sekä osin irti päissä (yksi elementti)
- Ulkokuoresta puuttuivat väestönsuojan tekniikan aukot (kaksi elementtiä)
- Ulkokuoresta puuttuivat väestönsuojan tekniikan aukot ja kiven reunassa on lohkeama (yksi elementti)
- Elementin reunassa lohkeama (14 elementtiä)
- Naarmu asennettaessa (yksi elementti)
- Aukkomitoitus tarkistetaan (yksi elementti)
- Väliseinä kiero, yli toleranssin (yksi elementti)
- Seurataan pinnan muutoksia (yksi elementti)
- Palkissa reikä- ja kolovaraus liian pieni huomioiden liittyvän elementin koko (TT-laatta), asia havaittu vasta TT-laatta-asennuksessa (viisi elementtiä)
- TT-laatan sisäkierteen liitososa osittain ulkona, katkaistu ulkopuolinen osuus ja elementti asennettu, korjaussuunnitelma tulossa (yksi elementti)

Elementin reunassa olevia lohkeamia kuvailtiin havainnoissa eri sanoin, mutta tilastossa laatupoikkeaman kuvaus on ilmoitettu vain yhdellä tavalla.

9.2 Kyselytutkimus

Kyselyyn oli aikaa vastata kaksi viikkoa ja siihen vastasi yhteensä 26 henkilöä. Webropolin tilaston mukaan kysely aukaistiin 101 kertaa. Kyselylinkin tavoittaneiden määrää on mahdotonta arvioida, mutta Webropolin tilaston perusteella voidaan arvella, että kysely on tavoittanut ainakin sata henkilöä. Näin suuntaa

antavaksi vastausprosentiksi voidaan laskea 26 %. Kuvassa 8 on esitettyä vastaajien määrät työnkuvan mukaan ryhmiteltynä. Eniten vastauksia kerättiin suunnittelijoilta, elementtitoimittajilta ja rakennusliikkeen edustajilta.



Kuva 8. Vastaajien määrät työnkuvan mukaan.

Kaikki vastaajat eivät vastanneet jokaiseen kysymykseen, mutta kaikki vastaukset ovat arvokkaita, joten kenenkään vastauksia ei ole hylätty.

9.2.1 Mikä on mielestäsi hyvää ja toimivaa betonielementtirakentamisessa tällä hetkellä?

Kysymykseen vastasi 25 henkilöä. Kuvassa 9 on esitetty vastauksissa toistuvat yleisimmät teemat. Pylvään yläpuolella oleva luku kertoo, kuinka monessa vastauksessa sama teema toistui. Betonielementtirakentamisessa tällä hetkellä hyväksi ja toimivaksi asiaksi kuvattiin useimmiten betonielementtirakentamisen tehokkuus ja nopeus, tietomallin käyttö rakentamisen apuna ja olemassa oleva tutkimustieto ja kokemus.



Kuva 9. Vastaajien mukaan toimivia asioita betonielementtirakentamisessa.

Rakennuttajien mielestä betonielementtirakentamisen hyviä puolia ovat kehittyneet elementtityypit ja niiden toimitusvarmuus. Rakennuttajien vastauksissa mainittiin myös rakentamisen nopeus ja siitä seuraava runkovaiheen lyhentyminen, jolloin sääsuojauksen tarve on lyhyempi.

Myös suunnittelijat vastasivat toimivaksi betonielementtirakentamisen nopeuden. Vastauksien mukaan tehokkaan ja nopean rakentamisen edellytyksenä on oikein tehty suunnittelu. Toimivana asiana nähtiin myös tietomallin käyttö ja yhteistyö toimijoiden välillä. Tietomallin koetaan vähentäneen mittavirheitä ja muita ongelmakohtia. Lisäksi hyvänä asiana koetaan olemassa olevan tiedon, esimerkiksi valmiiden detaljien, hyödyntäminen rakentamisessa.

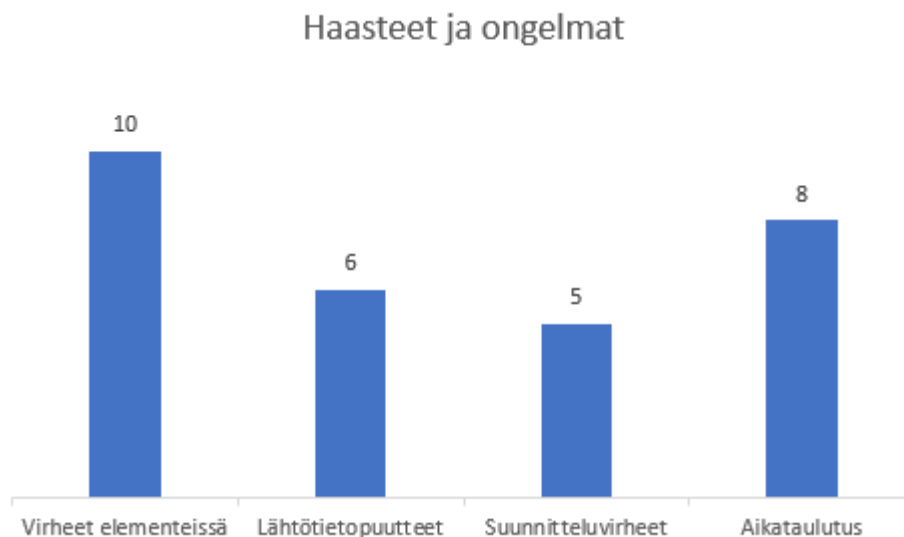
Elementtitoimittajien vastauksissa korostui kokemuksen ja tutkimuksen kautta vuosien saatossa luodun tiedon merkitys toimivassa rakentamisessa. Toimivaksi mainittiin vakioituneet rakennevaihtoehdot ja detaljit, monipuoliset pintamateriaalit ja elementtien laatu. Hyvänä asiana nähtiin myös kontrolloidut valmistusolosuhteet tehtaassa ja vähäinen suojaustarve työmaalla kaikkina vuodenaikoina.

Elementtiasentajan vastauksen mukaan toimivaa on yhteistyö elementtitoimittajien, pääurakoitsijoiden ja suunnittelijoiden kanssa sekä aikataulun toteuttaminen. Toimivaa on myös projektipankkien käyttö, jolloin suunnitelmat on kohtuullisen hyvin saatavilla.

Rakennusliikkeiden vastauksissa toistui työn nopeus sekä laatu. Toimivana asiana koettiin myös betonielementtien hyvä saatavuus. Toimivan rakentamisen edellytyksenä nähtiin hyvä suunnittelu.

9.2.2 Mitä haasteita ja ongelmia kohtaat betonielementtirakentamisessa?

Kysymykseen vastasi 25 henkilöä. Kuvassa 10 on esitetty vastauksissa esiin nousseet teemat. Betonielementtirakentamisen haasteina ja ongelmina koettiin yleisimmin virheet elementeissä, projektin aikataulut, suunnittelun lähtötietojen puutteet ja siitä seuraavat muutokset elementteihin sekä suunnitteluvirheet. Usein ongelmien koettiin johtuvan suunnittelun aliarvostamisesta.



Kuva 10. vastaajien mukaan yleisimmät haasteet ja ongelmat betonielementtirakentamisessa.

Rakennuttajien vastauksissa toistui ongelmana työturvallisuus ja virheet sekä laatu puutteet elementeissä. Rakennuttajat kokevat ongelmaksi myös lähtötietojen puutteen, jolloin elementeistä puuttuu esimerkiksi varauksia tai ne ovat väärässä kohdassa ja työmaalla joudutaan tekemään porauksia. Haasteena koettiin myös kuljetuksen ja nostojen aikaiset vauriot sekä elementtien puutteellinen sääsuojaus.

Suunnittelijat havaitsivat ristiriidan suunnittelun vaativuudessa ja siihen käytetyissä resursseissa. Suunnittelu on vaativaa ja elementtien pitää olla detallojen osalta, mitoiltaan ja lisävarusteiltaan virheettömiä, jotta ne ovat valmiita

asennettavaksi työmaalla. Kuitenkin suunnitteluun tarvittavat tiedot ovat usein puutteellisia ja suunnitteluun ja kuvien tarkistukseen ei ole annettu tarpeeksi aikaa eikä yhteistyö eri alojen välillä esimerkiksi reikäkierroissa toimi. Haasteena koettiin, jos urakoitsija tai elementtitoimittaja tulee hankkeeseen mukaan, kun elementtisuunnittelu on jo käynnissä. Eri urakoitsijoilla ja elementtitoimittajilla on omat menetelmät ja työtavat, joista johtuvia toiveita joutuu suunnittelija soveltamaan työssään.

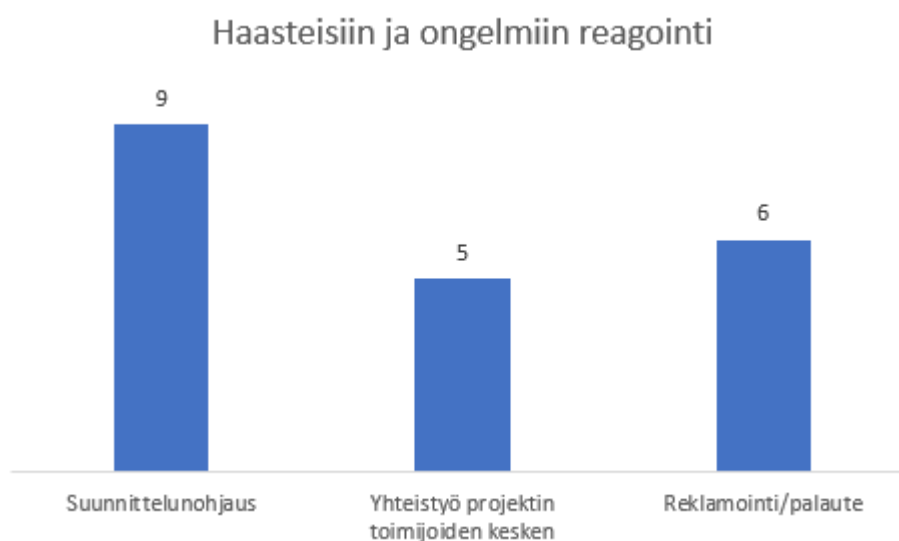
Elementtitoimittajien mielestä suunnittelun taso on laskenut viime vuosina. Suunnitelmat ovat epätasemmalla eikä suunnittelijoilla ole tietoa elementtien valmistuksesta ja siihen tarvittavista tiedoista. Suunnittelijoilta puuttuu myös taito hallita projektin aikataulu. Aikataulutus koettiin muutenkin ongelmalliseksi, esimerkiksi toteutus- ja hankintapäätökset, tilaus ja tarvittavien tietojen valmistelu tehdään liian myöhään toimitukseen nähden. Suunnitelmiin tulee muutoksia vielä siinä vaiheessa, kun elementtien valmistus on jo alkanut. Lisäksi haasteena koettiin betonielementtirakentamisen herkkä reagointi suhdannemuutoksiin. Nousukaudella elementeissä on pitkät toimitusajat ja nopeasti kohoavat hinnat, kun taas laskusuhdanteissa kova kilpailu johtaa epäterveeseen hinnoitteluun. Yksittäisinä ongelmina koettiin arkkitehtien kalliit ja virheelliset pintatoiveet sekä elementtien valmistuksen muuttuminen sarjatuotannosta yksilöiksi.

Elementtiasentaja kokee haasteeksi elementtituotannon viiveistä ja virheistä johtuvat saatavuusongelmat. Elementtien virheet tuottavat ongelmia yhteensopivuudessa asennusvaiheessa.

Rakennusliikkeet kohtaavat ongelmia suunnittelun detaljien vuoksi. Esimerkiksi liitosdetaljien ja nostoelimien moninaisuus luo haasteita, koska asiat muuttuvat paljon hankkeiden välillä ja jopa hankkeen sisällä. Sallitut mittapoikkeamat vaikeuttavat elementtien asennusta työmaalla. Vastauksissa mainittiin myös tiedonkulun puute ja siitä seuraavat virheet elementeissä. Ongelmaksi havaittiin myös elementtien toimitusongelmat sekä puutteet laadussa ja työturvallisuudessa.

9.2.3 Miten havaittuihin haasteisiin ja ongelmiin reagoidaan yksikösi?

Kysymykseen vastasi 25 henkilöä. Vastaajat olivat ilmaisseet myös, miten haasteita ja ongelmia ennaltaehkäistään. Kuvassa 11 esitetään vastauksissa toistuvat teemat, eli suunnittelunohjauksen parantaminen ongelmatilanteessa, ongelmien ratkominen yhdessä projektin eri toimijoiden kesken sekä reklamointi ja palautteenanto. Vastausten mukaan ongelmia pyritään ehkäisemään käyttämällä vakioituja ratkaisuja ja riittävällä aikataululla.



Kuva 11. Eniten toistuvat teemat haasteisiin ja ongelmiin reagoimisessa.

Rakennuttajien vastausten mukaan haasteisiin ja ongelmiin puututaan välittömästi ja varmistetaan että ne eivät toistu. Ratkaisuja etsitään yhteistyössä suunnittelijan, elementtitoimittajan ja työmaan kanssa. Asiakirjoihin määritetään laatuvaatimukset, tehdään suunnitelmat esimerkiksi työturvallisuudesta ja asennuksista ja valvotaan että niitä toteutetaan. Ongelmiin puututaan pitämällä elementtien mallikatselmukset.

Suunnittelijoiden vastauksissa painotettiin riittävää aikataulua ja oman työn tarkistusta. Käytäntönä on tarkistaa etenkin kokemattomimpien suunnittelijoiden kuvat, määrittää mallielementtikuvapohjia tai tehdä sisäinen itselleluovutus. Myös suunnittelijoiden vastauksissa nostettiin esiin eri toimijoiden yhteistyö ongelmien ratkaisussa. Suunnittelijat pyrkivät käyttämään yhtenäisiä detaljeja ongelmien välttämiseksi.

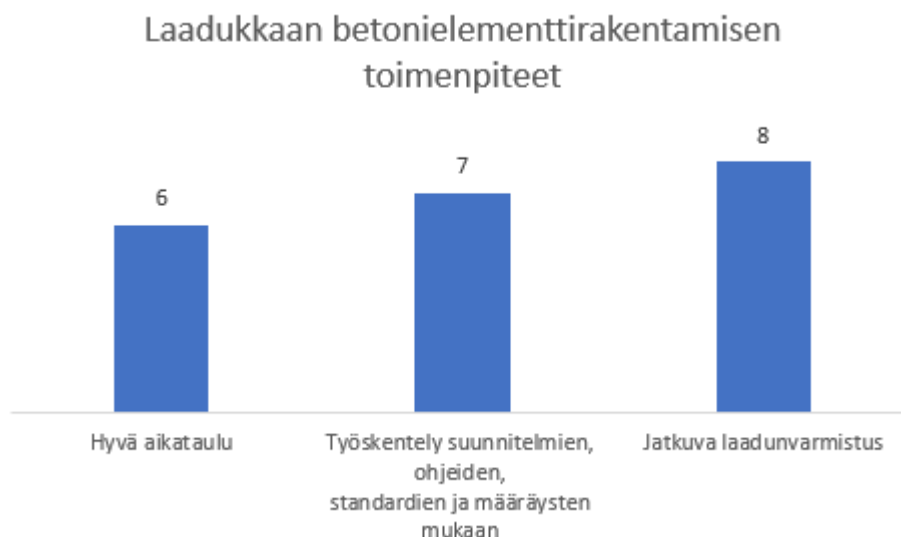
Elementtitoimittajien vastauksissa nousi esille suunnittelun ohjauksen merkitys. Suunnittelua ohjataan käyttämään tiettyjä tarvikkeita ja detaljeja sekä laaditaan sitova aikataulu. Elementtisuunnitelmat tarkistetaan huolella ja tarkennukset sekä korjaukset vaaditaan ennen kuin elementtiä aletaan valmistaa. Haasteiden ehkäisyyn voisi auttaa pitkäaikaisten kumppanuuksien rakentaminen, jolloin toiminta olisi pitkäjänteisempää ja suunnitelmallisempaa.

Elementtiasentajan vastauksen mukaan ongelmiin reagoidaan välittämällä havaitut suunnitelmapuutteet ja -virheet välittömästi eteenpäin. Haasteita pyritään välttämään tekemällä asennuksen aikataulut mahdollisimman varhain ja yhteistyössä sekä pääurakoitsijan että elementtitoimittajan kanssa.

Rakennusliikkeiden tapa reagoida ongelmiin ja haasteisiin on reklamaatiot ja palautteet. Ongelmia ratkotaan yhteistyössä muiden toimijoiden kanssa. Ongelmia ehkäistään jo hankkeen alussa, yhteistyöllä suunnittelijan kanssa sekä hankkeen aikaisilla palavereilla ja tarkastuksilla.

9.2.4 Millä toimenpiteillä varmistatte laadukkaan betonielementtirakentamisen?

Kysymykseen vastasi 25 henkilöä. Kuvassa 12 esitetään vastauksissa esiin nousseet teemat. Toimenpiteinä, jotka varmistavat laadukkaan betonielementtirakentamisen mainittiin useimmiten hyvä aikataulutus, suunnitelmien, ohjeiden, standardien ja määräysten mukaan työskentely sekä jatkuva laadunvarmistus. Tärkeänä koettiin myös onnistunut hankintaprosessi, jossa valitaan oikeat yhteistyökumppanit sekä projektin hallinta kokouksien ja tarkistusten muodossa. Vastauksissa nousi esille myös pätevien työntekijöiden merkitys.



Kuva 12. Vastauksissa toistuvat teemat laadukkaan betonielementtirakentamisen toimenpiteistä.

Rakennuttajien vastausten mukaan laadukas betonielementtirakentaminen vaatii hyvän aikataulutuksen koko hankkeen ajalle ja pätevät tekijät. Standardeja, määräyksiä ja ohjeita on noudatettava ja asennus on tehtävä suunnitelmien mukaisesti.

Suunnittelijoiden toimenpiteet laadukkaaseen betonielementtirakentamiseen ovat vakioimittojen ja hyväksi todettujen detaljien käyttö suunnittelussa. Vastauksissa tähdennettiin lähtötietojen ja aloituskokouksen tärkeyttä. Kokeneempien suunnittelijoiden tulisi opastaa nuorempia suunnittelijoita. Suunnittelijoiden kokemuksen mukaan koulutukset sekä huolellinen ja kiireetön työ takaavat laadun.

Elementtitoimittajien vastauksissa toistui tehtaan sisäisen ohjeistuksen noudattaminen. Tehtailla on käytössä laadunhallintajärjestelmät, joita suoritetaan aukottomasti. Laatua parantavana toimenpiteenä mainittiin myös jatkuva kehitys havaintojen ja reklamaatioiden pohjalta. Myös elementtitoimittajien vastauksissa nousi esille realistinen aikataulutus ja yhteistyön merkitys koko prosessin ajan.

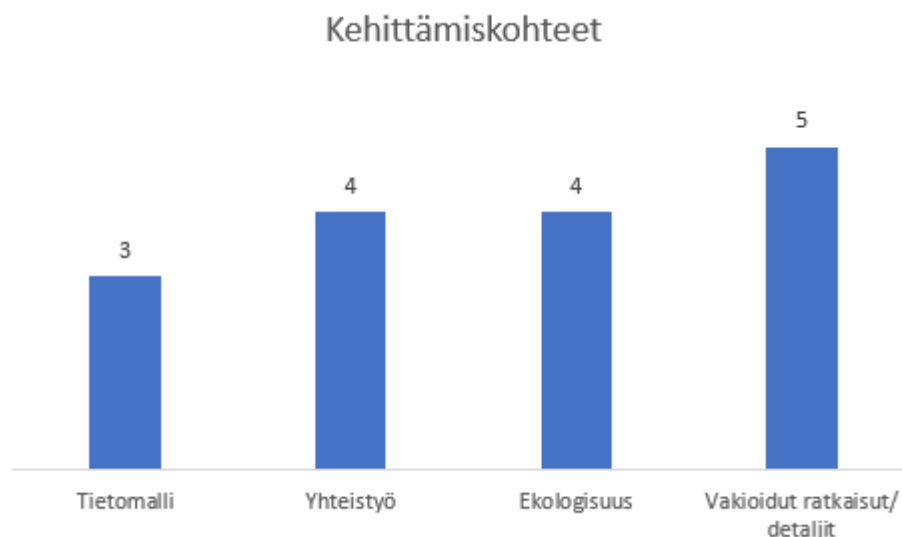
Elementtiasentajan toimenpiteet laadukkaaseen betonielementtirakentamiseen ovat ammattitaitoisten asentajien käyttäminen sekä ohjeiden ja detaljien

noudattaminen. On myös tärkeää ennakoida asennuksen vaatimat resurssit, kuten tarvittava kalusto.

Rakennusliikkeiden vastauksien mukaan on tärkeää huolehtia oikean suunnittelijan, toimittajan ja urakoitsijan valinnasta sekä projektin osa-alueiden suunnittelusta. Muina toimenpiteinä mainittiin toimivan aikataulun laatiminen, laadun tarkkailu ja osaava henkilöstö. Laadukkaaseen lopputulokseen pyritään hyvällä yhteistyöllä eri toimijoiden välillä, josta esimerkkinä mainittiin suunnitelmien yhteensovitus, mallielementtikatselmus ja tehdaskäynnit. Laatuun seurataan jatkuvasti ja sen on täytettävä asiakirjojen asettamat vaatimukset.

9.2.5 Miten kehittäisit betonielementtirakentamista?

Kysymykseen vastasi 24 henkilöä. Kuvassa 13 esitetään vastauksissa useimmiten mainitut teemat eli tietomallin käytön lisääminen, yhteistyö projektin eri toimijoiden välillä, ekologisuus ja vakioitujen ratkaisuiden kehittäminen. Useassa vastauksessa kaivattiin lisää eri urakoitsijoille, tehtaille, tuoteosatoimittajille ja niin edelleen kelpaavia detaljeja ja selkeitä vakioituja ohjeita julkisiin materiaaleihin.



Kuva 13. Useimmiten vastatut kehittämiskohteet.

Rakennuttajien vastausten perusteella kehitystä kaippa työturvallisuusvaatimukset ja niiden noudattaminen. Työturvallisuuteen pitäisi luoda yhdenmukaiset ohjeet ja seuranta.

Suunnittelijoiden vastauksissa kaivataan detaljien ja elementtien yhtenäistämistä. Kaivattiin kuitenkin myös mahdollisuutta aloittaa kohteen elementtisuunnittelu jo luonnosvaiheessa, jolloin voitaisiin saada yksinkertaisempia ja optimoidumpia ratkaisuja elementtirakentamiseen. Suunnittelijat halusivat myös kehittää parempaa yhteistyötä eri suunnittelualojen välille sekä kehittää tietomallinkäyttöä eri tavoin. Suunnittelijoiden kehityskohteena olisi myös siirtyminen vähähiilisempään betoniin.

Elementtitoimittajat kehittäisivät yhteistyötä eri toimijoiden välillä lisäämällä rakennusliikkeen ja suunnittelijoiden tietoisuutta elementtien tuotannosta. Myös kouluaikaista opetusta elementtituotannosta pitäisi kehittää. Elementtitoimittajat osallistaisivat kaikki projektin osapuolet heti alkuvaiheesta lähtien toimivien suunnitteluratkaisujen ideoimiseen. Tuotannossa voitaisiin hyödyntää enemmän mallintamista. Elementtitoimittajat kehittäisivät itse elementtien laatua esimerkiksi nostamalla elementtien valmiusastetta lisäämällä tekniikkaa ja ikkunat elementteihin. Kehitystä vaatisi myös elementtien kuivaketju, jotta elementtien säilytystä sään armoilla ei enää sallittaisi. Jo suunnittelussa ja tuotannossa tulisi huomioida elementtien uudelleenkäyttö. Myös elementtitoimittajat näkevät kehityskohteena siirtymisen vähähiiliseen betoniin.

Elementtiasentajan vastauksessa kaivataan kehitystä projektin aikaiseen tiedonantoon. Elementtitehtaan valmiustilanteet ja suunnitelmat tulisi olla käytössä esimerkiksi projektipankissa.

Rakennusliikkeiden kehityskohteena olisi kierrätys, ekologisuus ja vastuulliset valinnat. Rakennusliikkeet kehittäisivät entistä enemmän vakioitujen ratkaisujen ja detaljien käyttöä työn helpottamiseksi eri kohteissa. Myös elementtien toimitusketjua tulisi kehittää. Usein elementtihankinnat on pilkottu kustannussyistä ja toimitusten optimointi työmaalle on mahdotonta. Rakennusliikkeet kehittäisivät elementtien mittatarkkuutta ja toleransseja.

9.2.6 Miten kehittäisit yhteistyötä eri toimijoiden välillä?

Kysymykseen vastasi 22 henkilöä. Kuvassa 14 on esitetty vastauksissa esiin nousseet teemat. Vastauksissa painotettiin yhteistyön merkitystä heti projektin

alusta alkaen. Ristiriitaiseksi koetaan, että elementtikuvien suunnittelu tulisi alkaa jo ennen kuin elementtitoimittajaa tai pääurakoitsijaa on valittu ja suunnitelmissa pitäisi huomioida elementtitoimittajan ja urakoitsijan käytännöt ja toiveet.



Kuva 14. Vastaajien yleisimmät tavat kehittää yhteistyötä toimijoiden välillä.

Rakennuttajien vastauksissa yhteistyötä pyritäisiin kehittämään palkkion avulla. Hankkeissa pyritäisiin hyödyntämään suunnittelu- ja urakkasopimusmalleja, joissa jaetaan taloudelliset riskit ja hyödyt.

Suunnittelijoiden vastauksien mukaan kehitystä pitäisi tapahtua aloituspalaverissa ja suunnittelun ohjauksessa heti alusta alkaen. Rakennusliikkeen, rakennuttajan ja elementtitoimittajan huomioida ja vaatimukset pitäisi olla tiedossa ennen kuin elementtejä aletaan suunnittelemaan. Tyypielementit ja liitokset tulisi käydä läpi ennen suunnittelun alkua ja ongelmakohtiin puuttua heti.

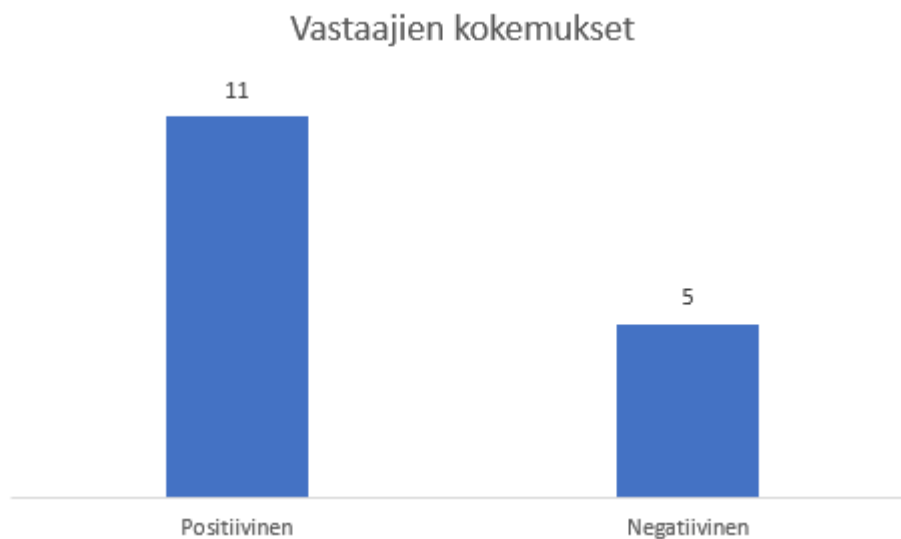
Elementtitoimittajat painottivat vastauksissaan avointa vuoropuhelua tahojen välillä. Tietomallia voitaisiin käyttää vuorovaikutuksen apuna ja elementtitoimituksessa. Elementtitoimittajat kehittäisivät suunnittelun sitomista osaksi elementtitoimitusta. Myös elementtitoimittajien vastauksissa painottui projektin alkuvaiheen yhteistyön merkitys.

Elementtiasentajan vastauksessa kehityskohteena oli tietomallin vuorovaikutteisuuden lisääminen eri toimijoiden välille. Tietomallin käytöllä voitaisiin tehostaa tiedon siirtoa esimerkiksi valmistettujen elementtien mitoista.

Myös rakennusliikkeiden vastauksien mukaan tärkein kehityskohde toimijoiden välisessä yhteistyössä on kommunikoinnin ja suunnittelunohjauksen lisääminen ennen rakentamisen alkua. Aloituspalaveriin tulisi osallistua kaikki osapuolet ja yhdessä sopia vaateet, käytännöt ja aikataulut.

9.2.7 Onko sinulle jäänyt jokin erityisen hyvä tai huono kokemus betonielementtirakentamisesta mieleen?

Kysymykseen tuli 16 vastausta. Kuvassa on esitettyä kysymykseen tulleiden positiivisten ja negatiivisten kokemusten määrät. Negatiivisissa kokemuksissa toistuivat ammattitaidon puute ja virheet elementeissä.



Kuva 15. Vastauksissa esiintyneet positiiviset ja negatiiviset kokemukset.

Rakennuttajien huonot kokemukset elementtirakentamisesta ovat johtuneet virheellisesti valmistetuista elementeistä. Eräässä hankalassa kohteessa elementtitehtaan virhe aiheutti urakoitsijalle aikatauluhaasteita.

Suunnittelijoiden kertomat kokemukset ovat pääosin positiivisia. Elementtien laatu on ollut hyvä ja elementit ovat työmaalla saatu asennettua paikoilleen. Suunnittelijoilla on myös negatiivisia kokemuksia kohteista, joissa esimerkiksi

mallinnuksesta huolimatta on tullut virheitä saumoihin tai elementistä on puuttunut osia ja kohde on vaatinut korjaussuunnittelua.

Elementtitoimittajilla on positiivisia kokemuksia projekteista, joissa yhteistyöllä on päästy onnistuneeseen lopputulokseen. Elementtitoimittajat ovat voineet kehittää omaa toimintaansa innoittavan ja merkityksellisen yhteistyön avulla. Elementtitoimittajilla oli myös negatiivinen vastaus asennuksen aikaisen työturvallisuuden puutteista.

Rakennusliikkeiden vastaukset olivat yhtä lukuun ottamatta negatiivisia kokemuksia. Liian pienet toleranssit suunnittelussa kertaantuivat työmaalla asennusvaiheessa eikä elementtejä saatu paikoilleen. Työnjohtoa on kuormittanut asennusporukka, josta ei löytynyt riittävästi ammattitaitoa. Myös elementtien laadusta ja toimitusvaikeuksista on huonoja kokemuksia. Positiivisena kokemuksena mainittiin osakohteen nopea valmistuminen.

10 TULOSTEN TULKINTA JA TOIMENPIDE-EHDOTUKSET

Toimeksiantajan rakennuskohteessa tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että 34 betonielementissä, eli neljässä prosentissa kohteen betonielementeistä oli laatupoikkeama. Laatupoikkeamien syyt vastasivat kyselytutkimuksessa esiin nousseita betonielementtirakentamisen keskeisiä ongelmia, eli elementtien laatupuutteita, suunnitteluvirheitä sekä haasteita aikataulutuksessa.

Laatupoikkeamista 54 % syntyi ennen kuin elementti saapui työmaalle ja 46 % työmaalla. Tuloksista korostuu laaduntarkkailun merkitys koko toimitusketjun ajan. Kyselytutkimuksen mukaan suunnittelutoimistoilla ja elementtitehtailla tehdään laadunvalvontaa virheiden estämiseksi, joten syntyneiden laatupoikkeamien olisi pitänyt jäädä kiinni ennen elementin saapumista työmaalle. Toimeksiantaja selvitti laatupoikkeamien syitä ja oikeista lähtötiedoista huolimatta oli useita elementtejä suunniteltu väärin. Myös elementtivalmistuksessa tapahtui paljon virheitä, joita jouduttiin korjaamaan työmaalla. Tutkimuksessa saadun tiedon perusteella kaikki sidosryhmät olisivat valmiita lisäämään yhteistyötä rakentamisen laadun nostamiseksi. Tutkimuksen aikana kävi ilmi, että

toimeksiantajalla on ollut puutteelliset toimintatavat betonielementtien vastaanottotarkastuksessa. Käytössä olleet toimintatavat ovat mahdollistaneet virallisten elementtien vastaanottamisen työmaalle eikä syntyneitä lisäkustannuksia ole pystytty kohdistamaan oikein.

Määrällisesti tarkisteltuna merkittävin havainto tutkimustuloksissa oli kohteen palkeissa ja kuorielementeissä olevat laatupoikkeamat. 25 %:ssa kohteen palkeista oli laatupoikkeama sekä 24 %:ssa kohteen yhteenlasketuista kuorielementeistä ja sokkelikuorielementeistä oli laatupoikkeama. Muissa elementtityypeissä oli vain yksittäisiä laatupoikkeamia.

Palkkien laatupoikkeamien ison määrän selittää samat, useassa palkissa toistuvat virheet. Neljä yhdeksästä palkeissa olevasta laatupoikkeamasta oli nostorei'issä oleva betoni. Betoni saatiin poistettua nostorei'istä ja elementit asennettua, mutta tämä tuotti lisätyötä työmaalla. Nämä laatupoikkeamat olivat elementtitoimittajan vastuulla ja poikkeamien olisi pitänyt jäädä kiinni tehtaan laadunvalvonnassa. Tutkimuksessa ei kerätty tietoa lisätyöstä aiheutuvista kustannuksista tai aikatauluvaikutuksista. Myös niiden tilastoiminen olisi tuonut arvokasta lisätietoa toimeksiantajalle laatupoikkeamien vaikutuksesta hankkeen kustannuksiin sekä aikataulutukseen.

Loput viisi palkeissa ollutta laatupoikkeamaa oli palkeissa olleiden reikä- ja varauskolojen liian pieni mitoitus. Asia havaittiin vasta, kun palkkeihin liittyvää TT-laattaa asennettiin. Toimeksiantaja selvitti, että palkit on suunniteltu annetuilla lähtötiedoilla sekä sallittujen toleranssien mukaan. Onnistunut lopputulos olisi vaatinut yhteistyötä suunnittelun alusta alkaen. Suunnittelunohjauksen olisi pitänyt sisältää tieto liittyvän elementin isosta koosta ja mahdollisista haasteista reikä- ja kolovarauksien kohdistumisessa liitoksessa. Elementtien yhteensopivuusongelmat nostettiin esille myös kyselytutkimuksen vastauksissa. Niin elementtiasentaja kuin rakennusliikkeet ovat havainneet, että sallitut mittapoikkeamat aiheuttavat työmaalla ongelmia. Vastaajien kokemuksen mukaan liian pienet toleranssit kertaantuvat työmaalla asennusvaiheessa, joka oli myös havaintotutkimuksessa esiin noussut ongelma.

Kohteen kuorielementeissä ollutta suurta laatu-poikkeamien määrää selittää pinnan muoto, joka oli herkkä kolhuille. Kuorielementtejä toimitettiin samassa kuormassa monta kappaletta, mutta kuorielementit olivat hitaita asentaa, joten niitä jouduttiin varastoimaan työmaalla. Kuorielementeissä havaituista laatu-poikkeamista 39 % syntyi varastoinnissa ja 44 % asennuksessa. Rakennustöiden laatu 2017-kirjassa (Ratu KI-6029: 2017) neuvotaan ajoittamaan elementtitoimitukset oikein, jotta elementtien varastointi työmaalla vältetään. Kuten kyselytutkimuksessa havaittiin, elementtien toimitusketjua tulisi kehittää. Optimoimalla elementtien toimitukset työmaalle varastoinnin tarve poistuu ja varastoinnin aikaisilta laatu-poikkeamilta vältytään. Kirjassa ohjeistetaan myös, että varastoinnille sekä siirroille ja nostoille on varattava riittävästi tilaa. Tutkimuskohteen työmaalla olisi työn suunnitteluun ja työtapoihin pitänyt kiinnittää tavallista enemmän huomiota, koska kohteessa oli käytössä kuorielementit, jotka olivat normaalia herkempiä kolhiintumaan. Kyselytutkimuksessa betonielementtirakentamisen ongelmaksi koettiin arkkitehtien kalliit ja virheelliset pintatoiveet. Tutkimuskohteessa iso osa laatuongelmista olisi jäänyt pois, jos arkkitehti olisi valinnut kuorielementteihin vähemmän herkän pinnan muodon.

Kyselytutkimuksen vastauksissa nousi esiin monta samaa ongelmaa kuin kymmenen vuotta vanhassa Tampereen teknillisessä yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa elementtitoimitusten kipupisteistä (Teriö & Koskenvesa 2013, 151–154). Tampereen yliopiston tutkimuksessa keskeisimpiä ongelmia olivat rakenteiden ja rakennusten kompleksisuus, puutteet suunnittelun ohjauksessa, käytännön toimintatapojen erot toimintajärjestelmiin nähden sekä johtamisvaje ja rakentamisen toimintakulttuuri. Myös opinnäytetyössä toteutetussa kyselytutkimuksessa vastauksissa yleisimpien teemojen joukkoon nousivat aikataulut ja lähtötietopuutteet eli puutteet suunnittelun ohjauksessa. Vastausten perusteella rakenteiden ja rakennusten kompleksisuus ja toimintatapojen erot koetaan edelleen ongelmana. Vastauksissa havaittiin arvostuksen puute elementtisuunnittelua kohtaan. Myös työelämässä törmää siihen, että kokeneet suunnittelijat eivät halua tehdä elementtisuunnittelua vaan se lykätään nuoremmille suunnittelijoille.

Tutkimuksen aikana ilmeni, että toimeksiantajalla on tarve selkeälle elementtien vastaanottolomakkeelle. Lomakkeen avulla elementin kunto ja ominaisuudet tulisi tarkasteltua huolellisesti heti elementin saapuessa työmaalle. Tähän mennessä elementtien laatupoikkeamat on kirjattu ohjeistuksen mukaan kuormaa vastaanotettaessa. Laatupoikkeamien havainnointi on kuitenkin ollut puutteellista ja laatupoikkeamista aiheutuvia kustannuksia ei ole voitu kohdentaa oikein.

Yksityiskohtaisen dokumentoin avulla, betonielementtien laatua pystyttäisiin seuraamaan paremmin ja ongelmien selvitys jälkikäteen helpottuisi. Lomakkeessa otettaisiin kantaa elementin mittoihin, reikiin ja varauksiin, ulkonäkövaatimuksiin ja pinnan laatuun. Lomakkeeseen otettaisiin kuva elementistä, jolloin jälkikäteen tarkastelu helpottuisi. Lomakkeen täytön tulisi olla mahdollisimman yksinkertaista, esimerkiksi ”rasti ruutuun”, että tarkasteltava osa-alue on kunnossa. Lomakkeen täyttö tehtäisiin mieluiten sähköisesti, jotta havaitut puutteet voitaisiin automaattisesti lähettää myös elementtitoimittajalle. Lomaketta tulisi voida käyttää koko rakennusvaiheen ajan, jotta myös myöhemmin syntyvät laatupoikkeamat saataisiin kirjattua samalla tavalla. Lomake olisi osa toimeksiantajan Rakennustuotannon laatusuunnitelmassa määriteltyä laadunvarmistusta ja sitä voitaisiin käyttää apuna aliurakoitsijoiden työsuoritusten valvonnassa.

Tutkimuksessa selvisi, että sallitut mittapoikkeamat hankaloittavat elementti-asennuksia työmaalla. Poikkeamien aiheuttamia ongelmia tulisi ehkäistä paitsi suunnittelunohjauksella, myös tehostamalla elementtitehtaan ja työmaan välistä viestintää. Toimeksiantajan kokemuksen mukaan työmaan toimintaa helpottaisi, jos tehdas viestisi elementin valmistustoleranssien toteutumisesta. Kun työmaalla olisi etukäteen tieto ”paukkuvista toleransseista”, voitaisiin liittyvien elementtien asennuksessa ennakoida mahdolliset ongelmat.

Viestinnän kehittäminen vaatisi toimintatapojen muutosta ja edellyttäisi myös elementtitehtaan panoksen. Viestintää elementtitoimittajan ja työmaan välillä voitaisiin kehittää esimerkiksi tietomallin avulla. Elementtitoimittaja voisi päivittää tietomalliin elementin toteutuneet mitat ja muut oleelliset tiedot. Työmaalla voitaisiin tietomallista tarkistaa esimerkiksi elementin valmiusaste, vaikuttaako

elementin valmistustoleranssit elementin asennukseen, vaatiiko elementin asennus erityisiä toimenpiteitä ja miten viereiset liitokset toteutetaan. Tietomallin kautta viestiminen edellyttäisi kuitenkin, että kaikki osapuolet käyttäisivät yhteisesti sopivaa ohjelmistoa. Ennen kuin viestintä on mahdollista yhteisen tietomallin kautta, uusia toimintatapoja voitaisiin kehittää sähköpostiviestinnällä.

11 POHDINTA

Lähtökohtana tutkimukselle oli toimeksiantajan tarve selvittää missä kohtaa rakennusprosessia betonielementteihin syntyy laatupoikkeamia. Tutkimuksen tavoitteeksi muodostui koostaa toimeksiantajalle betonielementtien laatupoikkeamista tietoa, jonka perusteella toimeksiantaja voi ryhtyä kehittämään toimintaansa laatupoikkeamien määrän vähentämiseksi.

Opinnäytetyön tärkeimmät tulokset ovat tilastoidut havainnot betonielementtien laatuongelmista ja betonielementtirakentamiseen osallistuvien sidostyhmien antamat vastaukset elementtirakentamisen ongelmista, ongelmiin reagoimisesta sekä alan kehittämisestä. Toimeksiantajalta saadun palautteen perusteella merkityksellisimpiä havaintoja tutkimuksessa oli tarve selkeälle elementtien vastaanottolomakkeelle, jotta laatupoikkeamista syntyneet lisäkustannukset voidaan kohdistaa oikein. Olennaiseksi asiaksi esiin nousi myös laatupoikkeaman vaikutusten havainnointi. Kyselytutkimus antoi toimeksiantajalle monipuolista tietoa sidosryhmien näkökulmasta, josta pääkohdaksi nousi yhteydenpidon merkitys hankkeen alusta alkaen.

Rakentamisalan ominaispiirre on projektiluonteisuus, jolloin yhteistyökumppanit vaihtuvat projektien välillä. Pitkäaikaisia kumppanuuksia ei synny ja osapuolten välinen tiedonvaihto jää vähäiseksi. Tässä opinnäytetyössä toteutetun kyselytutkimuksen kaltaisia kaikkia osapuolia hyödyntäviä tiedonvaihtomenetelmiä pitäisi hyödyntää laajemmin. Vaikka tutkimuksen tarkoitus oli kerätä toimeksiantajaa hyödyttävää tietoa, voi tutkimustuloksia soveltaa myös muut rakentamisen osapuolet.

Opinnäytetyö onnistui tavoitteessa tuottaa toimeksiantajalle tietoa laatu-
poikkeamista. Myös työn teoriaosuus tukee tutkittavan aiheen ymmärtämistä. Suu-
rin haaste tutkimuksen toteuttamisessa oli havaintolomakkeiden täyttäminen.
Työmaan henkilökunnalla on omat työt hoidettavana, joten havaintolomakkei-
den täyttäminen oli ylimääräistä työtä kiireiseen arkeen. Tulokset pyrittiin ana-
lysoimaan laadukkaasti, jotta tutkimuksista saatu tieto olisi tehokkaasti käytet-
ävissä. Kokemattomalle tutkimuksen tekijälle tuotti suurta päänvaivaa kysely-
tutkimuksen avointen kysymysten vastauksien analysointi ja koostaminen hyö-
dynnettävään muotoon.

Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisussa Rakennusalan kil-
pailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa (Ahonen ym. 2020) kerrotaan, että
rakentamisen tuottavuuskasvu on ollut lähes olematonta koko 2000-luvun
ajan. Opinnäytetyön tutkimuksen aikana esiin nousseiden havaintojen perus-
teella taloudellisesta näkökulmasta kiinnostava jatkotutkimuskohde olisi laatu-
poikkeamien vaikutus hankkeen kustannuksiin ja aikatauluviivästyksiin. Tutki-
muksessa voitaisiin seurata, kuinka taloudellisesti kannattavaa olisi lisätä re-
sursseja suunnitteluvaiheeseen. Vähentäisikö laadukkaasti ja sidosryhmien
kanssa yhteistyössä tehty suunnittelu työmaan aikaisia lisätöitä ja tekisi näin
hankkeesta kustannustehokkaamman.

LÄHTEET

Aaltonen, P. 2016. Hervannan kerrostaloja. YLE:n artikkeli. Saatavissa: <https://yle.fi/a/3-9003212> [viitattu 19.9.2023].

Abedi, M., Fathi, M.S., Mirasa, A.K. & Rawai, N.M. 2016. Integrated collaborative tools for precast supply chain management. *Scientia Iranica* 2, 429-448. Verkkojlehti. Saatavissa: [Integrated Collaborative Tools for Precast Supply Chain Management \(sharif.edu\)](https://www.sharif.edu/~scimanager/2016/2/429-448.pdf) [viitattu 28.9.2023].

Ahonen, A., Ali-Yrkkö, J., Avela, A., Junnonen, J-M., Kulvik, M., Kuusi, T., Mäkäpäinen, K. & puhto, J. 2020. Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta. Helsinki: Valtioneuvoston Kanslia. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/162186> [viitattu 16.11.2023]

Betonielementtien toleranssit 2011. 2020. 3. Painos. Helsinki: Betoniteollisuus ry.

Betonikeskus ry. 2006. Betonivalmisosien laatuerojen käsittely. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/toimitus/vastaanot-totarkastus> [viitattu 19.9.2023].

Betoniteollisuus ry. 2012. Betonivalmisosatoimitusten toimintamalli. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/toimitus> [viitattu 21.9.2023]

Betoniteollisuus ry. 2020a. Elementtien asennus. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.10.2020. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/asennus> [viitattu 20.9.2023].

Betoniteollisuus ry. 2020b. Elementtirakentamisen historia. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.9.2020. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisararentaminen/elementtirakentamisen-historia> [viitattu 18.9.2023].

Betoniteollisuus ry. 2020c. Teollinen valmisararentaminen. WWW-dokumentti. Päivitetty 23.9.2020. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/valmisararentaminen> [viitattu 20.9.2023].

Betoniteollisuus ry. 2020d. Vastaanottotarkastus. WWW-dokumentti. Päivitetty 1.10.2020. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/toimitus/vastaanot-totarkastus> [viitattu 25.9.2023].

Betoniteollisuus ry. 2023a. Betonivalmisosatoimitusten toimintamalli suunnittelusta asennukseen. WWW-dokumentti. Päivitetty 27.3.2023. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/toimitus> [viitattu 21.9.2023].

Betoniteollisuus ry. 2023b. Normit ja standardit. WWW-dokumentti. Päivitetty 17.3.2023. Saatavissa: <https://www.elementtisuunnittelu.fi/suunnittelupro-sessi/normit-ja-standardit> [viitattu 19.9.2023].

Carleton, E. 2019. Evaluating and diagnosing formed surface imperfections. *Precast inc. Magazine*. Verkkolehti. Saatavissa: <https://pre-cast.org/2019/07/evaluating-and-diagnosing-formed-surface-imperfections/> [viitattu 19.9.2023].

Heikkilä, L-M. 2021. Suunnittelun ohjauksen tiedonhallinnan kehittäminen kohdeyrityksen rakennushankkeessa. Vaasan yliopisto. Tekniikan ja innovaatiojohtamisen yksikkö. Pro-gradu -tutkielma. PDF-dokumentti. Saatavissa: https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/12867/Pro%20Gradu_Heikkila-Lasse-Matti.pdf?sequence=2&isAllowed=y [viitattu 17.11.2023]

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. 15. painos. Helsinki: Tammi.

Jyväskylän yliopisto. 2018. Kyselyiden tyypit. WWW-dokumentti. Päivitetty 6.9.2018. Saatavissa: https://www.jyu.fi/digipalvelut/fi/ohjeet/korppi-ohjeet/kyselyt/kyselyt_tyypit [viitattu 24.10.2023]

Koskenvesa, A. & Teriö, O. 2013. Elementtitoimitusten kipupisteet – tuottava runkorakentaminen. Teoksessa Autio, A., Hatakka, K., Juntila, A., Kukko, H., Kurnitski, J., Laamanen, P. & Rautiola, M. (toim.) Rakentajain kalenteri 2013. Helsinki: Rakennustieto Oy, 151–154.

Laitinen, E. (toim.) 1996. Teollinen betonirakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.

Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä. 21.12.2012/954.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (Alueidenkäyttölaki). 5.2.1999/132.

Moilanen, T., Ojasalo, K. & Ritalahti, J. 2006. Kehittämistyön menetelmät. Uudenlaista osaamista liiketoimintaan. Helsinki: WSOYpro Oy.

Ratu KI-6029. 2017. Rakennustieto. Rakennustöiden laatu RTL 2017.

RT 02-10996. 2010. Rakennustieto. Rakennusalan toleranssit, toleranssien määritelmät ja suositeltavat lukuarvot.

RT 10-11222. 2016. Rakennustieto. Talonrakennushankkeen kulku. Rakennushankkeen osapuolet.

RT 16-10660. 2016. Rakennusurakan yleiset sopimusehdot.

SFS-EN 13369. 2018. Betonivalmisteiden yleiset säännöt.

SFS-EN 13670. 2010. Betonirakenteiden toteutus.

SRV Rakennus oy. 2023. Betonivalmisteiden asennussuunnitelma. Pöytäkirja. Julkaistu 21.6.2023.

SRV. 2023. Rakennustuotannon laatusuunnitelma. Asiakirja. Lähde yrityksen SRV hallussa. Julkaistu 16.2.2023.

Suomen betoniyhdistys. 2019. Betonirakentamisen laatuohjeet 2019. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Vilka, H. 2021. Tutki ja kehitä. Jyväskylä: PS-kustannus.

Yee, A. 2001. Social and Environmental Benefits of precast Concrete Technology. *PCI Journal* 3, 14–19. Verkkolehti. Saatavissa: https://www.pci.org/PCI/Publications/PCI_Journal/Issues/2001/May-June/Social_and_Environmental_Benefits_of_Precast_Concrete_Technology.aspx [viitattu 4.10.2023].

Ympäristöministeriö. s.a. Rakennustuotteiden kansalliset hyväksyntämenettelyt. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/rakennustuotteiden-kansalliset-hyvaksyntamenettelyt> [viitattu 27.9.2023].

Ympäristöministeriö. 2013. Usein kysytyt kysymykset: CE-merkintä. Kohde-ryhmä: rakennushankkeeseen ryhtyvä ja suunnittelija. PDF-dokumentti. Saatavissa: <https://ym.fi/ce-merkinta> [viitattu 27.9.2023].

SRV Rakennus OY

Työmaa:

Elementin tunnus: _____ Saapumispäivämäärä: _____

1. Elementin laatupoikkeama syntynyt:

(Rastita oikea vaihtoehto)

Suunnittelussa

Tehtaalla

Kuljetuksessa

Varastoinnissa

Asennuksessa

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

2. Toimenpide:

(Rastita oikea vaihtoehto)

Elementti voidaan asentaa ilman toimenpiteitä

Elementti voidaan asentaa toimenpiteiden/korjauksen jälkeen

Elementti hylätään

Elementti on asennettu ja vauriot korjataan myöhemmin

<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>

3. Kuvaile laatupoikkeamaa:

Betonielementtien laadunvalvonta

1. Valitse työtäsi kuvaava vaihtoehto

- Rakennuttaja
- Suunnittelija
- Elementtitoimittaja
- Elementtiasennusliike
- Rakennusliike □

2. Mikä on mielestäsi hyvää ja toimivaa betonielementtirakentamisessa tällä hetkellä?

3. Mitä haasteita ja ongelmia kohtaat betonielementtirakentamisessa?

4. Miten havaittuihin haasteisiin ja ongelmiin reagoidaan yksikössäsi?

5. Millä toimenpiteillä varmistatte laadukkaan betonielementtirakentamisen?

6. Miten kehittäisitte betonielementtirakentamista?

7. Miten kehittäisitte yhteistyötä eri toimijoiden (rakennuttaja/suunnittelija/elementtitoimittaja/elementtiasennusliike/rakennusliike) välillä?

**8. Onko sinulle jäänyt jokin erityisen hyvä tai huono kokemus
betonielementtirakentamisesta mieleen?**
