

Kalle Ahola

# Betonitoimitusten logistiikka

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Rakennustekniikka

Insinöörityö

3.10.2015

Tekijä(t) Otsikko	Kalle Ahola Betonitoimitusten logistiikka
Sivumäärä Aika	56 sivua + 2 liitettä 3.10.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Rakennustekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Rakennustuotanto
Ohjaaja(t)	Hallituksen puheenjohtaja Marko Paavola Lehtori Juha Virtanen
<p>Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin betonitoimitusten logistiikkaa Porvoon Paalurakenne Oy:ssä. Työn näkökulmana toimi valmisbetonin tilaajayrityksen kustannustehokkuus ja eri työmaiden välinen yhteistoiminta. Opinnäytetyön ulkopuolelle rajattiin betonoinnin varsinainen toteutus eli tiivistäminen, työstö ja jälkihoito. Työn tarkoitus oli tarkastella syntyviä kustannuksia betonin valmistuksesta aina ylijäämäbetonin loppusijoittamiseen asti. Konkreettisia tavoitteita olivat nykyisten kustannusten selvittäminen ja niiden pienentäminen, tehokkaamman betonointimallin luominen, kustannustehokkaan betoninsiirtomenetelmän valinta erilaisiin betonointeihin sekä selkeämpi betonoinnin toteuttaminen.</p> <p>Työskentely aloitettiin tutustumalla eri lähdetietoihin. Näitä lähdetietoja olivat aiheeseen liittyvä kirjallisuus, julkiset lähteet ja yrityksen sisäiset lähteet. Nämä lähtötiedot antoivat perustan betonoinnin logististen kustannusten ymmärtämiselle. Lähtötietoihin tutustumisen yhteydessä suoritettiin yrityksen sisäisiä haastatteluja ja luotiin työnjohtajille sekä työntekijöille suunnattu kyselylomake. Haastattelut ja kyselylomakkeet antoivat kuvan tämänhetkisen betonoinnin tilanteesta Porvoon Paalurakenne Oy:ssä; mitä asioita pidettiin toimivina ja mitkä asiat koettiin ongelmiksi.</p> <p>Opinnäytetyössä vertailtiin eri betoninsiirtomenetelmiä, luotiin teoreettisia kustannussäästökohteita, tarkasteltiin yhteistoiminnan hyötyjä ja riskitekijöitä sekä tehtiin laskelmia kustannussäästöjen suuruudesta. Eri keinoja kustannustehokkuuden parantamiseksi olivat mm. betonoinnin suunnittelun parantaminen, ylijäämäbetonin hyödyntäminen ja betonoinnin aloitus ajankohdan aikaistaminen. Teoreettisia malleja testattiin tämän jälkeen käytännössä hyvin testituloksin.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena syntyi uudistettu betonointimalli betonitöiden toteuttamiseen sekä betonoinninsuunnitteluun käytettävät lomakkeet. Opinnäytetyötä hyväksi käyttäen voidaan valita oikea betonin siirtomenetelmä ja pohtia eri betonointien yhdistämisen järkevyyttä.</p>	
Avainsanat	betoni, logistiikka, kustannukset

Author(s) Title Number of Pages Date	Kalle Ahola Logistics of Concrete Delivery 56 pages + 2 appendices 3 October 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Civil Engineering
Specialisation option	Construction and Site Management
Instructor(s)	Marko Paavola, Chairman of the Board Juha Virtanen, Senior Lecturer
<p>The objective of this Bachelor's thesis was to explore the logistics of concrete delivery. The thesis was commissioned by Porvoon Paalurakenne Oy. The goal was to analyze the cost-effectiveness of the subscriber company ordering ready-mix concrete, and also the cooperation between the various construction sites was examined. However, the actual implementation of concreting such as compacting, working with concrete and after-care are not discussed in this thesis. The targets of this thesis were the following: studying the present costs and the reduction of future costs, the creation of more efficient concrete models and the selection of cost-effective concrete transfer methods as well as developing more explicit instructions for concrete work.</p> <p>The study was started by familiarizing with the sources of information. These sources of information were topic-related literature, public sources and the company's internal sources. These sources of information acted as a basis for the understanding of the logistics costs of concreting work. Furthermore, a questionnaire for supervisors and construction workers was created and interviews were carried out inside the company. These interviews and questionnaires gave a picture of the current concreting situation in Porvoon Paalurakenne Oy, e.g. what methods were considered functional or problematic.</p> <p>In this thesis different kinds of concreting methods were compared. In addition, theoretical cost savings, and the benefits and risks of cooperation were examined. Calculations of the quantity of cost savings were also made. Different ways to improve cost-effectiveness were, for example improving concreting planning, utilization of surplus concrete and starting concrete work earlier. The theoretical models were tested in practice, with positive results.</p> <p>As a result, a revised concreting model for carrying out concrete work and also forms for concreting planning were created. Utilizing this thesis, the right concrete transfer method can be chosen and also the rationality of combining different concreting work methods can be examined.</p>	
Keywords	concrete, logistics, costs,

## Sisällys

1	Johdanto	1
1.1	Yritys	1
1.2	Tausta	2
1.3	Opinnäytetyön tavoite	3
1.4	Rajaus	3
1.5	Menetelmät	4
1.5.1	Nykyisen aineiston hyödyntäminen	4
1.5.2	Haastattelut ja kyselylomakkeet	4
1.5.3	Omien kokemusten hyödyntäminen	4
1.5.4	Kustannussäästöjen luominen	5
2	Betonin hinta ja kuljetus työmaalle	6
2.1	Betonin hinnan muodostuminen	6
2.2	Betonin kuljetus työmaalle	9
3	Betonin siirtomenetelmät työmaalla	11
3.1	Valukouru	12
3.2	Hihnakuuljetin	12
3.3	Kuljetuspumppuauto	14
3.4	Autobetonipumppu	14
3.5	Nostoastiabetonointi	15
3.6	Työntökärryt, dumpperi, traktori, kurottaja	16
3.7	Siirtomenetelmien vertailu	16
3.8	Työntekijäkustannukset	19
4	Betoni Porvoon Paalurakenne Oy:ssä	21
4.1	Käytetty betoni vuonna 2014	21
4.2	Tietojen hyödyntäminen	22
5	Haastattelut ja kyselylomakkeet	23
5.1	Haastattelut	23
5.1.1	Työpäälliköiden haastattelut	23
5.1.2	Työnjohtajien haastattelut	25
5.1.3	Työntekijöiden haastattelut	27
5.2	Kyselylomake	28

5.2.1	Kyselylomakkeen sisältö	28
5.2.2	Tulokset ja johtopäätökset	29
6	Teoreettiset säästö- ja tehostamiskohteet	34
6.1	Valun suunnittelun parantaminen	34
6.1.1	Nykyinen valun suunnittelu	34
6.1.2	Suunnittelun parantaminen	35
6.2	Ylijäämäbetoni	37
6.2.1	Ylijäämäbetonin aiheuttamat kustannukset	37
6.2.2	Ylijäämäbetonin minimointi	38
6.2.3	Ylijäämäbetonin hyödyntämismahdollisuudet	40
6.3	Edullisemmän betonin käyttö	41
6.4	Betonoinnin aloitusajankohdan valinta	42
7	Eri työmaiden betonointien yhdistäminen	43
7.1	Yhteistoiminnan hyödyt	43
7.2	Laadulliset riskitekijät	44
7.3	Kustannusriskit	46
7.4	Hyödyt vastaan riskit	47
7.5	Missä yhteisvalua kannattaa hyödyntää	48
8	Käytännön testaus	51
8.1	Betonoinninsuunnittelu lomakkeiden hyödyntäminen	51
8.2	Ylijäämäbetoni	52
8.2.1	Ylijäämäbetonin määrä	52
8.2.2	Ylijäämäbetonin hyödyntäminen	52
8.3	Betonoinnin aloitusajankohdan valinta	54
9	Loppupäätelmät ja yhteenveto	55
	Lähteet	56
	Liitteet	
	Liite 1. Alustava betonoinninsuunnittelulomake	
	Liite 2. Lopullinen betonoinninsuunnittelulomake	

# 1 Johdanto

## 1.1 Yritys

Opinnäytetyö toteutetaan Porvoon Paalurakenne Oy:lle. Porvoon Paalurakenne Oy on maanrakentamiseen, teollisuusrakentamiseen, betonirakentamiseen ja kunnossapitoon erikoistunut rakennusliike. Yrityksen päätoimipaikka sijaitsee Porvoon Kilpilahdessa. Yrityksen liikevaihto vuonna 2014 oli noin 17,6 miljoonaa euroa. [1.]

Yritys on perustettu vuonna 2006 Marko Paavolan toimesta. Yrityksen toimitusjohtajana toimii Jaani Karavirta ja hallituksen puheenjohtajana Marko Paavola. Molemmat toimivat yrityksessä myös työpäälliköiden ominaisuudessa. Heidän lisäksi yrityksen avainhenkilöihin kuuluvat viisi työnjohtajaa sekä työsuojelupäällikkö Tomi Hyppönen.

Porvoon Paalurakenne Oy:n liikeidea on tuottaa rakentamispalveluja teollisuudelle ja julkisille asiakkaille Etelä-Suomen alueella. Ydinosaamiseksi voidaan mainita teollisuusrakentaminen Kilpilahden alueella; Neste Oilin ja Borealiksen spesifikaatioiden, määräysten ja työtapojen mukaisesti. Ydinosaamisen tukena toimii laaja palvelutarjonta sisältäen vaativat betonirakenteet, kunnallistekniset työt, korjausrakentamisen, uudisrakentamisen sekä teollisuuden investointi- ja kunnossapitopalvelut. [2.]

Yritys on pystynyt kasvattamaan liikevaihtoaan, pitäen samalla liiketuloksensa erinomaisena. Viime vuonna yrityksen omien työntekijöiden lukumäärä oli noin 80 henkilöä, jonka lisäksi yritys työllistää vuokratyöntekijöitä sekä lukuisia aliurakoitsijoita. [3.]

Vuonna 2014 Porvoon Paalurakenne Oy käytti betonia n. 5600 kuutiota [4].



Kuva 1: Porvoon Paalurakenne Oy:n logo [2].

## 1.2 Tausta

Aloitin työskentelyn Porvoon Paalurakenne Oy:ssä toukokuussa 2014. Tätä ennen olin osallistunut melko rajallisesti betonitöihin ja edellisissä työpaikoissa betonoinnit oli keskitetty harvoille, hyvin suunnitelluille valupäiville. Muutos menneeseen oli valtava, sillä Porvoon Paalurakenteella sain nopeasti huomata lähes jokaisen päivän olevan valupäivä.

Tilannetta vaikeutti entisestään se, että yleisenä tapana yrityksessä oli betonoida useilla työmailla peräkkäin saman päivän aikana. Varsinkin alussa oli siis paljon epätietoisuutta siitä mihin kellonaikaan minun vastuulla olevat muotit oli tarkoitus valaa.

Muuttuvia tekijöitä oli muutenkin varsin paljon, alla muutamia esimerkkejä:

- Paljonko betonia on jäljellä valun siirtyessä minulle?
- Onko edellisessä työkohteessa käytetty betoni soveltuvaa minulle?
- Tilaanko itse lisää betonia vai onko sitä jo tulossa?
- Mitä betonia seuraava työkohde vaatii ja paljonko betonia tulisi tilata?

Kesän myötä tilanne tietenkin helpottui, kun ”kasvoin” osaksi yritystä ja omaksuin sen toimintamallin. Tästä huolimatta näen betonoinnin logistiikan kehittämisessä sekä siihen liittyvässä työnsuunnittelussa parantamisen varaa ja niinpä valitsinkin sen opinnäytetyön aiheeksi. Betonoinnin osuus Porvoon Paalurakenne Oy:ssä on merkittävä kustannuserä ja sen tarkastelu on tästäkin näkökulmasta hyödyllistä.

Tehokas, nopea ja laadun varmistava betonointi vaatii pohjakseen työnsuunnittelun, jolla varmistetaan lopputuotteen onnistuminen [5].

### 1.3 Opinnäytetyön tavoite

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää betonitoimitusten logistiikkaa erityisesti kustannustehokkuuden näkökulmasta. Konkreettisia tavoitteita ovat nykyisten kustannusten selvittäminen sekä tulevaisuuden kustannusten pienentäminen, työmaiden yhteistoinnin hyötyjen ja riskien kartoitus, tehokkaamman betonointimallin luominen sekä selkeämpi betonoinnin toteuttaminen ja aikataulusuunnittelun kehitys.

Tähän tavoitteeseen päästään kehittämällä betonointitöiden suunnittelemiseen ja toteuttamiseen liittyviä osakokonaisuuksia toimivammaksi malliksi sekä etsimällä säästökohteita yksittäisistä tekijöistä. Ennen uuden luomista, on tietenkin tutkittava vanhoja tapoja ja niihin liittyviä ongelmia ja kehitysmahdollisuuksia, unohtamatta niiden hyviä puolia.

Henkilökohtaisena tavoitteena on opinnäytetyön jälkeen ymmärtää paremmin, mistä tekijöistä betonoinnin logistiset kustannukset muodostuvat ja millä keinoin sen osakokonaisuuksiin pystytään vaikuttamaan.

### 1.4 Rajaus

Työn ulkopuolelle rajataan kokonaan muotti- ja raudoitustyöt sekä muotipurku. Betonoinnissakin keskitytään betoni toimitusten logistiikkaan ja varsinaista betonointityötä käsitellään ainoastaan siinä määrin, kun se on aiheen kannalta tarpeellista. Aihetta tarkastellaan valmisbetonin tilaajan näkökulmasta.

Opinnäytetyö keskittyy Porvoon Paalurakenne Oy:n betonitoimitusten logistiikkaan, eikä se välttämättä sellaisenaan ole yleishyödyllinen muille rakennusalan yrityksille. Hintojen vertailussa ja esimerkki laskuissa tulemme käyttämään Rudus Oy:n Betonin, kuljetuksen ja siirtokaluston yleistä hinnastoa 1.1.2015 Etelä- Suomen alueelle. Hinnat esitetään ALV 0 % hintoina. [7.]

## 1.5 Menetelmät

### 1.5.1 Nykyisen aineiston hyödyntäminen

Ensimmäinen vaihe uuden luomisessa on olemassa olevan materiaalin hyödyntäminen. Opinnäytetyö aloitettiin tutustumalla erilaisiin kirjallisiin lähteisiin. Kirjallisina lähteinä toimivat useat aihetta käsittelevät ja sivuavat kirjat, julkiset lähteet (tuotantotiedot kuten Ratu) sekä yrityksen sisäiset lähteet.

Yrityksen sisäisiä lähteitä olivat mm. Ruduksen-betonilaskut, Ruduksen kuormaraportti 2014, Ruduksen ja Porvoon Paalurakenne Oy:n välinen hinnasto, urakkalaskentamuisiot, ylijäämä betonin määrä ja siihen liittyvät kustannukset yms.

Näiden lähteiden avulla saatiin kokonaiskuva betonitoimitusten logistiikkaan liittyvistä tekijöistä sekä niiden vaikutuksista valmisbetonin tilaajayritykseen.

### 1.5.2 Haastattelut ja kyselylomakkeet

Pohjatietoihin tutustumisen jälkeen suoritettiin useita haastatteluja ja laadittiin työnjohtajille sekä työnsuorittajille suunnattu kyselylomake.

Näiden pääasiallinen tehtävä oli tuoda esiin keskeisimmät betonointiin liittyvät ongelmakohdat ja ehdotukset kustannussäästöjen luomiselle. Periaate oli, että mitä laajempi otanta, sitä enemmän saisin näkökulmaa tutkimuksiini.

### 1.5.3 Omien kokemusten hyödyntäminen

Jokaisen yrityksen toimintatavat eroavat toisistaan, eikä niitä yleensä ole kirjattu ohjeiksi tai säännöiksi. Olen kuluneen vuoden aikana osallistunut kymmeneen betonointeihin, niin työnjohtajana kuin työnsuorittajana. Onnistumisia ja ongelmia on osunut matkan varrelle useita ja näiden perusteella kokonaiskäsitykseni betonoinnin suorittamisesta Porvoon Paalurakenne Oy:ssä on tarkentunut.

Opinnäytetyössä käytettiin hyväksi näiden kokemusten perusteella syntynyttä kokemusperäistä tietoa, varsinkin silloin kun haastatteluissa taikka kyselylomakkeissa saatiin tukea näille mielipiteille. Opinnäytetyössä pyrittiin järkeistämään kokemusperäiset tiedot mahdollisimman tarkasti, jolloin fakta erottuisi fiktiosta.

#### 1.5.4 Kustannussäästöjen luominen

Kirjallisten tutkimuksien ja haastatteluiden perusteella luotiin teoriamalleja mahdollisista kustannussäästöistä. Näihin sisältyi mm. ylijäämäbetonin hyötykäyttö, lomakkeet betonoinnin suunnitteluun, halvemman betonin käyttö, oikean betonointitavan valinta sekä työkustannusten pienentäminen. Lisäksi vertailtiin teoreettisella tasolla työmaiden yhteistoiminnan kannattavuutta betonointeja suoritettaessa.

Teoriamallien luomisen jälkeen oli aika siirtyä käytäntöön. Useimpia teoriamalleja testattiin käytännössä. Testijaksojen perusteella pyrittiin erottelamaan teoriamalleista ne jotka toimivat myös käytännössä.

## 2 Betonin hinta ja kuljetus työmaalle

Tässä luvussa tarkastellaan raaka-aine betonin hinnan muodostumista sekä betonin siirron kustannuksia betonitehtaalta työmaalle. Raaka-ainehinta ja siirtokustannukset ovat betonin käytön keskeisimpiä kustannustekijöitä. [6, s.153 - 154.]

### 2.1 Betonin hinnan muodostuminen

Betoni koostuu runkoaineesta eli kiviaineksista, sementistä ja vedestä. Näiden pääraaka-aineiden lisäksi betonissa käytetään erilaisia lisä- ja seosaineita. Eri raaka-aineiden laadusta, määrästä ja suhteista muodostuu lopullisen betonin ominaisuudet ja hinta. [8, s.138-139; 9, s.31.]

**Taulukko 1: Betonin valmistuskustannusten jakautuminen prosentuaalisesti [6, s. 153].**

<b>Kustannuslaji</b>	<b>Osuus kustannuksista</b>
<b>Sideaineet (sementti ja/ tai lentotuhka)</b>	43,2 %
<b>Kiviaines</b>	31,5 %
<b>Yleiskustannukset (mm. tilakustannukset)</b>	10,0 %
<b>Energia</b>	6,3 %
<b>Palkat</b>	9,0 %

Yllä olevan taulukon 1 perusteella nähdään, että valmisbetonin hinnasta lähes 75 % koostuu raaka-aineista. Varsinkin sideaineiden raaka-aine hintojen nousu kasvattaa silloin huomattavasti myös valmisbetonin hintaa.

Työmaalla käytettävän betonin hinta määräytyy pitkälti niiden ominaisuuksien mukaan, joita kovettuneelta betonilta rakenteessa vaaditaan. Ominaisuudet määrittelee rakennesuunnittelija toteutuspiirustuksissaan. Rakennesuunnittelija määrittää esimerkiksi:

- lujuus- ja rakenneluokan
- rasitusluokan
- suunnitellun käyttöiän
- kiviaineen maksimiraekoon
- betonipeitepaksuuden mittapoikkeamiseen
- purkulujuudet
- toleranssit ja pintaluokat. [9,s. 301.]

Vain harvoin on tilanne, kun rakennesuunnitelmissa taikka työselostuksissa määrätyt betonivaatimukset määräävät käytettävän betonin niin tarkasti, ettei betonin hintaan pystytä vaikuttamaan. Rasitusluokiltaan ja lujuudeltaan määrättyä betonin hintaa on mahdollista laskea sekä korottaa. [6, s.152; 7, s.5 - 14.]

Betonin hinnan laskeminen on mahdollista varsinkin, kun betonointiolosuhteet ovat suopeat, lujuuden kehitykselle ei ole asetettu tiukkaa aikataulua tai betonoitava rakenne on helppo, eikä aseta erityisiä vaatimuksia esim. työstettävyydelle. Sementti on betonin raaka-aineista kallein, joten sen määrä betonissa vaikuttaa eniten betonin raaka-ainekustannuksiin. Betonin hintaa voidaan alentaa korvaamalla osa tarvittavasta sementistä esimerkiksi hyvälaatuisella lentotuhkalla. Työmaan betonin valinta ei saa kuitenkaan koskaan olla ristiriidassa suunnitelmissa esitellylle valinnalle. [9, s. 301 - 303; 6, s.153.]

Yleisiä betonin hintaa laskevia tekijöitä:

- pieni lujuusluokka.
- suuri maksimi raekoko.
- notkeusluokaltaan jäykkä betoni.
- normaalisti kovettuva betoni. [7, s.5 - 7].

Betonin hintaa nostavia tekijöitä on paljon ja varsinkin Suomen sääolosuhteissa näiden merkitys betonin hintaan on usein merkittävä. Näitä tekijöitä tarvitaan, kun betonointi olosuhteet ovat epäsuotuisat (kylmyys, kuumuus yms.), kun betonin työstettävyydelle asetetaan erityisvaatimuksia tai kun lujuudenkehitys on ensiarvoisen tärkeää esimerkiksi aikataulullisista syistä. Kun betonin lujuusluokkaa nostetaan, nousevat myös hankintakustannukset. Yksittäiset toimenpiteet nostavat betonin hintaa n. 5 - 20 %. Tästä poikkeuksena pakkasessa kovettuvan betonin käyttö, joka nostaa betonimassan hintaa n. 50 - 70 %. [5, s.49 - 50; 6, s.152; 7, s.12 - 14.]

Seuraavassa taulukossa on esitetty Ruduksen valmisbetonin yleisiä lisäkustannuksien syitä ja kustannusvaikutusta:

**Taulukko 2: Betonin lisäkustannuksien syitä ja hintoja [7, s.12 - 14].**

<b>Lisäkustannuksen syy</b>	<b>Lisäkustannuksen hinta</b>
<b>Notkistus 1 nlk</b>	6,20 e/ m <sup>3</sup>
<b>Toimituslämpötila +25 °C</b>	6,00 e/ m <sup>3</sup>
<b>Toimituslämpötila +35 °C</b>	10, 00 e/ m <sup>3</sup>
<b>Vesitiiveytilisä</b>	5,40 e/ m <sup>3</sup>
<b>Kiviaineen lämmityslisä</b>	6, 00 e/ m <sup>3</sup>
<b>Pakkasbetoni (C25/30)</b>	76,9 e/ m <sup>3</sup>

## 2.2 Betonin kuljetus työmaalle

Betonin kuljetus betonitehtaalta työmaalle on järjestettävä siten, että betonimassa pysyy betonointiin asti homogeenisenä sekä notkeana, eikä sitoutuminen ole alkanut ennen betonointia. Nyrkkisääntönä mainittakoon, että betoni tulee saada muotteihin viimeistään kahden tunnin kuluessa betonimassan valmistuksesta. [10, s. 58 – 59.]

Betonin siirto betonitehtaalta työmaalle aiheuttaa aina kustannuksia. Kustannuksien suuruuteen vaikuttavat kuljetusmatka, toimitusaika, kuljetuskalusto ja purkamisaika. Tämä kustannusosa on muuttumattomin, mutta varsinkin pienissä valuissa merkittävä tekijä, jonka suuruutta kannattaa tarkastella. Sen suuruuteen vaikuttaminen tapahtuu lähinnä vuosisopimuksia laadittaessa. Ruduksen oman yleishinnaston (1.1.2015) mukaan 20 km kuljetusmatkalla ja 8 m<sup>3</sup> sekoitussäiliöautolla kuljetuksen hinnaksi tulisi 139,15 euroa. Sekoitussäiliöauton ollessa täysi, syntyy kuljetuksesta lisähintaa kuutiota kohden 17,39 euroa, kun taas kahden kuution kuormassa lisähintaa kuutiota kohden muodostuu jopa 69,56 euroa. Pienien betonimäärien kuljettaminen tulee siis betonikuutiota kohden merkittävästi kalliimmaksi, kuin täysien kuormien. Alle kuution betonoinneissa hintaan lisätään vielä pientoimituslisä 15 e/m<sup>3</sup>. Näin pienen määrän tilaaminen työmaalle on kuitenkin harvinaista ja vain harvoin perusteltavissa. [6, s.153; 7, s.14 – 15.]

Nykyään betoni kuljetetaan työmaalle lähinnä yksinomaan sekoitussäiliöautoilla, joiden säiliöiden koot vaihtelevat välillä 3 m<sup>3</sup> - 12 m<sup>3</sup>. Oikean kokoisen kuljetusauton valinta voi tuoda säästöä betonointiin, jos esimerkiksi 9 m<sup>3</sup> valu voidaan suorittaa vain yhtä kuljetusautoa käyttäen. Erikoistilauksesta betoni voidaan toimittaa työmaalle myös allassäiliöautolla, mutta sen käyttö on marginaalista. [7, s. 21 - 22; 10, s.58 – 59.]

Taulukko 3: Sekoitussäiliön ja allassäiliöauton ominaisuuksia [7, s. 21 - 22; 10, s.58 – 59.]

Ominaisuus	Sekoitussäiliöauto	Allassäiliöauto
Tilavuus (m <sup>3</sup> )	3-12	2-5
Kuljetusaika (max)	90 min	45 min
Mahdollisuus sekoitukseen	On	Ei

Yllä olevassa taulukossa mainitusta sekoituksesta on kahdenlaista hyötyä. Ensinnäkin betonimassan homogeenisuus voidaan varmistaa sekoittamalla sitä työmaalla ennen valua, joka taas takaa tasaisesti laadukkaan betonin. Toisekseen sekoitus mahdollistaa lisäaineiden (esim. notkistimen) käytön työmaalla. [7, s.21.]

### 3 Betonin siirtomenetelmät työmaalla

Betonin siirtoon kuljetusautosta muottiin on yleensä monta eri vaihtoehtoa ja valitun siirtomenetelmän vaikutus kustannuksiin on merkittävä. Seuraavaksi esitellään ja vertaillaan eri menetelmiä ja laitteita. Betonointitavan valintaa tehdessä on huomioitava erityisesti:

- valukohteen sijainti, etäisyydet ja korkeussuhteet
- valukohteen tyyppi, laajuus ja muoto
- aikataulu, betonointinopeus ja betonimäärä. [9, s. 309.]
- käytettävän massan ominaisuudet. [7, s.21.]
- kustannukset. [7, s.21.]

Yllämainitut asiat selvitetään ennen betonin tilausta ja valitun betonointitavan vaativan kaluston saatavuus varmistetaan betonitilauksen yhteydessä [11, s.32].

Työmaalla tapahtuvien betonin siirron kustannuksien muodostumista käsitellään ensin yleisellä tasolla esitellen eri vaihtoehtojen etuja ja haittoja. Tämän jälkeen selvitetään teoreettisia kustannuksia ja pyritään vertailemaan eri siirtomenetelmiä käyttäen hyväksi Rudus Oy:n Betonin, kuljetuksen ja siirtokaluston hinnastoa 1.1.2015 Etelä-Suomen alueelle. Annettujen hintojen tarkoitus on mahdollistaa esim. eri siirtomenetelmien kustannusvertailun keskenään, eivätkä ne toimi absoluuttisina totuuksina oikeista hinnoista. Oikeat hinnat löytyvät Rudus Oy:n ja Porvoon Paalurakenne Oy:n vuosisopimuksesta, jota ei voida tässä opinnäytetyössä käyttää hyväksi salassapitovelvollisuuden takia. Esimerkeissä käytettävät hinnat ovat ALV 0 % hintoja. [7.]

### 3.1 Valukouru

Valukourua käytettäessä betonimassa siirretään sekoitussäiliöautosta suoraan muottiin käyttäen hyväksi sekoitussäiliöauton omaa valukourua; joko mekaanista tai hydraulista. Mekaanisen kourun ulottuvuus on yleisesti 2 - 4,5 m ja hydraulisen 4 - 7 m. Tämä betonointitapa on poikkeuksetta halvin; sitä käytettäessä säästytään kokonaan kustannuksilta, jotka muodostuvat betonia siirrettäessä työmaalla sekoitussäiliöautosta valettavaan kohteeseen. Näitä muiden betonointitapojen kustannuksia ovat esimerkiksi pumppauskustannukset, nosturin aiheuttamat kustannukset ja kuljetusauton odotuskustannukset. [7, s.16; 9, s. 310.]

Valukouru soveltuu käytettäväksi kuitenkin varsin harvoin. Määräävänä tekijänä on valettavan muotin sijainti. Muotin sijainnin on oltava betoniauton tyhjennyskohdan alapuolella ja enintään käytettävän kourun pituuden päässä kohdasta, johon betoniautolla on esteetön pääsy. [10, s. 64.]

Mekaanisen rännin käytöstä ei yleensä peritä lisäkustannuksia, jolloin betonin raaka-aine hinnan päälle tulee ainoastaan siirtokustannus tehtaalta työmaalle. Hydraulisen rännin käytön lisäkustannus vaihtelee Ruduksella välillä 30 - 50 euroa purettua kuormaa kohti [7, s.16].

### 3.2 Hihnakuuljetin

Hihnakuuljettimia on kolmea eri päätyyppiä:

- liikkuvat kuuljettimet.
- sivusta tyhjennettävät kuuljettimet.
- syöttökuuljettimet. [9, s. 312.]

Hihnakuuljettimet soveltuvat erityisesti suurten betonimäärien jatkuvaan siirtoon ja nauhamaisten rakenteiden betonointeihin [10, s. 64].

Siirtokuljetinauto (kuva 2) on laajennettu muoto valukourusta. Siinä sekoitussäiliöautoon on asennettu hydraulisesti säädettävä hihnakuuljetin. Hihnaa hyväksikäyttäen betonimassa voidaan siirtää myös ylöspäin ja pidempiä matkoja, kuin kourulla valettaessa. Siirtokuljettimen ulottuvuus on yleisesti välillä 10 - 14,5 m. [7, s. 23; 9, s. 312.]

Siirtokuljettimella varustettu auto on kalliimpi, kuin pelkällä valukourulla varustettu, mutta kuitenkin huomattavasti pumppuautoja edullisempi pienissä betonoinneissa. Kuorman purkamisen kustannus vaihtelee välillä 105 - 111 euroa. [7, s.16.]



Kuva 2: Siirtokuljetinauto [15].

### 3.3 Kuljetuspumppuauto

Kuljetuspumppuauto eli PuMi (lyhennys sanoista Pumpmixer) on sekoitussäiliöauton ja autobetonipumpun yhdistelmä. Kuljetuspumppuauton kyydissä voidaan tuoda betoni tehtaalta työmaalle ja pumpata se suoraan muottiin. Samoin kuin valukourua käytettäessä, tässäkin betonointitavassa riittää yksi ajoneuvo, eikä muita betoninsiirtolaitteita vaadita. [12].

Se soveltuu käytettäväksi varsinkin ahtaissa tiloissa, kun erilliselle pumppuautolle ja kuljetusautolle ei ole tilaa sekä yleisesti pienissä pumppausta vaativissa valukohteissa. Kuljetuspumppuauton etu suhteessa autobetonipumppuun on se, että samalla kerralla saadaan sekä betoni että pumppauskalusto. Suurissa valukohteissa kuljetuspumppuauton etu häviää, sillä pääsääntöisesti lisäkuormia tarvitaan yli 5 kuution valuissa. [7, s. 24; 10, s. 68; 12.]

Pumppausveloitus PuMi:a käytettäessä on normaali työaikana (klo. 6.30- 16.00) 152-170 euroa ensimmäisen puolen tunnin ajalta, jonka jälkeen veloitetaan 15,50- 19,50 euroa alkavaa 5 min. kohden [7, s. 17].

### 3.4 Autobetonipumppu

Autobetonipumppu eli pumppuauto on betonin siirtoon soveltuvalla puomilla varustettu kuorma-auto. Sen toimintaperiaate on samanlainen kuin kuljetuspumppuautolla, mutta se ei pysty kuljettamaan betonia mukanaan. Näin ollen pumppuauto vaatii aina parikseen betonin kuljetusauton, jolla betonimassa tuodaan työmaalle pumpattavaksi. Betonin siirto pumppaamalla on tehokkain betonin siirto muoto ja se on nykyään työmaiden tärkein betonin siirtotapa. [6, s.91; 9, s. 313 - 315; 12.]

Etuina suhteessa kuljetuspumppuautoon on parempi ulottuvuus sekä suurempi pumppausteho. Edellä mainituista syistä johtuen se on suurissa valukohteissa kustannustehokkaampi vaihtoehto kuin kuljetuspumppuauto. Sen tuntiveloitushinta vaihtelee laajasti puomin vaaka- ja pystysuuntaisen ulottuvuuden mukaan välillä 120 - 160 euroa/ tunti. Tämän päälle tulee lisähinta jokaisesta pumpatusta kuutiosta, jonka määrä vaihtelee välillä 15 - 25 euroa/ betonikuutio. [7, s. 17.]

Kuljetuspumppuautoa ja autobetonipumppua käytettäessä on huomioitava varata betonia auton perän verran ylimääräistä, eli noin 350 litraa. Varsinaisen betonoinnin jälkeen perä tyhjenetään työmaalle sopivaan paikkaan. Jollei perän betonia pystytä vastaanottamaan työmaalla veloitetaan kuljetus- ja jätteenkäsittelykuluina 48,90 euroa/ kerta. [7. s.17]



Kuva 3: Autobetonipumppu [16].

### 3.5 Nostoastibetonointi

Nostoastian eli jassikan käyttö vaatii aina parikseen nosturiauton tai torninosturin, jonka kapasiteetti riittää siirtämään nostoastiaa koko valettavan kohteen alalle. Se on kustannustehokkain vaihtoehto, kun suoritetaan suuria betonointeja sellaisissa paikoissa, mihin siirtokuljettimella tai autobetonipumpulla ei päästä. Nosturia voidaan hyödyntää myös työmaan muihin materiaalsiirtoihin, jolloin sen kustannukset jakaantuvat usein monelle eri työvaiheelle. Toisaalta varsinkin torninosturilla kuluu paljon aikaa edellä mainittujen nostojen suorittamiseen ja siten sillä on ainoastaan poikkeuksellisesti aikaa betonin nostoihin. [5, s. 67 - 70; 10, s. 65 - 67.]

Nostoastian käyttö betonoinnissa on mahdollista vain, kun valettavan alueen päällä ei ole estettä esimerkiksi holvia tai kattoa. Nostoastian tilavuus vaihtelee yleensä välillä 250- 900 litraa ja betoni otetaan siihen yleensä suoraan kuljetusauton säiliöstä [9, s. 313].

### 3.6 Työntökärryt, dumperi, traktori, kurottaja

Työntö- eli kottikärryt tulevat nykypäivänä kysymykseen vain sellaisissa pienissä valukohteissa, joihin ei kuljetusautolla pääse. Tällöinkin kohde pitää olla niin pieni, ettei sitä ole kannattavaa valaa esim. autobetonipumpulla. Työntökärryjen koko vaihtelee 100 litran ja 250 litran välillä. [9, s. 310 - 312.]

Moottorikäyttöisiä valuajoneuvoja ovat dumperi, traktori ja kurottaja. Niiden kuljetuskapasiteetti vaihtelee välillä  $0,45 \text{ m}^3$  -  $3 \text{ m}^3$ . Niiden käyttö on nykypäivänä vähäistä, eikä niitä useinkaan kannata hankkia työmaalle ainoastaan betonointia varten. Kustannussäästöjä voidaan saavuttaa silloin, kun kyseinen kone löytyy muutenkin työmaalta ja sen käytöllä voidaan eliminoida esimerkiksi nosturin tai pumpun tarve. Tällöinkin on syytä suorittaa tarkempia kustannusvertailu laskelmia. [5, s.67 - 70.]

### 3.7 Siirtomenetelmien vertailu

Eri siirtomenetelmien keskinäinen vertailu ei ole helppoa saati yksiselitteistä. Suurin vertailua hankaloittava tekijä on se, että kaikkia valutapoja ei voi hyödyntää eri kohteissa. Esimerkiksi valukourun käyttö on itsessään hyvin kustannustehokas valutapa, mutta sen käytettävyys on hyvin rajoittunut. [7, s.16.]

Seuraavissa esimerkeissä on vertailtu eri siirtotapojen kustannuksia erikokoisissa ja erityyppisissä betonoinneissa. Esimerkeissä keskitytään vain betonin siirtoon työmaalla, eli kustannuksiin ei sisälly betonin kuljetusta työmaalle. Esimerkkien tarkoitus on havainnollistaa, että betonoinnin logistisissa kustannuksissa on suuriakin eroja ja niiden vertailu kannattaa. On kallista suorittaa kaikki betonoinnit nykytrendin mukaisesti pumppaamalla, jos betonoinnin voi suorittaa lähes samassa ajassa käyttäen valukourua.

Esimerkki A. Valukohteena anturan valu, betonin määrä  $24 \text{ m}^3$ . Betoniauton saa ajettua joka puolella vähintään 5 metrin päähän ja anturan yläpinta on alempana, kuin ympäröivä maantaso. Oletetaan työmaalla olevan torni- tai ajoneuvonosturi.

Kustannustekijät	PuMi	Pumppu	Nostoastia	Valukouru
Palveluaikakorvaus/ 5 min	11,5 e	11,5 e	11,5 e	11,5 e
Palveluaikakorvausten lukumäärä	6	6	9	9
Työmiesten määrä	3	3	3	3
Työkustannus/ h	35	35	35	35
Betonointiaika	120 min	120 min	140 min	140 min
Nosturikustannus e/h			75	
Pumppukustannus e/h	215,5	120		
Pumppukustannus e/ $\text{m}^3$		15		
Pumppaamiseen käytetty aika	2 h	2 h		
Kokonaiskustannus	710 e	879 e	523 e	348 e

Esimerkki B. Valukohteena maastolaatan valu, betonin määrä  $200 \text{ m}^3$ . Maastolaatan pinta-ala  $500 \text{ m}^2$ , paksuuden ollessa 0,4 m. Oletetaan työmaalla olevan torni- tai ajo-neuvonosturi.

Kustannustekijät	PuMi	Pumppu	Nostoastia
Palveluaikakorvaus/ 5 min	11,5 e	11,5 e	11,5 e
Palveluaikakorvausten lukumäärä	0	0	0
Työmiesten määrä	3	3	3
Työkustannus/ h	35	35	35
Betonointiaika	420 min	300 min	480 min
Nosturikustannus e/h			75
Pumppukustannus e/h	242	120	
Pumppukustannus e/ $\text{m}^3$		15	
Pumppaamiseen käytetty aika	7 h	5 h	
Kokonaiskustannus	2429 e	4125 e	1440 e

Esimerkki A:n tapauksessa nähdään, että vaikka valukourun kanssa betonointi kes- täisikin kauemmin kuin pumppaamalla, olisi se silti vaihtoehtoista selvästi halvin. Sääs- tää suhteessa autobetonipumppuun ja kuljetuspumppuautoon tulisi yli puolet. Valukou- ru onkin ehdottomasti kustannustehokkain betonointitapa, silloin kun sen ulottuvuus valukohteeseen on riittävä. Nostoastibetonointi sijoittuisi kustannuksiltaan valukourun ja kuljetuspumppuauton väliin.

Esimerkki B:n tapauksessa kohde on sellainen, ettei sitä pystytä betonoimaan valu- kourua tai hihnakuljetinta hyväksi käyttäen. Kohteena on paksu, teollisuusalueelle si- joittuva maastolaatta, joka on muodoltaan suorakulmio ja pinnaltaan tasainen. Esi- merkki B:n tapauksessa suurin huomio kiinnittyy autobetonipumpun kustannuksien suuruuteen. Sen kustannukset ovat jopa 186 % suuremmat kuin nostoastibetonoinnil- la ja 70 % suuremmat kuin kuljetuspumppuautolla. Autobetonipumpun kalleuden selit- tää jokaisesta kuutiosta tuleva 15 euron lisähinta. Kohteen ollessa yksinkertainen ja nopeasti valettava, nousee tunnissa betonoitava kuutiomäärä suureksi, jolloin auto- betonipumpun kustannukset suhteessa kuljetuspumppuautoon ja torninosturiin kasva- vat suureksi.

### 3.8 Työntekijäkustannukset

Työntekijäkustannusten suuruus riippuu käytettävästä betonointitavasta ja erityisesti betonoitavasta kohteesta. Työkustannuksien vertailussa keskitymme pumppubetonoin- tiin ja nostoastibetonointiin, sillä ainoastaan niistä löytyi vertailukelpoisia menekkitieto- ja. [13.]

Pumppubetonoinnin ja nostoastibetonoinnin työmenekit ja työsaavutukset ovat liki- main samaa tasoa, pumppubetonoinnin ollessa keskimääräisesti hieman nopeampi betonointitapa [13].

**Karkeutettu työmenekki**

	T3	T4
Antura- ja matalat perusmuurit, pumppu	0,25 tth/m <sup>3</sup>	0,29 tth/m <sup>3</sup>
Antura- ja matalat perusmuurit, nostoastia	0,28 tth/m <sup>3</sup>	0,32 tth/m <sup>3</sup>
Laatat, pumppu	0,20 tth/m <sup>3</sup>	0,23 tth/m <sup>3</sup>
Laatat, nostoastia	0,21 tth/m <sup>3</sup>	0,24 tth/m <sup>3</sup>

**Karkeutettu työsaavutus**

	T3	T4
Antura- ja matalat perusmuurit, pumppu	96 m <sup>3</sup> /tv	83 m <sup>3</sup> /tv
Antura- ja matalat perusmuurit, nostoastia	85 m <sup>3</sup> /tv	75 m <sup>3</sup> /tv
Laatat, pumppu	120 m <sup>3</sup> /tv	104 m <sup>3</sup> /tv
Laatat, nostoastia	114 m <sup>3</sup> /tv	100 m <sup>3</sup> /tv

**Kuva 4: Työmenekkejä [13].**

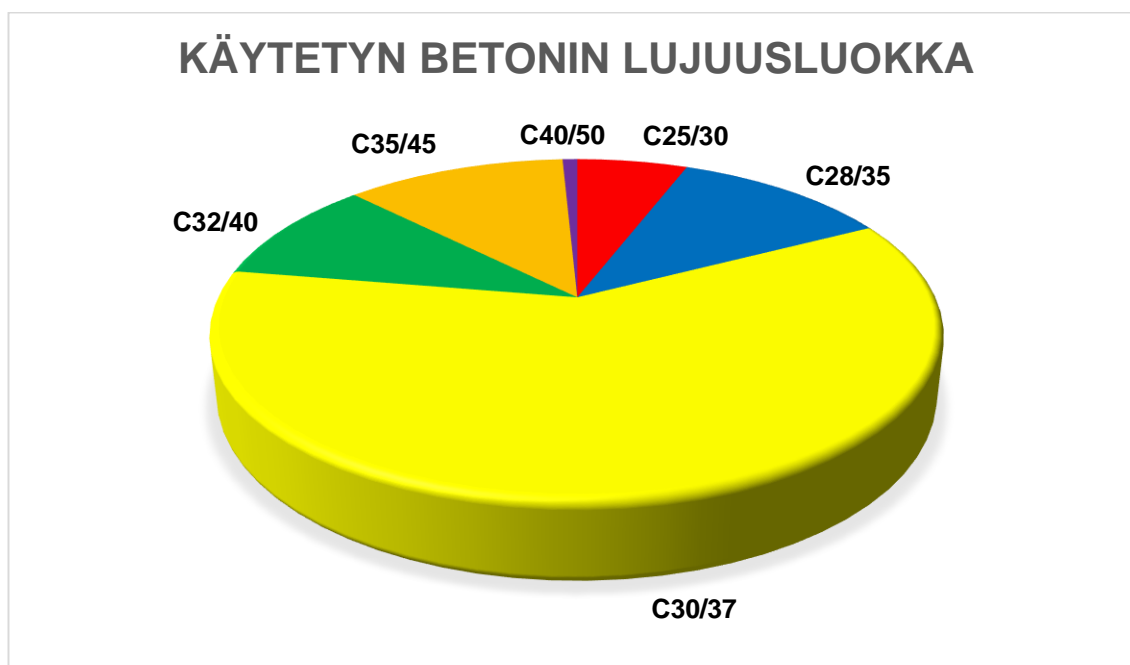
Työntekijäkustannuksia mietittäessä tulisi kiinnittää huomiota oikeankokoisen työryhmän valintaa suhteessa betonoitavaan kohteeseen. Laajat lattia- ja holvivalut vaativat huomattavasti enemmän työtä, kuin pilarit, seinät ja anturat. Usein esim. pilareita ja seiniä valettaessa riittää hyvin kaksi miestä suorittamaan tarvittavat työt yhtä nopeasti kuin kolmekin. Tärkeintä on, että kaikki työntekijät ovat tietoisia omasta tehtävästään ennen betonoinnin alkua, sillä silloin ei ole enää aikaa opetteluun. [10, s. 53.]

## 4 Betoni Porvoon Paalurakenne Oy:ssä

### 4.1 Käytetty betoni vuonna 2014

Porvoon Paalurakenne Oy käyttää pääsääntöisesti aina Rudus Oy:n toimittamaa betonia. Kaikki tässä luvussa käytetyt lukuarvot ja laskelmat on selvitetty vuoden 2014 kuormaraportista, jossa näkyy betonin määrät ja tuotteet lisäominaisuuksineen. Rudus Oy:n betonia käytettiin vuonna 2014 yhteensä 5570 kuutiota. [4.]

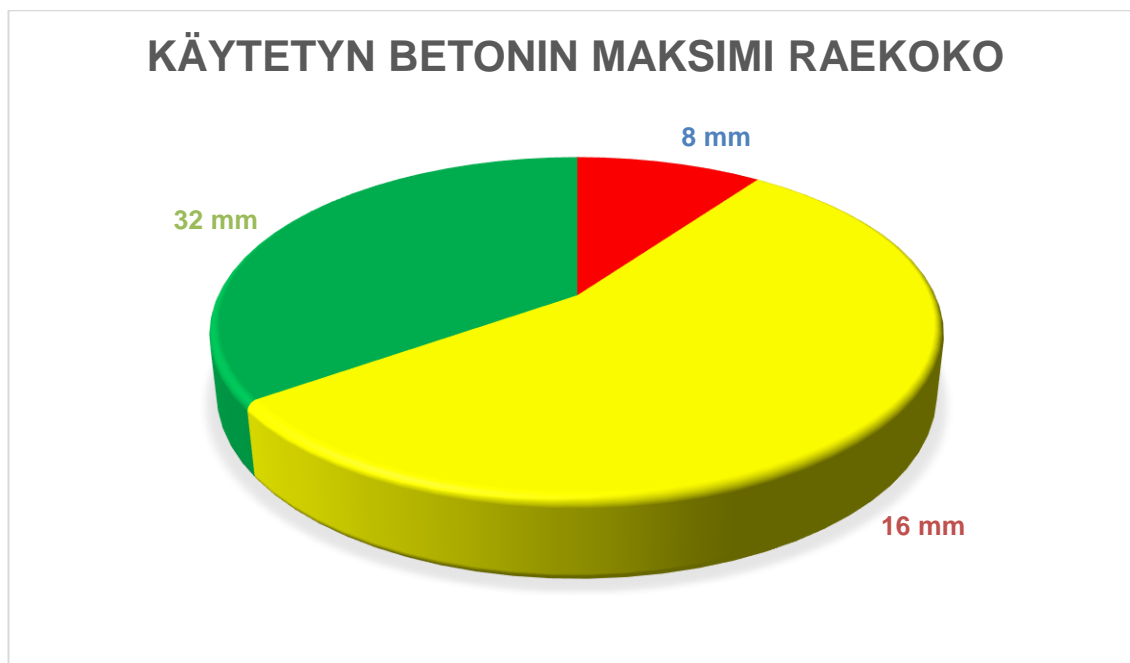
Käytetyn betonin lujuus vaihteli seuraavan kuvaajan mukaisesti:



Kuva 5: Kuvassa on esitetty lujuusluokkien prosentuaaliset osuudet vuonna 2014 käytetystä betonista. [4].

Kuten kuvaajasta näemme, C30/37 oli ehdottomasti käytetyin betonin lujuusluokka. Sen osuus käytetystä betonista oli jopa 60 %. C40/50 lujuusluokan betonin osuus kaikesta käytetystä betonista oli vain noin 1 %.

Käytetyn betonin maksimi raekoko vaihteli seuraavan kuvaajan mukaisesti:



Kuva 6: Kuvassa on esitetty maksimi raekokojen prosentuaaliset osuudet vuonna 2014 käytetystä betonista. [4].

Käytetyin maksimi raekoko oli 16 mm ja vähiten käytetty maksimi raekoko oli 8 mm, alle 10 % osuudella.

Merkittävänä havaintona voimme pitää myös sitä, että sulfaatinkestävän betonin osuus kaikesta käytetystä betonista oli yli puolet [4].

#### 4.2 Tietojen hyödyntäminen

Betonin määrää ja laatua koskevia selvityksiä voidaan käyttää hyödyksi vertailtaessa eri valmisbetonitoimittajien hinnastoja ja tarjouksia. Esimerkiksi lujuusluokan C40/50 betonin hinnalla ei ole juuri merkitystä, kun taas lujuusluokan C30/37 betonin hinnassa jo muutaman euron ero johtaa suuriin säästöihin. Esimerkiksi kolme euroa halvempi C30/37 lujuusluokan betoni olisi merkinnyt yli kymmenentuhannen euron säästöä Porvoon Paalurakenne Oy:lle vuonna 2014.

## 5 Haastattelut ja kyselylomakkeet

### 5.1 Haastattelut

Haastatteluiden tarkoituksena oli saada selville yksittäisiä mielipiteitä laajalta rintamalta ja suodattaa näistä käyttökelpoisimmat palat osaksi tätä opinnäytetyötä. Haastatteluja suoritettiin kaikkien betonointiin osallistuvien henkilöiden kanssa; työpäälliköiden, työnjohtajien ja työntekijöiden kanssa.

#### 5.1.1 Työpäälliköiden haastattelut

Työpäälliköiden haastattelut olivat muodoltaan virallisia. Tärkeimpiä kysymyksiä olivat seuraavat:

- Mistä syistä yleisenä käytäntönä on suorittaa betonointeja useilla työmailla peräkkäin? Miten se vaikuttaa kustannuksiin?
- Kuinka usein betonin toimittajaa koskeva valinta tehdään? Kuinka kauan betonin toimittajana on toiminut Rudus Oy?
- Kuinka usein betonin toimittajan kanssa neuvotellaan hinnastosta?
- Mihin betonoinnin kustannustehokkuutta mietittäessä tulisi kiinnittää huomiota?
- Oletteko ajatelleet/ yrittäneet ylijäämäbetonin hyödyntämistä joskus?

Työpäälliköiden haastattelujen perusteella suurin syy peräkkäisten betonointien suorittamiseen on kustannuksien minimoimisessa. Pienissä, sadoista litroista muutamaa kuutiota, valukohteissa säästetään merkittäviä määriä rahaa varsinkin betonin kuljetuksessa. Lisäksi tarkoituksena on vähentää ylijäämäbetonin määrää. Tässä ajatuksena on se, että jokaisesta betonityökohteesta jää ylijäämäbetonia ja jos yhdistetään viisi betonityökohdetta samaan betonointiin, syntyy ylijäämäbetonia vain yhden työkohteen edestä. On myös helppo varata autobetonipumppu tai kuljetuspumppuauto yhdelle työnjohtajalle esimerkiksi kahden vuorokauden päähän ja ilmoittaa muille työnjohtajille tämä ajankohta betonoinnille. Tällainen ilmoitus luo pientä painetta ja antaa tavoitteen

milloin muotit pitäisi olla betonoitavissa. Työpäälliköt huomauttavat että isoimmat, yli 20 m<sup>3</sup> valut betonoidaan aina erikseen ja niiden aikataulu sekä betonointisuunnitelma laaditaan etukäteen.

Porvoon Paalurakeenteen betonin toimittajana on koko sen olemassaoloajan toiminut Rudus Oy. Työpäälliköiden mukaan yhteistyö Rudus Oy:n kanssa on toiminut hyvin ja hinnat ovat aina olleet kilpailukykyisiä. Tarkempia neuvotteluja muiden betonin toimittajien kanssa ei ole käyty, mutta työpäälliköiden mukaan tilannetta seurataan jatkuvasti. Betonitoimittajan eli Rudus Oy:n kanssa hinnastosta neuvotellaan yleensä vuosittain ja ”tarpeen mukaan”.

Betonitöiden kustannustehokkuutta mietittäessä tulisi työpäälliköiden mukaan kiinnittää huomiota siihen, että työnjohtajat käyttävät sen määrän betonia, kun ovat ilmoittaneet tarvitsevansa. Ohessa suora lainaus toiselta työpäälliköltä:

Pahinta on se, jos työnjohtaja ilmoittaa aamulla tarvitsevansa 6 m<sup>3</sup> betonia ja lounaan yhteydessä sanookin tarvitsevansa vain 3 m<sup>3</sup>. Tällaisessa tilanteessa alkaa aika show, jos betoni on jo matkalla. Hukkaan heitettyä rahaa on myös ilmoittaa tarvitsevansa n. 1 m<sup>3</sup> betonia, jos todellinen tarve on alle 0,5 m<sup>3</sup>. Siinä on älyttömän suuri hukkaprosentti. [3.]

Muita esille tulleita asioita oli työntekijöiden tehokas käyttö valupäivänä sekä järkevä betonointi tiheys. Työnjohtajien tulisi valupäivänä varmistaa, että työntekijöillä on messaa kyseisellä työmaalla tai lainata työntekijät toiselle työnjohtajalle. Eli ei oteta työntekijöitä työmaalle ”seisoskelemaan”, jos betonointi on sen päivän ainoa työtehtävä ja betonin tarkasta työmaalle tulosta ei ole tietoa. Järkevän betonointitiheyden miettiminen on työpäälliköiden mukaan kustannustehokkaan betonitöiden suorittamisen pääkohtia, vaikkei aina helppoa.

Työpäälliköiden mukaan ylijäämäbetonin hyödyntämistä ei ole vakavasti pohdittu. Ajatuksena se on monesti tullut esille, varsinkin silloin kun pihaan tulee valupäivän päätteeksi kuutioittain käyttökelpoista betonia.

### 5.1.2 Työnjohtajien haastattelut

Työnjohtajien haastattelut olivat muodoltaan epävirallisia ja ne olivat erilaisia jokaisen työnjohtajan kanssa. Käytyjä haastatteluja voisi ennemminkin kutsua keskusteluiksi, joita johdattelin oikeaan suuntaan kysymyksilläni. Tärkeimpiä kysymyksiä olivat seuraavat:

- Kerro hyvät ja huonot puolet betonoitaessa usealla työmaalla saman työpäivän aikana?
- Miten kehittäisit betonointia Porvoon Paalurakenne Oy:ssä?
- Miten minimoisit ylijäämäbetonin määrän ja kuinka ylijäämäbetonia tulisi hyödyntää?

Työnjohtajien kanssa käytyjen keskustelujen perusteella peräkkäisten betonointien etuna nähdään työpäälliköidenkin mainitsema kustannustehokkuus sekä betonin saaminen helposti ja lyhyellä varoitusajalla. On mahdollista ilmoittaa aamulla tarvitsevansa lounaan jälkeen 5 m<sup>3</sup> betonia pumpattuna ja saada betoni ennen puolta päivää, jos joku toinen työnjohtaja on varannut autobetonipumpun tai kuljetuspumppuauton samalle päivälle.

Huonoina puolina nähtiin epätietoisuus valupäivän yksityiskohdista, betonoinnin ajankohdan siirtyminen usein yli normaalin työajan (yli kello 16.00) sekä betonin tilaamiseen liittyvät asiat. Ongelmallisimpana yksityiskohtana nähtiin epätietoisuus aikataulusta. Työnjohtajien mukaan on hankala suunnitella valupäivän aikataulua ja tehtäviä töitä, jollei aikataulua tiedä. Joskus suuri osa valupäivästä kuluu betonityöhön valmistautumiseen ja betonin odottamiseen. Muutenkin kaivattiin enemmän tietoa kokonaisuudesta eli betonin kokonaismäärästä, valukohteiden lukumäärästä sekä arvioiduista kestoista. Betonitöiden venyminen ylitöiden puolelle on usein vaikeasti ennakoitavissa ja se teettää lähes poikkeuksetta vaikeuksia. Suurimpana syynä pidetään Nesteen ja Borealoksen alueella vallitsevaa työlupakäytäntöä, jossa normaali työlupa on voimassa 7.00-16.00 ja kello 16.00 jälkeen jatkuviin töihin tarvitsee hakea jatkoaikaa työlupaan vuoromestarilta. Ilman valvojan paikallaoloa ei jatkoaikaa työlupaan saa, jolloin esimerkiksi valvojan halutessa lähteä kello 16.00 kotiin, pysähtyy betonityötkin kello 16.00. Valvojan jääminen ylitöihin ei ole ainoa ongelma, sillä viime hetkellä syntyvään ylityötarpee-

seen ei aina löydy tarvittavaa määrää osaavia työntekijöitä. Betonin tilaamistakin pidettiin ongelmakohtana, sillä toimintamalleja on monia. Vaihtoehtoiset toimintamallit betonin tilaamiseen on lueteltu alla:

- Työpäällikkö hoitaa betonin tilauksen kokonaisuudessaan; ilmoittaa tehtaalte yhteenlasketun betonin määrän ja aikatauluttaa lisäkuormien saapumisen työmailla.
- Työpäällikkö ilmoittaa betonin yhteenlasketun määrän, lisäkuormat tilaavat työnjohtajat.
- Työpäällikkö tilaa vain ensimmäisen betonikuorman, lisäkuormien määrän laskemisen ja tilauksen hoitaa työnjohtajat.

Varsinkin viimeisessä vaihtoehdossa oikean betonimäärän ja -laadun selvittäminen vie usein aikaa ja virheiden mahdollisuus kasvaa, jollei kaikkia työnjohtajia saa esimerkiksi puhelimella kiinni.

Suurin osa työnjohtajista haluaisi kehittää nykyistä betonointimallia paremmaksi kahdella yksinkertaisella keinolla: he kehittäisivät tiedonkulkua ja ennakkosuunnittelua. Muita esille nousseita kehitysideoita olivat:

- Betonoinnista vastaava henkilö (usein työpäällikkö) nimeää itselleen varamiehen, joka tietää betonointipäivän kulun tarkasti ja jolta muut työnjohtajat saavat tietoa jollei työpäällikköä saada kiinni.
- Sovittaisiin valujärjestys sen mukaan, millaiset mahdollisuudet eri työnjohtajilla on saada jatkoaikaa työlupaan. Eli jos työnjohtaja A tietää valvojansa lähtevän joka perjantai viimeistään kello 16.00, pitää hänen valukohteet valaa perjantaisin ensimmäisten joukossa.

Ylijäämäbetonin määrää työnjohtajat pienentäisivät panostamalla työmaalla tapahtuvaan massojen laskentaan kuvista laskennan sijaan. Heidän mukaansa ylijäämäbetonia varten tulisi kehittää ylijäämäbetonia hyödyntäviä betonituotteita, joiden menekki olisi varma.

### 5.1.3 Työntekijöiden haastattelut

Työntekijöiden haastattelut tehtiin työmailla betonointien yhteydessä. Keskeisimmät kysymykset olivat:

- Tiedätkö valupäivän aamuna mitä aikaa betoni tulee työmaalle?
- Oletko yleisesti tietoinen betonoinnin yksityiskohdista?
- Miten kehittäisit käytössä olevaa betonointimallia toimivammaksi?

Haastattelujen perusteella useimmat työntekijät ovat epätietoisia betonoinnin yksityiskohdista. Heidän mukaansa työnjohtajat pimitävät tietoa joko tahallisesti tai tahattomasti. Työntekijöiden mukaan suurimpia ongelmia heidän kannaltaan on epätietoisuus seuraavista asioista:

- betonin saapumisajankohta työmaalle
- lisäkuormien tilaus ja saapumisajankohdat
- betonoinnin suorittajat
- betonoinnin jatkuminen ylitöiden puolelle.

Työntekijöiden mielestä heitä pitäisi informoida paljon nykyistä paremmin betonoinneista, jotta he voisivat esimerkiksi pitää kahvitaukonsa ennen betonoinnin alkamista. Heidän mielestään työnjohtajan tulisi ilmoittaa betonin saapumisesta viimeistään tuntia ennen betonoinnin alkamisajankohtaa tai viimeistään heti, kun he itse ovat asiasta tietoisia.

Lisäkuormien tilaus ja saapumisajankohdat aiheuttavat tasaisin väliajoin ongelmia, varsinkin jollei työnjohtaja ole betonoinnin aikana välittömässä läheisyydessä. Yleensä lisäkuormat tulevat ajallaan ja ilman työntekijän toimenpiteitä, mutta muutamalla haastateltavalla lisäkuormia oli odotettu pitkiäkin aikoja.

Työntekijöiden mielestä betonoinnin suorittajat tulisi tietää viimeistään valupäivän aamuna ja suorittajien taas tulisi tietää kaikki työmaat joilla he tulevat sen päivän aikana suorittamaan betonointitöitä. Jos hierontotyön, liippauksen tai jälkihoidon suorittavat eri tekijät, kuin varsinaisen betonoinnin, tulisi tämä tehdä selväksi kaikille osapuolille viimeistään betonointeja tehdessä. Betonoinnin jatkumisesta ylitöiden puolelle pitäisi myös sopia jo valupäivän aamuna, eikä sovittuja asioita tulisi enää muuttaa myöhemmin päivän aikana.

## 5.2 Kyselylomake

Kyselylomakkeen tarkoitus oli kerätä vertailukelpoista tilastotietoa yrityksen sisältä. Kyselyssä painotettiin vaihtoehto kysymysten määrää, mutta myös avoimia kysymyksiä käytettiin täydennyksenä. Vaihtoehtokysymyksissäkin oli aina mahdollisuus perustella oma mielipide alla olevaan tyhjään kenttään.

### 5.2.1 Kyselylomakkeen sisältö

Kyselylomakkeiden sisällöstä pyrittiin tekemään niin kevyt, että jokaiselta kohderyhmään kuuluvalta löytyisi tarvittava aika ja paikka sen täyttämiseen.

Vaihtoehtokysymyksiä olivat seuraavat:

- Kuinka toimivana pidät tapaa betonoida useassa eri työkohteessa peräkkäin? (1 = täysin toimimaton, 5 = erittäin toimiva).
- Mitä seuraavista pidät suurimpana ongelmana peräkkäisissä betonoinneissa? (vaihtoehdot: aikataulu, betonin riittävyys, tiedonkulku).
- Kumpaa pidät parempana vaihtoehtona yksinkertaisia valuja suoritettaessa? (vaihtoehdot: kiertävä valuryhmä valaa kaikilla työmailla; jokaisella työmaalla on oma valuryhmä, joka hoitaa omat muotit).
- Oletko tietoinen siitä miltä työmaalta valu tulee sinun työmaalle ja minne työmaalle valu siirtyy sinun jälkeesi? (1 = vain harvoin, 5 = aina)

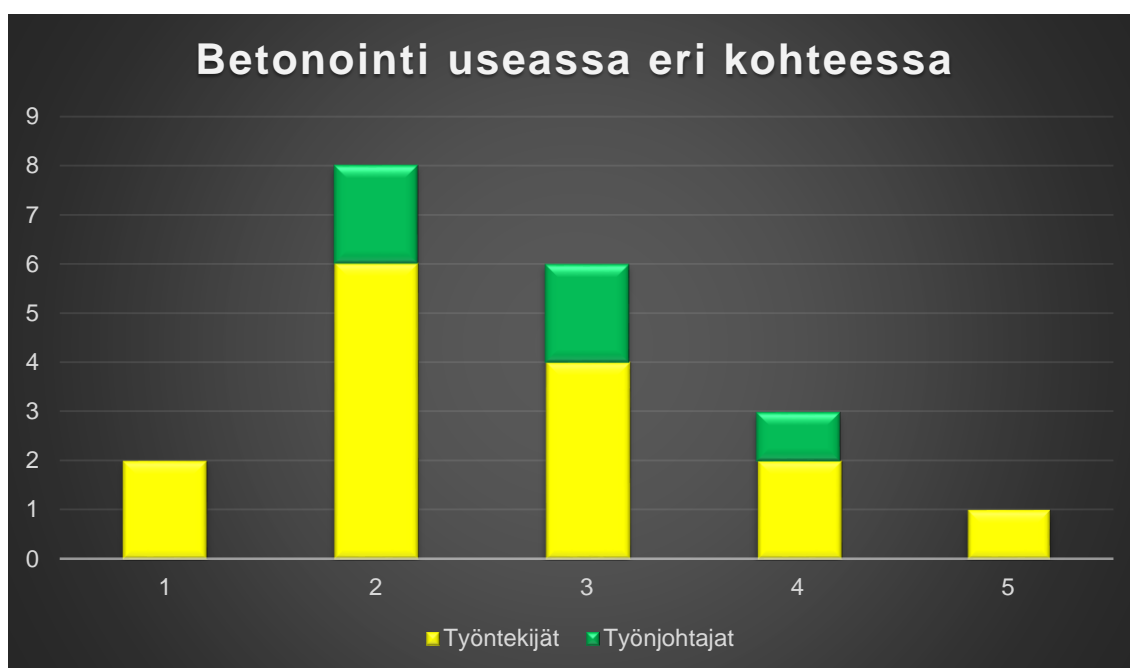
Lisäksi lomakkeen lopussa kysyttiin avoimena kysymyksenä ”Mitä muutoksia tekisit nykyiseen betonointimalliin, jotta se olisi entistä tehokkaampi ja toimivampi?”

### 5.2.2 Tulokset ja johtopäätökset

Tässä luvussa tarkastellaan kyselyn tuloksia ja tehdään tulosten perusteella johtopäätöksiä. Kyselyyn vastasi 5 työnjohtajaa ja 15 työntekijää. Kysymyssarjojen vastaukset käsiteltiin anonyymisti, eikä yksittäisen vastaajan henkilöllisyydet paljastuneet edes oppinäytetyön tekijälle. Työnjohtajien ja työntekijöiden tulokset kuitenkin eriteltiin vertailun vuoksi.

Kyselylomakkeen ensimmäisen kysymyksen keskiarvoksi saatiin 2,65. Tämä osoittaa todeksi sen, että suurin osa vastaajista kokee käytössä olevan useamman kohteen betonoinnin haastavaksi toimivuuden kannalta. Perusteluina mainittiin mm. seuraavat kommentit ”Kellään ei tunnu olevan varmaa tietoa, milloin valu meidän työkohteessa alkaa”, ”Peräkkäiset valut aiheuttavat epätietoisuutta, vaaditaan usein monta puhelua ennen, kuin kaikki on selvää”. Toisaalta keskiarvo ei ollut paljon puolen välin alapuolella, jolloin betonointimallin puolustajiaakin löytyi. Erään vastaajan kommentti ”Tällä menetelmällä riittää, että jollain on pumppu varattuna. Silloin voi itse ottaa betonia nopeasti”.

**Taulukko 4: Peräkkäisten betonointien toimivuus asteikolla 1-5 (1= täysin toimimaton, 5= erittäin toimiva), pystyakselilla kyseistä vaihtoehtoa kannattaneiden lukumäärä.**



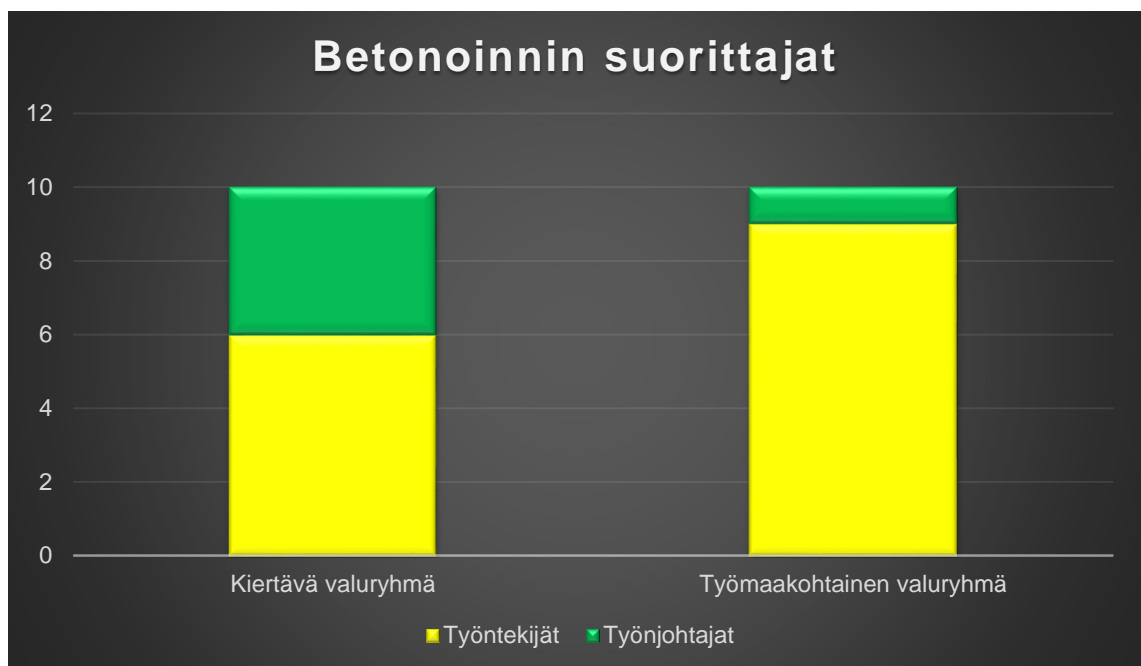
Toisessa vaihtoehtokysymyksessä peräkkäisten betonointien suurimpana ongelmana koettiin tiedonkulku. Se oli ylivoimaisesti yleisin vaihtoehto, sillä jopa 60 % vastanneista valitsi tiedonkulun suurimmaksi ongelmakohdaksi. Tästä kohdasta saatiin useita perusteluita; ”Jos tiedonkulku olisi kunnossa, kaikki olisi helpompaa”, ”Aina ei saa puhelimitse kiinni sitä, joka tietää valun tilanteen”, ”Joskus sanotaan, että betoni tulee sitten kun se tulee”. Seuraavaksi yleisin vaihtoehto oli aikataulu, jonka valitsi 25 % vastaajista.



Kuva 7: Betonoinnin suurimpien ongelmaehtien prosentuaaliset osuudet.

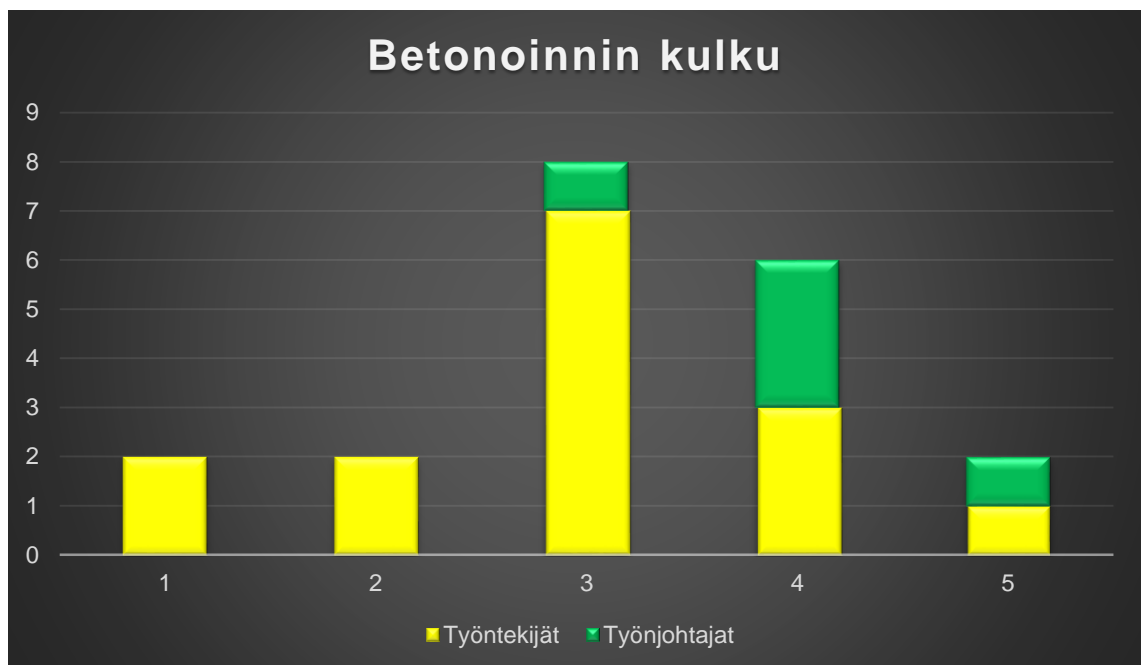
Kolmannessa kysymyksessä kysyttiin valun suorittajista. Tämä kysymys jakoi vastaajia sillä työnjohtajista 80 % oli kiertävän valuryhmän kannalla, kun työntekijöillä vastaava luku oli vain 40 %. Kaiken kaikkiaan vastaajista 50 % piti kiertävää valuryhmää parempana vaihtoehtona. Perusteluja tähän kohtaan tuli niukasti, mutta uskon työnjohtajien ajattelevan tehokkuutta ja työntekijöiden lähinnä helppoutta. Kustannustehokkuuden kannalta kiertävä valuryhmä on parempi useita pieniä valuja betonoitaessa. Tällöin säästytään monien betonointivälineiden (tärysauvat, hierontimet, liipit yms.) noudolta ja palautukselta hallille sekä työvälineiden moninkertaiselta pesulta. Lisäksi ylimääräiset odotusajat poistuvat ja valumiehet ovat aina paikalla, kun betoniautokin on. Työnjohtajan rooli kiertävää valuryhmää käytettäessä korostuu, sillä hänen on oltava paikalla betonoinnin alkaessa ja selvitettävä valuryhmälle yksityiskohtaisesti ja yksiselitteisesti tehtävän työn sisältö.

**Taulukko 5: Taulukko esittää kuinka moni työntekijöistä ja työnjohtajista kannattaa kiertävää valuryhmää ja kuinka moni työmaakohtaista valuryhmää.**



Kun kysyttiin ”Oletko tietoinen siitä, miltä työmaalta valu tulee sinun työmaalle ja minne työmaalle valu siirtyy sinun jälkeesi?”, niin ero työnjohtajien ja työntekijöiden kesken oli selvä. Työnjohtajien vastausten keskiarvo oli 4; kun se työntekijöillä oli 2,9. Eron selittää se, ettei tämä tieto ole työntekijöille läheskään niin tärkeä kuin työnjohtajille. Työnjohtajan on vaikea lähettää valua seuraavalle valukohteelle, jollei tiedä missä se on. Lisäkommenteina mainittiin mm. ”Selvitän usein miltä työmaalta betoni tulee, jotta voin soitella siellä työskenteleville kavereille”, ”Tämänkin asian voisi kertoa valupäivän aamuna”.

**Taulukko 6: Tietoisuus valukohteiden siirtymisestä työkohteiden välillä; 1= olen vain harvoin tietoinen, miltä työmaalta betoni tulee ja minne se jatkaa matkaansa, 5= olen aina tietoinen, miltä työmaalta betoni tulee ja minne se jatkaa matkaansa.**



Keskeisiä johtopäätöksiä kyselylomakkeiden perusteella olivat mm.

- Peräkkäisten betonointien idea on hyvä, mutta toteutuksessa on parantamisen varaa.
- Tiedonkulun parantaminen on keskeisin kohta betonointimallia kehittäessä → sen parantaminen vaikuttaa myös muihin ongelmakohtiin.
- Kiertävä valuryhmä tehostaa betonointia, mutta se ei ole useimpien työntekijöiden mieleen.

- Betonointijärjestys ja varsinkin käytettävän betonin määrä ei ole kaikilla osapuolilla tiedossa. Varsinkin betonointijärjestyksestä kaivattiin tietoa.

## 6 Teoreettiset säästö- ja tehostamiskohteet

### 6.1 Valun suunnittelun parantaminen

Yhden betonointitapahtuman suunnittelu on yleensä varsin yksinkertaista. Muuttujien määrä kasvaa huomattavasti, kun saman päivän aikana tulisi suorittaa betonointeja peräkkäin monella eri työmaalla. Pahimmassa tilanteessa kaikki betonointiin liittyvät asiat hoidetaan valupäivän aikana puhelimen välityksellä, jolloin kommunikaatiovirheiden todennäköisyys kasvaa huomattavasti.

Paras tapa sujuvaan betonointiin useilla työmailla peräkkäin, on suunnitella betonointitapahtuma huolellisesti jo ennakkoon. Tämä vaatii kaikkien ao. työnjohtajien sekä työpäällikön paikallaoloa. Tällaista toimintatapaa hyödyntäen päädytään usein onnistuneeseen lopputulokseen.

#### 6.1.1 Nykyinen valun suunnittelu

Yleisesti betonoinninsuunnittelu on toteutunut Porvoon Paalurakenne Oy:ssä seuraavasti:

1. Joku työnjohtajista ilmoittaa 1-2 vrk ennen valua tarvitsevansa betonia.
2. Työpäällikkö varaa kuljetuspumppuauton tai autobetonipumpun seuraavalle tai sitä seuraavalle päivälle, yleensä 12.00 alkaen.
3. Valupäivää edeltävänä iltana kysellään työnjohtajilta betonin tarpeesta.
4. Aamupäivän aikana työnjohtajat selvittävät, mitä muotteja he pystyvät betonimaan ja ilmoittavat betonin tarpeen työpäällikölle.
5. Betonointijärjestys päätetään noin tuntia ennen betonoinnin alkamista.
6. Kuljetuspumppuauto tai autobetonipumppu siirtyy paikasta toiseen työnjohtajien ohjeiden mukaisesti. Lukuisia puhelinsoittoja myöhemmin kaikki kohteet on betonoitu.

### 6.1.2 Suunnittelun parantaminen

Yleisesti ottaen valun suunnittelun aikataulua tulisi kasvattaa niin, että suunnittelulle jäisi enemmän aikaa. Tämä asettaa luonnollisesti oman haasteensa, sillä varsinkin pienempien valukokonaisuuksien valmistumisen ennustaminen on hankalaa, erityisesti jos betonointia edeltää mittamiehen käynti työmaalla. Tällaisissa tapauksissa työnjohtajan tulisi miettiä, onko hänellä mahdollisuus seisottaa valmiita muotteja ylimääräisen päivän, jolloin jää varaa odottamattomille ongelmille ja kiire poistuu.

Nykyisen valun suunnittelun kohta 1 on tulevan mallin muuttumattomin kohta. Tavoitellana tulevassa mallissa pidetään sitä, että työnjohtajan ilmoitus betonin tarpeesta työpäällikölle tulee vähintään 2 vrk ennen betonointia. Niin kauan, kun betonin toimittaja pystyy reagoimaan tilaajan toiveisiin näin lyhyellä varoitusaikalla, ei ongelmaa synny. Jos betonitoimittaja joutuu usein toteamaan varoitusaikan liian lyhyeksi, on ilmoituksen betonitarpeesta tultava vähintään 3 vrk ennen betonointia.

Uudessa mallissa työpäällikkö ja työnjohtajat yhdessä täyttävät alustavan betonoinninsuunnittelulomakkeen (liite 1) sen päivän päätteeksi, kun joku työnjohtajista on ilmoittanut betonin tarpeesta ylihuomiselle. Alustavaan betonoinninsuunnittelulomakkeeseen täytetään kaikki betonoitavat kohteet seuraavine tietoineen: betonin arvioitu tarve, betonointitapa, betonin laatu (mm. lujuusluokka, rasisluokka, maksimi raekoko) ja valutyyppe (lattia, seinä, antura tms.).

Täytetyn lomakkeen perusteella työpäällikkö varaa kuljetuspumppuauton tai autobetonipumpun valupäivälle (ylihuomiselle) kello 8.00. Tämä on uuden mallin merkittävin ero vanhaan. Vanhassa mallissa työnjohtajat tottuivat siihen, että heillä on aamupäivä aikaa saada kaikki valettavat kohteet valmiiksi. Tämä aiheuttaa kiirettä ja epätietoisuutta ja ne yhdessä aiheuttavat virheitä, valamattomia muotteja, ylijäämäbetonia, ylimääräisiä kustannuksia ja pettymyksiä. Uudessa mallissa työnjohtajat tietävät, että heillä on yksi työpäivä aikaa saada alustavaan betonoinninsuunnittelulomakkeeseen merkityt kohteet betonoitavaan kuntoon. Tarvittaessa valua edeltävää työpäivää jatketaan iltaan, jolloin kaikki on valmista betonointia varten.

Betonointia edeltävän päivän iltapäivänä työpäällikkö ja työnjohtajat laativat lopullisen betonoinninsuunnittelulomakkeen (liite 2). Tähän lomakkeeseen merkitään valukohteet betonointi järjestykseen ja jokaisen työmaan lopulliset betonimäärät, betonin laadut, työnjohtajat yhteystietoineen sekä työnsuorittajat yhteystietoineen. Lisäksi lomakkeeseen merkitään selvästi lisäkuormien tilauksesta vastuussa oleva henkilö. Lopullisesta betonoinninsuunnittelulomakkeesta otetaan kopiot kaikille valuun liittyville työnjohtajille, työnsuorittajille sekä kuljetuspumppuauton tai autobetonipumpun kuljettajalle.

Näin ollen uuden betonoinninsuunnittelun järjestys on tiivistettynä seuraava:

1. Joku työnjohtajista ilmoittaa 2 vrk ennen valua tarvitsevansa betonia.
2. Työpäällikkö täyttää yhdessä työnjohtajien kanssa alustavan betonoinninsuunnittelulomakkeen saman päivän aikana.
3. Työpäällikkö varaa kuljetuspumppuauton tai autobetonipumpun ylihuomiselle kello 8.00.
4. Valua edeltävänä päivänä täytetään lopullinen betonoinninsuunnittelulomake työpäällikön ja työnjohtajien kesken sekä otetaan siitä tarvittavat kopiot.
5. Valupäivän aamuna betonoinninsuunnittelulomake jaetaan työnsuorittajille.
6. Opastetaan kuljetuspumppuauto tai autobetonipumppu ensimmäiseen valukohteeseen ja annetaan lopullinen betonoinninsuunnittelu lomake kuljettajalle.

## 6.2 Ylijäämäbetoni

Jo ennen opinnäytetyön aloittamista seurasin, kuinka ylijäämäbetoni tuotiin valupäivän päätteeksi toimipisteemme pihaan. Usein pihaan tuli vain sata litraa, mutta välillä puhuttiin jopa kuutioista. Tasaisin väliajoin betonikasat piikattiin kaivinkoneella kappaleiksi ja kuljetettiin kasettiautolla betonin vastaanotto paikalle. Ajattelin, että tuosta syntyy varmasti paljon ylimääräisiä kustannuksia ja niin syntyi idea ylijäämäbetonin minimoimisesta ja sen hyödyntämisestä.

### 6.2.1 Ylijäämäbetonin aiheuttamat kustannukset

Ylijäämäbetonin selkein kustannusvaikutus on betonin hinta, keskimäärin  $70,33 \text{ e}/\text{m}^3$  [14].

Tämän lisäksi tulee monia muitakin kustannuseriä, silloin kun ylijäämäbetonia ei voida käyttää työmaalla. Takaisin betonitoimittajalle palautuvassa betonissa (vaihtoehto A) kustannuksia syntyy vastaanottopisteelle viennistä, vastaanottomaksusta sekä punnitusmaksusta. Työmaalle taikka Porvoon Paalurakenne Oy:n tapauksessa määrättyyn keräyspaikkaan viedessä (vaihtoehto B) kustannuksia syntyy betonin piikkauksesta, lastauksesta, kuljetuksesta sekä vastaanottomaksusta.

Vaihtoehto A:n kustannukset ovat riippuvaisia vastaanottomaksun suuruudesta ja vastaanotto paikan sijainnista suhteessa työmaahan. Rudus Oy veloittaa vastaanotetusta betonista  $22,18 \text{ e}/\text{tn}$ , jolloin ylijäämäbetonin kustannus betonikuutiota kohti olisi noin  $55,45 \text{ e}$ . Tähän lisätään kuljetuskustannus, jonka suuruus on  $39,77 \text{ euroa}$  kuljetusmatkan ollessa  $0\text{--}5 \text{ km}$ . Ensimmäisen viiden kilometrin jälkeen veloitetaan  $11,5 \text{ euroa}$  jokaista alkavaa viittä kilometriä kohden. Punnitusmaksun suuruus on  $28,00 \text{ euroa}/1 \text{ punnitus}$ . Yhteensä vaihtoehto A:sta syntyy kustannuksia  $70,33 \text{ e}/\text{m}^3$  (ylijäämäbetonin hinta) +  $55,45 \text{ e}/\text{m}^3$  (vastaanottomaksun hinta) +  $74,27 \text{ e}$  (kuljetuskustannus, kun matka on  $15\text{--}20 \text{ km}$ ) +  $28 \text{ e}/\text{punnitus}$  (punnituskustannus). Jos valusta jää yli  $1,5 \text{ m}^3$  syntyy kustannuksia yhteensä  $290,94 \text{ euroa}$ ! [7, s. 20; 14.]

Vaihtoehto B:n kustannuksien laskeminen ei ole yhtä suoraviivaista, kuin vaihtoehto A:n. Kaivinkoneella piikkaus eli rammerointi vie keskimäärin  $0,15 \text{ h}/\text{m}^3$ , lastaus  $2 \text{ h}/\text{kasettiauto}$  (sisältää kaivinkoneen siirtymisen työmaalta lastauspaikalle ja takaisin) eli

noin  $0,07 \text{ h/ m}^3$ . Kaivinkoneen ja rammeroinnin tuntihintana käytämme näissä laskuissa  $65 \text{ e/ h}$ . Viimeisen vuoden ajalta tehtyjen kuljetuksien keskiarvoksi (kuljetus + vastaanottomaksu) syntyy  $41,5 \text{ e/ m}^3$ . Yhteensä vaihtoehto B:stä syntyy kustannuksia  $70,33 \text{ e/ m}^3$  (ylijäämäbetonin hinta)+  $14,3 \text{ e/ m}^3$  (kaivinkoneen työkustannus)+  $41,5 \text{ e/ m}^3$  (kuljetus ja vastaanottomaksu). Jos valusta jää yli  $1,5 \text{ m}^3$ , syntyy kustannuksia yhteensä  $126,13$  euroa [3; 14].

### 6.2.2 Ylijäämäbetonin minimointi

Ylijäämäbetonin minimoimiseksi on useita vaihtoehtoja. Nämä voidaan jakaa laskennallisiin eli teoreettisiin keinoihin ja käytännönläheisiin, työmaakohtaisiin keinoihin.

Teoreettisten keinojen yksinkertaisin minimoimiskeino on oikean betonimäärän laskenta. Muodoltaan yksinkertaisten rakenteiden ollessa kyseessä teoreettisen betonimäärän laskeminen ei vaadi alakoulun matematiikkaa laajempaa tutkintoa ja esimerkiksi selkeässä anturavalussa betonimäärä onkin hyvin yksinkertaista saada osumaan oikeaan.

Virhemarginaalit kasvavat usein suuriksi valettaessa pieniä  $0,5 \text{ m}^3$ – $2 \text{ m}^3$  valukohteita peräkkäin useilla eri työmailla. Tällaiset valut ovat Porvoon Paalurakenne Oy:llä varsin yleisiä ja näistä johtuen usein ylijäämäbetonin määrätkin suuria suhteessa valettuihin betonikuutioihin. [3.]

Valaisen asiaa esimerkillä: Matti ilmoittaa työpäällikölle tarvitsevansa  $2 \text{ m}^3$  betonia, Ville  $5 \text{ m}^3$ , Mikko  $2,8 \text{ m}^3$  ja Tero  $4 \text{ m}^3$  eli yhteensä työnjohtajat tarvitsevat  $13,8 \text{ m}^3$  betonia. Työpäällikkö tilaa  $14,5 \text{ m}^3$  autobetonipumpulla, joka sisältää  $0,5 \text{ m}^3$  autoon jäävää betonia (pumppu, perä, kuljetussäiliö yms.) sekä  $0,2 \text{ m}^3$  varan laskuvirheille. Betonoinnit suoritettiin suunnitelmien mukaisesti ja kaikki muotit saatiin valettua. Työnjohtajat olivat työmaillaan tyytyväisiä lopputulokseen, mutta työpäällikkö ei niinkään kuullessaan, että pihaan tuotiin  $3 \text{ m}^3$  ylimääräistä betonia. Miksi ylijäämäbetonia jäi niin paljon?

Pääsyyinä on työnjohtajien mieleen jo varhaisessa vaiheessa opetettu ”Tilaa betonia niin paljon, ettei se lopu koskaan kesken. Koko työryhmä odottamassa puolen kuution takia on kallista” puhe. Edellä mainitun lainauksen olen itsekin kuullut moneen otteeseen ja kuten aiemmin luvussa 2 todettiin, on sen totuusarvokin kiistämätön. Ongelmaksi asia tulee, kun jokainen työnjohtaja varaa ylimääräistä betonia. Esimerkissä kuvista lasketut teoreettiset massat olivat työnjohtajittain seuraavat; Matti  $1,4 \text{ m}^3$ , Ville  $4,5 \text{ m}^3$ , Mikko  $2,8 \text{ m}^3$  ja Tero  $3,6 \text{ m}^3$ . Ainoastaan Mikko ilmoitti työpäällikölle teoreettisen massan, muut työnjohtajat ilmoittivat määrän, joka pitäisi tilata jos ainoastaan heillä olisi betonoitavaa. Työnjohtajien ilmoituksista seurasi  $1,5 \text{ m}^3$  ylimääräistä betonia, työpäällikön varauksista  $0,4 \text{ m}^3$  (pumppuun jäi  $0,3 \text{ m}^3$ ). Villen valaman  $110$  neliöisen pinta-alan paksuus olikin todellisuudessa kolme senttiä, kuvassa olevan neljän sentin sijaan, jolloin ylijäämää jäi  $1,1 \text{ m}^3$ . Monen tekijän summana ylimääräistä betonia jäi yhteensä juurikin  $3,0 \text{ m}^3$ .

Yhteenvedona ylijäämäbetonin minimointi laskennallisoin keinoin:

- Työpäällikön ja työnjohtajien kesken on sovittava linjaus siitä, sisällyttääkö työnjohtaja ilmoittamaansa betonimäärään minkäänlaisia varauksia ja kuinka suuri on varauksen määrä.
- Selkein tapa olisi ilmoittaa ns. tiukka määrä, jonka päälle työpäällikkö laittaa tarvittavan varauksen betonoitavien kohteiden lukumäärän ja tyyppien mukaisesti.
- Työnjohtajien tulisi vain harvoin luottaa pelkkään kuvista laskemiseen. Sentin paksuusvaihtelu  $100$  neliön laatassa tarkoittaa kuution eroa betonimäärässä!

Käytännönläheisiä keinoja ylijäämäbetonin minimoimiseen on useita. Seuraavassa on lueteltu ideoita, joita on syntynyt muiden työnjohtajien kanssa:

- Jos työmaalla on muista osakokonaisuuksista irrallinen, pieni valukohde, jonka valamatta jättäminen ei aiheuta haittaa aikataulussa pysymiselle tai mestan riittävyydelle, voidaan tällaista valukohdetta seisottaa ja valaa vasta, kun betonia ensimmäisen kerran jää ylimääräistä. Tällaisen kohteen olemassaolosta tiedotetaan myös työpäällikölle sekä muille työnjohtajille.
- Aloitetaan betonoinnit pienistä valukohteista ja valetaan viimeisenä isoin valukohde, johon mahdollisesti tilataan oma viimeinen lisäkuorma.
- Käytetään toiseksi viimeinen kuorma loppuun ja tämän jälkeen lasketaan viimeinen kuorma tarkkaan. Monesti on halvempaa odottaa tunnin verran, kuin ennakoita ja tilata kaksi kuutiota liian vähän tai paljon.
- Hyödynnetään jäljelle jäänyt ylijäämäbetoni jollain tavalla.

### 6.2.3 Ylijäämäbetonin hyödyntämismahdollisuudet

Sen sijaan, että käytettäisiin mittavia määriä rahaa ja resursseja ylijäämäbetonin poisviemiseen, olisi järkevää ottaa betoni hyötykäyttöön ja tehdä sillä rahaa.

Tärkeintä olisi löytää betonituote, jonka muotti- ja raudoitustöihin menisi mahdollisimman vähän resursseja suhteessa tilavuuteen. Näin ollen ylijäämäbetonille tarkoitettuja muotteja ehdittäisiin tehdä myös kiireisinä aikoina. Ylijäämäbetonin käyttökohteita pitäisi olla myös useaa eri kokoluokkaa. Esimerkiksi tilanteessa, jossa ylijäämää on  $1,4 \text{ m}^3$ , voitaisiin betonoida kaksi  $0,5 \text{ m}^3$  muottia ja neljä  $0,1 \text{ m}^3$  muottia, jolloin kaikki ylijäämäbetoni saataisiin käytettyä. Jos käytössä olisi vain  $0,5 \text{ m}^3$  muotteja, jäisi ylijäämää tällöin  $0,4 \text{ m}^3$ . Muita vaatimuksia ylijäämäbetonia hyödyntävälle betonituotteelle ovat:

- Tuotteella ei saisi olla suuria vaatimuksia käytettävän betonin laadulle (lujuudenkehitys, työstettävyys yms.). Parhaassa tilanteessa kaikkien valukohteiden ylijäämäbetoni kelpaisi käyttöön, eikä ainoastaan esim. korkean lujuuden omaava erikoismassa.

- Muotti- ja raudoitustyöt olisivat mahdollisimman yksinkertaisia ja itseään toistavia, jolloin niitä pystyisi opetuksen jälkeen tuottamaan esimerkiksi ilman alan koulutusta oleva kesätyöläinen. Tällöin ei jouduttaisi viemään kallista kirvesmiestä työmaalta, vaan voitaisiin palkata kesäksi vain tätä tarkoitusta varten töihin otettu palkkatasoltaan edullinen henkilö.
- Muottimateriaalit olisivat mahdollisimman monta kertaa uudelleen käytettävissä. Tähän vaikuttaa erityisesti betonia vasten olevan pinnan materiaali (sahatavara < havuvaneri < filmivaneri < metalli/muovi) sekä muottipinnan öljyäminen.

### 6.3 Edullisemmän betonin käyttö

Työmäärittelyssä/ rakennekuvassa on annettu betonin lujuusluokka, rasitusluokat ja maksimiraekoko, jonka mukaan betoni tehtaalla tehdään. Tuttua on se, että tehdas pystyy muokkaamaan tätä betonia työmaan toiveiden mukaisesti joltain ominaisuudeltaan (esim. lujuudenkehitykseltään) paremmaksi ja sitä pystytään silti käyttämään betonoitavassa kohteessa. Tällöin betonin hinta kasvaa.

Tämä toimii myös toiseen suuntaan; betonia on tehtaalla mahdollisuus muokata joltain ominaisuudeltaan ”huonompaan” suuntaan, niin että se kuitenkin edelleen täyttää siltä rakennepiirustuksessa vaaditut arvot. Tässä tapauksessa betonin hinta laskee. Rasitusluokan vaatimukset tulee kuitenkin aina toteuttaa. [9, s. 303.]

Esimerkiksi lentotuhkaa pystytään käyttämään betonin sideaineena ja korvaamaan osa sementin tarpeesta. Tämä taas laskee betonin hintaa. Haittapuolena kuitenkin on, että betonin varhaislujuus heikkenee eikä se sovellu talvibetonointiin. Lentotuhka toimii kuitenkin hyvin lämpimässä kelissä ja jopa parantaa hieman myöhäisiänlujuuksia. Sen käyttö onkin perusteltua kesällä kohteissa, joissa ei vaadita suurta varhaislujuutta. [6, s. 153; 9, s. 59]

Muita betonin hintaa laskevia tekijöitä lueteltiin jo luvussa 2. Helpoiten valmisbetonin hintaan vaikutetaan kuitenkin kilpailuttamalla ja tarvittaessa vaihtamalla betonin toimittajaa.

#### 6.4 Betonoinnin aloitusajankohdan valinta

Ruduksen betonilaskuista selvisi, että ylitöiden aiheuttamat lisäkustannukset ovat merkittäviä. Tämän päälle ylitöistä tulee aina myös ylimääräisiä työkustannuksia. Toki isoimpien valujen kaikkia työvaiheita ei aina ehditä suorittaa kahdeksan tunnin aikana, jolloin osa töistä joudutaan pakostakin tekemään ylitöinä (usein esim. jälkihoito).

Merkitsevin tekijä ylitöiden vähentämiseksi on betonoinnin alkamisajankohdan valinta, niin ettei ylitöitä tarvitse tehdä. Luonnollisesti ylitöiden osuus vähenee, mitä aiemmin aamusta betonointi saadaan käyntiin. Kuten aiemmin luvussa 6.1.2 todettiin, on betonoinnin alkamisajankohta pääosiltaan tottumiskysymys.

Lasketaan seuraavaksi ensimmäisen ylityötunnin ylityökustannuksen suuruus, käyttäen hyväksi Rudus Oy:n yleishinnastoa ja Rakennuslehden selvittämiä keskimääräisiä työkustannuksia. Esimerkki koskee holvivalua, jossa työryhmän koko on 2 RAM + RM, betonointitapana on autobetonipumppu ja yksi 8 m<sup>3</sup> lisäkuorma tulee 16.00 jälkeen 15 kilometrin päästä. Yhdestä ylityötunnista aiheutuu ylimääräisiä kuluja suhteessa normaalityöajalla tehtyyn betonointiin seuraavasti:

- Betonin kuljetus:  $21,16 \text{ e} + 0,6 \text{ e/km} \times 13 \text{ km} = 28,96 \text{ e}$ .
- Betonin pumppaus:  $63,25 \text{ e/h} = 63,25 \text{ e}$ .
- Betonitehtaan ylityölisä (1 henkilö):  $53,65 \text{ e}$ .
- Työntekijöiden ylityölisä:  $24,59 \text{ e/h} \times 0,5 \times 2 \text{ henkilöä} + 18,61 \text{ e/h} \times 0,5 = 33,90 \text{ e}$ .
- Työnjohtajan ylityölisä:  $25,75 \text{ e/h} \times 0,5 = 12,88 \text{ e}$ . [7; 14.]

Eli yhden ylityötunnin aiheuttama kustannus on yhteensä 192,64 e/h. Ylityökustannusten välttäminen onkin kustannustehokkuuden kannalta ensiarvoisen tärkeää.

## 7 Eri työmaiden betonointien yhdistäminen

Porvoon Paalurakenne Oy:ssä käytetään usein valutapaa, jossa betonoidaan useissa työkohteissa peräkkäin samalla betonointikalustolla. Esimerkiksi täydessä kuormassa olevalla kuljetuspumppuautolla voidaan betonoida useissa eri työkohteissa. Tällainen käytäntö on muissa yrityksissä varsin harvinainen ja sen käyttö on perusteltavissa vain erityisolosuhteissa.

Eri työmaiden betonointien yhdistäminen on sitä helpompaa, mitä lähempänä työmaat sijaitsevat toisiaan ja mitä lähempänä käytettävät betonilaadut ovat toisiaan. Porvoon Paalurakenne Oy:llä suurin osa työmaista sijoittuu hyvin lähelle toisiaan Kilpilahden teollisuusalueelle, etäisyyksien ollessa sadoista metreistä muutamiin kilometreihin. Myös käytettävät betonilaadut ovat useissa kohteissa lähes samoja. Lisäksi pieniä valukohteita (mm. kaapelikanavan kansia/pohjia/seiniä, manttelointeja, putkikannakkeita, pieniä pilareita yms.) on huomattava osuus kaikista betonoinneista. Tällaisissa olosuhteissa betonointien yhdistäminen voi toimia kustannuksia alentavana tekijänä

Tässä luvussa on tarkoitus käydä läpi eri hyötyjä ja riskitekijöitä, joita eri työmaiden betonointien yhdistämiseen liittyy. Pohditaan myös tarvittavia keinoja laadunvarmistuksen takaamiseksi.

### 7.1 Yhteistoiminnan hyödyt

Yhteistoiminnan keskeisin tavoite on pienentää kustannuksia. Muita hyötytekijöitä on nopeampi betonin saanti mahdollisissa kiireellisissä tapauksissa, silloin kun betonia on jo tulossa jollekin muulle työmaalle sekä ylijäämäbetonin minimointi.

Näkyvin kustannussäästö saavutetaan betonin kuljetuskuluissa. Lähimmältä valmisbetonitehtaalta Kilpilahden teollisuusalueelle on n. 22 kilometriä. Jos neljälle eri työmaalle tuodaan kullekin kuutio betonia eri sekoitussäiliöautoilla, syntyy kuljetuksesta kustannuksia minimissään ( $5 \text{ m}^3$  sekoitussäiliöautolla) 477,44 euroa eli  $119,35 \text{ e/m}^3$ . Jos kaikkien neljän työmaan betoni tuodaan samalla sekoitussäiliöautolla, syntyy kustannuksia minimissään 119,35 euroa eli  $29,84 \text{ e/m}^3$ . Kuljetuskuluissa voidaan säästää näin ollen jopa 75 %. [7.]

Ylijäämäbetonin määrää voidaan vähentää yhdistämällä betonointeja, jolloin syntyy kustannussäästöjä. Kuvitellaan jälleen neljän eri työmaan tarvitsevan kuution betonia pumpattuna. Autobetonipumppua tai kuljetuspumppuautoa käytettäessä tulee ylimääräistä betonia varata n. 300 litraa, koska betonia jää pumppuauton perään ja letkuihin sekä säiliöön. Jos eri työmaiden betonoinnit suoritetaan erikseen, syntyy ylijäämäbetonia  $1,2 \text{ m}^3$ . Samalla pumpulla betonoitaessa syntyy ylijäämäbetonia  $0,9 \text{ m}^3$  vähemmän. Minimissään (C20/C25 lujuusluokka, # 32 maksimiraekoko, S2 notkeusluokka) kustannussäästöä syntyisi  $0,9 \text{ m}^3 \times 102,05 \text{ e/ m}^3 = 91,85 \text{ e/ m}^3$ .

Säästöä syntyy myös tilanteessa, jossa betonin tarve on laskettu väärin. Jos neljästä työmaasta kahdelle on betonia tilattu 300 litraa alle todellisen tarpeen, tulisi erikseen betonoitaessa betonia tilata kahdelle eri työmaalle 300 litraa. Yhdistäessä betonointeja betonia tarvitaan 600 litraa ainoastaan yhdelle työmaalle. Tällöin säästytään yhdeltä kuljetuskustannukselta (minimi 119,36 e) ja yhdeltä pientoimituslisäältä (15 e), jolloin säästöä syntyy 134,36 euroa.

## 7.2 Laadulliset riskitekijät

Betonoitaessa eri työmailla peräkkäin, nousee laadunvarmistuksen toimivuus avainasemaan.

Parhaassa tapauksessa eri työmailla olisi tarve täysin samanlaiselle betonille. Tällöin ainoa kasvanut riskitekijä suhteessa yksittäisiin valuihin olisi betonimassan pitäminen käyttökelpoisena ensimmäisestä valukohteesta viimeiseen. Harvoin tilanne on kuitenkin tämä ja siksi eri työmailla betonoitaessa tulisi ottaa laadunvarmistuksen kannalta huomioon erityisesti seuraavat asiat:

- Jokaisen työmaan betonityönjohtajan tulee kuitata betonilähete.
- Tilattavan betonin laatu tulee määrittää vaativimman kohteen mukaan.
- Valittavan betonin käyttökelpoisuus tulee varmistaa jokaisen työmaan suunnittelijalta erikseen.

- Tarvittaessa betonipumppu tulee pestä, jos betonilaatua vaihdetaan siirryttäessä työmaalta toiselle.
- Erikoisbetonia vaativat kohteet tulisi betonoida ainoastaan yksittäin.
- Tilattavan betonilaadun varmistaminen lisäkuormia tilattaessa.
- Ammattitaitoisen valuryhmän saatavuus jokaiselle työmaalle.
- Jälkihoidon huolellinen suorittaminen.

Yllä mainittujen asioiden lisäksi erityyppisten valujen yhdistämistä tulisi välttää; tärkeää olisi erottaa rakennebetonit ja lattiabetonit toisistaan. Esimerkiksi pilari-, perustus- ja seinävaluja olisi mahdollista yhdistää samoin kuin maastolaatta- ja lattiavaluja, mutta perustus- ja lattiavaluja ei. Rakennebetoneissa lujuudenkehitys- ja säilyvyysominaisuudet ovat määrääviä, kun taas omakotitalon lattiassa lujuudenkehitys on toissijainen ja kutistumaan sekä massan erottumiseen vaikuttavat ominaisuudet ovat määrääviä. [9, s.69, s.422]

Betonityönjohtajan vastuu korostuu betonoitaessa useilla työmailla peräkkäin. Betonilähetteen kuittaus varmistaa, että betonimassa on laadultaan sopivaa kyseiselle työmaalle. Tämän lisäksi betonityönjohtajan tulee silmämääräisesti varmistua betonin soveltumisesta betonoitavaan kohteeseen varsinkin notkeuden osalta.

### 7.3 Kustannusriskit

Laadullisten riskien lisäksi betonointien yhdistämiseen liittyy myös kustannusriskejä. Eri kustannusriskejä ovat mm.

- Työsuorittajien venttatunnit.
- Palveluaikakorvauksen suuruus.
- Pumppausveloituksen suuruus.
- Oikea betonin määrä lisäkuormia tilattaessa.
- Ylityökustannukset.

Työsuorittajien venttatunteja ja betonin kuljetuksesta syntyviä palveluaikakorvauksia voi syntyä, jos betonointi on huonosti aikataulutettua tai organisoitua. Pumppausveloitus taas voi kasvaa yllättävän suureksi, jos siirtymämatkoihin kuluu merkittävästi aikaa tai muotit eivät ole valuvalmiita kaikissa kohteissa pumppauskaluston saapuessa paikalle. Väärän betonimäärän tilaaminen voi pahimmillaan aiheuttaa suuren kustannusriskin ja syödä yhdistelyn säästöt. Kuten aiemmin luvussa 6 todettiin, ylityökustannukset tulevat kalliiksi ja niiden todennäköisyys kasvaa betonointeja yhdistelemällä.

## 7.4 Hyödyt vastaan riskit

Seuraavassa taulukossa on eritelty betonointien yhdistämiseen liittyviä hyötyjä ja riskejä:

Hyödyt	Riskit
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kuljetuksien määrän väheneminen</li> <li>• Kuljetuskustannusten jako</li> <li>• Ylijäämäbetonin minimointi</li> <li>• Betonin saanti nopeasti pumpattuna.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Valitun betonin soveltuvuus kaikkiin kohteisiin</li> <li>• Erityyppisten betonointien sekoitus</li> <li>• Betonin sitoutumisen alkaminen</li> <li>• Lisäkuormien tilaus</li> <li>• Ylityökustannukset.</li> </ul>

Erityyppisten riskien minimointi luonnistuu parhaiten huolellisella ennakkosuunnittelulla. Se voittaako hyödyt mahdolliset riskit, on mietittävä aina tapauskohtaisesti betonointeja suunniteltaessa. Optimaalisissa olosuhteissa, silloin kun valut ovat pieniä, samantyyppisiä ja lähellä toisiaan, ovat riskit suhteessa hyötyihin olemattomia ja kustannussäästöjä syntyy suurella todennäköisyydellä.

## 7.5 Missä yhteisvalua kannattaa hyödyntää

Tässä luvussa pyritään tarkastelemaan objektiivisilla esimerkeillä, minkälaisissa tilanteissa yhteisvalua kannattaa hyödyntää ja missä ei. Vertailtaessa otetaan huomioon ainoastaan betonin hinta, betonin kuljetus työmaalle ja betonin siirto työmaalla.

**Esimerkki A.** Risto tarvitsee kaapelikanava työmaalleen paikallavaluseinään yhteensä  $2 \text{ m}^3$  betonia (C30/37, #16, S3, sulfaatinkestävä betoni). Matti tarvitsee viiden putkisillan alapuolisen putkikannakkeen betonointiin  $0,8 \text{ m}^3$  betonia (C25/30, #16, S3, normaalisti kovettuva betoni). Mikko tarvitsee uuteen putkisillan liittyvien kymmenen pilarin betonointiin  $1,6 \text{ m}^3$  betonia (C30/37, #16, S3, sulfaatinkestävä betoni). Kaikki kohteet vaativat autobetonipumpun/ kuljetuspumppuauton. Kohteet ovat betonoitavassa kunnossa ja sijaitsevat kolmen kilometrin säteellä toisistaan.

### Vaihtoehto 1: Betonoidaan kaikilla työmailla erikseen.

Riston työmaalle syntyy kustannuksia kuljetuksesta (24 km) 125,54 euroa, pumppauksesta (< 30 min) 152 euroa sekä betonista ( $2,3 \text{ m}^3$ ) 366,51 euroa. Matin työmaalle syntyy kustannuksia kuljetuksesta (22 km) 119,36 euroa, pumppauksesta (< 30 min) 152 euroa sekä betonista ( $1,1 \text{ m}^3$ ) 127,88 euroa. Mikon työmaalle syntyy kustannuksia kuljetuksesta (24 km) 125,54 euroa, pumppauksesta (< 30 min) 152 euroa sekä betonista ( $1,9 \text{ m}^3$ ) 302,77 euroa. Betonin hinnasta, kuljetuksesta ja pumppauksesta syntyy yhteensä kustannuksia 1623,6 euroa.

### Vaihtoehto 2: Käytetään samaa kuljetuspumppuautoa kaikilla työmailla.

Ensimmäiseksi on valittava kaikille työmaille yhteiseksi betoniksi laadullisesti vaativin betoni eli tässä kohtaa Riston ja Mikon tarvitseva betoni (C30/37, #16, S3, sulfaatinkestävä betoni). Matti varmistaa betonin soveltuvuuden myös hänen kohteeseensa rakennesuunnittelijalta, joka ilomielin antaa luvan paremman betonin käyttöön. Aloitetaan betonointi Matin työmaalta, jolloin kustannuksia kuljetuksesta syntyy (22 km) 119,36 euroa. Pumppaus kestää siirtymisineen ja pumpun pystytyksineen yhteensä 110 minuuttia, jolloin kustannuksia syntyy 152 euroa (ensimmäiset 30 min) + 15,5 euroa x 16 kpl (lisäys e / 5 min) = 400 euroa. Betonista ( $4,7 \text{ m}^3$ ) syntyy kustannuksia 748,95 euroa. Betonin hinnasta, kuljetuksesta ja pumppauksesta syntyy yhteensä kustannuksia 1268,31 euroa.

Esimerkki A:n tapauksessa vaihtoehto 2 eli saman kuljetuspumppuauton käyttö kaikilla työmailla oli selkeästi halvempi vaihtoehto. Sen käyttö oli 355,29 euroa eli 21,9 prosenttiyksikköä halvempi vaihtoehto, kuin jokaisen betonoinnin suorittaminen erikseen.

**Esimerkki B.** Risto tarvitsee kaapelikanava työmaalleen paikallavalupohjiin yhteensä  $2,1 \text{ m}^3$  betonia (C30/37, #16, S3, sulfaatinkestävä betoni). Mikko tarvitsee uuteen putkisiltaan liittyvien kymmenen anturan betonointiin  $5,1 \text{ m}^3$  betonia (C35/45, #16, S3, sulfaatinkestävä betoni). Riston kohde voitaisiin betonoida hydraulista ränniä hyväksi käyttäen. Mikon perustukset ovat kauimmillaan 12 metrin päässä auton sijoituspaikasta, jolloin betonointi vaatii vähintään siirtokuljetinauton käyttöä. Kohteet ovat betonoitavassa kunnossa ja sijaitsevat kahden kilometrin etäisyydellä toisistaan.

### **Vaihtoehto 1: Betonoidaan molemmilla työmailla erikseen.**

Riston työmaalle syntyy kustannuksia kuljetuksesta (24 km) 125,54 euroa, hydraulisen rännin käytöstä (3-6 m) 30 euroa sekä betonista ( $2,1 \text{ m}^3$ ) 334,64 euroa. Mikon työmaalle syntyy kustannuksia kuljetuksesta (24 km) 134,49 euroa, siirtokuljetinautosta (10-14,5 m) 104,99 euroa sekä betonista ( $5,1 \text{ m}^3$ ) 943,5 euroa. Betonin hinnasta, kuljetuksesta ja betonin siirrosta työmaalla syntyy yhteensä kustannuksia 1673,16 euroa.

### **Vaihtoehto 2: Käytetään samaa siirtokuljetinautoa molemmilla työmailla.**

Yhteiseksi betoniksi valitaan Mikon putkisilta työmaan betoni (C35/45, #16, S3, sulfaatinkestävä betoni). Riston työmaan rakennesuunnittelija hyväksyy tämän. Nyt kustannuksia syntyy kuljetuksesta (24 km) 151,51 euroa. Valutapahtuma kestää betonointi- ja siirtymiseen yhteensä 65 minuuttia, jolloin kustannuksia syntyy 104,99 (ensimmäiset 30 min) + 11,50 euroa x 7 kpl (palveluaikakorvaus e / 5 min) = 185,49 euroa. Betonista ( $7,2 \text{ m}^3$ ) syntyy kustannuksia 1332 euroa. Betonin hinnasta, kuljetuksesta ja betonin siirrosta työmaalla syntyy yhteensä kustannuksia 1669 euroa.

Esimerkki B:ssä vaihtoehto 2 eli saman siirtokuljetinauton käyttö molemmilla työmailla oli vain hiukan halvempi vaihtoehto, kuin erikseen betonointi. Se oli ainoastaan 4,16 euroa eli 0,25 prosenttia halvempi vaihtoehto, kuin betonointi erikseen.

Esimerkkien perusteella voidaan todeta, että eri työmaiden betonointien yhdistäminen voi tulla halvemmaksi, kun:

- Työmaiden betonitarpeet ovat pieniä, muutamista sadoista litroista muutamaa kuutiota.
- Työmaat sijaitsevat lähellä toisiaan.
- Työmaiden halvin betoninsiirtomenetelmä on sama. Esimerkiksi molemmat kohteet voidaan betonoida käyttäen hyväksi hydraulista ränniä.
- Työmailla käytettävät betonilaadut ovat lähellä toisiaan.
- Työmaiden valettavat kohteet ovat betonoitavassa kunnossa mahdollisimman samaan aikaan.

## 8 Käytännön testaus

### 8.1 Betonoinninsuunnittelu lomakkeiden hyödyntäminen

Luvussa 6 mainitut betonoinninsuunnittelun alustavat ja lopulliset lomakkeet otettiin Porvoon Paalurakenne Oy:ssä käyttöön varautunein tunnelmin. Rakennusalahan on tunnetusti konservatiivinen ala, jossa kaikkiin muutoksiin suhtaudutaan varauksella. Betonointisuunnitelman lomakkeet aiheuttavat tämän lisäksi ”ylimääräistä paperityötä”, joten varautunut tunnelma oli odotettavissa.

Jo muutaman valukerran jälkeen syntyi kuitenkin rutiini lomakkeiden käyttöön ja niiden aiheuttamaa hyötyä varsinkin tiedonkulun parantamisessa alettiin arvostaa. Jopa kokee-neet työntekijät ottivat lapun taskuunsa, sen sijaan että heittäisivät sen suoraan roskiin. Tämä jos mikä osoitti lomakkeen olevan onnistunut lisä betonoinnin suunnitteluun.

Tärkeimmiksi hyödyiksi nähtiin lopullisen betonoinninsuunnittelulomakkeen kohdat valujärjestys, betonin määrä sekä yhteystietojen näkyminen. Valujärjestyksen tietäminen jo valupäivää edeltävänä iltapäivänä antoi työnjohtajille paremmat mahdollisuudet betonoinnin alkamisajankohdan arviointiin ja sitä kautta koko valupäivän töiden aikataulut-tamiseen. Betonin määrä kohdassa oli tehty selväksi, että määrään sisältyy vain muot-tien tilavuus ilman pyöristyksiä tai varauksia. Sitä kautta ylijäämäbetonin määrät pysyi-vät erittäin pieninä. Ilmoitetun betonin määrän kautta oli myös helpompi arvioida kuinka kauan betonointi kestää työmaittain. Yhteystietoja hyödynnettiin useaan otteeseen tes-tijakson aikana. Esimerkiksi kerran sekoitussäiliöauton rengas hajosi, jolloin työkohteen työnjohtaja ilmoitti tapahtuneesta seuraavien työkohteiden työnjohtajille sekä työnsuo-rittajille. Näin he pystyivät varautumaan odottamattomaan viivästykseen.

## 8.2 Ylijäämäbetoni

### 8.2.1 Ylijäämäbetonin määrä

Ylijäämäbetonin määrää onnistuttiin vertailujaksolla pienentämään huomattavasti aikaisempaan keskiarvoon verrattuna. Tähän vaikuttavia asioita olivat mm.

- Betonointisuunnitelmiin merkattiin aina työmaalla lasketut tarkat betonimenekit.
- Tarvittavat laskentavirheet sekä pumppuun/ autoihin jäävä betonin määrä tuli huomioitua vain kerran.
- Viimeinen lisäkuorman määrä laskettiin vaikeasti arvioitavissa betonimäärissä työmaalla.

Ylijäämäbetonin keskiarvo oli valupäivää kohden vain n. 230 litraa (lukuun ei sisälly pumppauksessa perään jäävä betoni).

### 8.2.2 Ylijäämäbetonin hyödyntäminen

Ylijäämäbetonia päästiin hyödyntämään menestyksekkäästi. Ensinnäkin työmailla otettiin käyttöön pienten ja kokonaisuudesta irrallisten valukohteiden pito varamestoina. Tarkastelujaksolla päästiinkin betonoimaan ylijäämäbetonilla mm. porrasperustuksia ja kaapelikanavan kansia. Ylijäämäbetonista tehtiin myös 300x300x50 mm suuruisia betonilaattoja, joita Kilpilahden teollisuusalueella tarvitaan jatkuvasti maakaapelikanavien peitossa.

300x300x50 betonilaatta on ihanteellinen ylijäämäbetonin hyötykohde. Betonilaatan hyvät ominaisuudet ylijäämäbetonin käyttökohteeksi ovat seuraavat:

- Raudoitusta ei vaadita.
- Muottityö on yksinkertainen.
- Betonin lujuudelle tai ominaisuuksille ei ole vaatimuksia.

- Yhden laatan koko on niin pieni, että lähes kaikki betoni päästään hyödyntämään.
- Valmiita laattoja on helppo siirrellä ja varastoida, koska yksittäinen tuote on niin kevyt.
- Kaikki betonilaatat menevät hyötykäyttöön yrityksen omilla työmailla.

Betonilaatat valettiin filmivanerista tehdyn tasaisen kentän päälle. Filmivaneriin kiinnitettiin 50x50 soiroja samansuuntaisesti 300 mm välein ja näiden soirojen väliin asennettiin 300 mm pituisia 50x50 soiroja niin, että muodostui useita 300x300 mm laattamuotteja (jaolla 350 mm). Ruuvit jätettiin 20 mm valupinnan yläpuolelle, jotta niiden istukkapäät eivät menisi betoniin ja samoja ruuveja pystyttäisiin hyödyntämään useaan otteeseen. Soirojen reunat käsiteltiin muottiöljyllä betonin liimautumisen estämiseksi.

Hyväksikin ominaisuudeksi todettu pieni koko on betonilaatan harvoja huonoja puolia tilanteessa, jossa ylijäämäbetonia on kuutioittain. Näissä tapauksissa muotteja tulisi olla valmiina huomattava määrä, sillä yhdestä kuutiosta betonia voidaan valaa jopa 222 betonilaattaa. Betonilaatan rinnalle olisikin kehitettävä suurempi ylijäämäbetonin sijoituskohde, jolloin yli kuutionkin suuruiset ylijäämät saataisiin järkevästi hyödynnettyä. Toimivia ylijäämäbetonin sijoituskohteita olisivat ainakin kaapelikanavan kannet ja laituripainot.

Kaapelikanavan kannet ovat Kilpilahden teollisuusalueella yleisesti käytössä olevia kaapelikanavaelementtien päälle asennettavia betonisia elementtejä. Niiden koko on yleensä 1000x1000x200 millimetriä. Kaapelikanavan kansien menekki on tasaista ja nämäkin betonituotteet saataisiin käyttöön yrityksen omilla työmailla. Kaapelikanavan muotti on hyvin yksinkertainen neliömuotti, joten muottityön osuus on pieni. Betonilaattoihin verrattuna kaapelikanavan kannen suurimmat heikkoudet ovat ammattilaisen vaatima raudoitus, sekä tiukemmat laatuksiteerit käytettävälle betonille. Huolimatta heikkouksista, olisi mielestäni perusteltua ja kustannustehokasta pitää useampi kaapelikanavan kansi valuvalmiudessa, niin kauan kuin kansien menekki on tasaista.

Laituripainot olisivat myös oiva lisä ylijäämäbetonin käyttökohteeksi. Laituripainojen muotti- ja raudoitustyöt ovat yksinkertaisia, eikä betonin laadulle ole tiukkoja vaatimuksia. Suurimpana heikkoutena on se, ettei Porvoon Paalurakenne Oy:llä ole tarvetta laituripainoille, vaan ne pitäisi myydä ulkopuoliselle taholle. Sopivan tilaajan löytyessä laituripainojen käyttö ylijäämäbetonin sijoituskohteena olisi yllä mainituista syistä erittäin optimaalista.

### 8.3 Betonoinnin aloitusajankohdan valinta

Uuden betonointimallin mukaisesti aloitimme betonoinnin testijakson aikana kello 8.00. Tämä käytäntö otettiin hyvin vastaan niin työnjohtajien, kuin työntekijöidenkin keskuudessa. Suurin syy koski aikataulun arvioinnin paranemista; Rudukselta tilatussa valmisbetonissa päivän ensimmäiset pumppaukset alkavat sovittuna ajankohtana, mutta sitä seuraavien kohteiden pumppausaloitusajankohdat ovat riippuvaisia edellisten valukohteiden aikataulujen pitävyydestä. Toisin sanoen kahdeksaksi varattu autobetonipumppu on kohteessa lähes aina kello 8, mutta 12.00 varattu autobetonipumppu voi olla kohteessa vasta 15.00.

Toinen merkittävä tekijä on se, että aamulla lähes kaikki työnjohtajat ovat toimistolla kello 7.00. Tällöin kommunikointi on helppoa verrattuna siihen ”puhelinralliin”, jota usein keskellä päivää alkavissa betonoinneissa joutui harrastamaan. Työnjohtajien keskinäisen palaverin kautta betonointiin liittyvät yksityiskohdat on helppo kertoa myös työn toteuttajille. Aikaisemmalla betonoinnin alkamisajankohdalla vältytään myös:

- Ylityökustannuksilta.
- Viime hetken paniikilta eli tilanteelta, jossa raudoitus/ muottityö on kesken vielä hetki ennen valua. Tämä taas aiheuttaa ylimääräistä stressiä työnjohtajille.
- Valamattomilta kohteilta (silloin kun viime hetken paniikissa ei ole saatu raudoitusta/ muottia valukuntoon).

Varsinkin ylityökustannuksilta säästyminen aiheuttaa vuositasolla merkittäviä säästöjä verrattuna betonoinnin kokonaiskustannuksiin.

## 9 Loppupäätelmät ja yhteenveto

Opinnäytetyössä selvitettiin mistä tekijöistä betonoinnin logistiset kustannukset muodostuvat ja millä keinoin betonoinnin kustannustehokkuutta on mahdollista parantaa.

Betonoinnin kustannukset ovat merkittävät Porvoon Paalurakenne Oy:n kaltaisessa yrityksessä, jossa valetaan tuhansia kuutioita betonia vuosittain. Kun pienien valukohdeiden osuus betonoinneista on suuri, kasvaa betonoinnin logististen kustannusten osuus suhteessa kokonaiskustannuksiin. Näihin kustannuksiin pystytään vaikuttamaan oikeilla valinnoilla ja riittävällä työnsuunnittelulla.

Teoriaosuudessa painotettiin betonointitavan oikeaa valintaa ja betonin siirrosta syntyvien kustannuksien muodostumista. Esiselvityksenä tehtyjen haastatteluiden ja kyselylomakkeiden perusteella nykyaikaisten informaatiovälineiden, kuten matkapuhelimien käyttö ei vähennä huolellisen ennakkosuunnittelun tärkeyttä. Niin työnjohtajien, kuin työntekijöidenkin mielestä valupäivä onnistuu paremmin mitä enemmän heillä on tietoa valupäivän kokonaisuudesta ja varsinkin heitä koskettavista yksityiskohdista.

Valusuunnittelun parantamisessa keskityttiin ennen kaikkea aikataulun järjeistämiseen ja yhteiseen betonoinnin suunnitteluun työpäälliköiden ja työnjohtajien kesken. Lopputuloksena syntyi uusi malli betonoinninsuunnitteluun, alustava betonoinninsuunnittelulomake sekä lopullinen betonoinninsuunnittelulomake. Näiden lomakkeiden käyttö todettiin valupäivää selkeyttäväksi tekijäksi.

Opinnäytetyön tuloksena löydettiin useita kustannussäästökohteita, joista merkittävimpinä voidaan pitää ylijäämäbetonin hyödyntämistä ja sen minimointia. Ylijäämäbetonille sopivia käyttökohteita tullaan miettimään myös opinnäytetyön jälkeen. Valuajankohdan aikaistaminen loi säästöjä parantamalla työn tehokkuutta ja vähentämällä ylitöiden määrää. Myös järkevä betonointien yhdistäminen läheisten työmaiden kesken tarjoaa mahdollisuuksia säästöihin, mutta sen käytön hyödyt ja riskit on aina arvioitava tapauskohtaisesti ennakkosuunnitteluvaiheessa.

## Lähteet

- 1 Porvoon Paalurakenne, tilinpäätös 2014.
- 2 Porvoon Paalurakenne Oy, yritysesittely. <<http://www.ppr.fi/yritysesittely.pdf>.> Luettu 20.2.2015.
- 3 Marko, Paavola. 2015. Hallituksen puheenjohtaja, Porvoon Paalurakenne Oy. Keskustelu, 22.2.2015.
- 4 Kuormaraportti 1.1.2014- 31.12.2014, Rudus Oy. Päiväty 13.3.2015.
- 5 Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y. 1995. RIL-149-1995, Betonityöohjeet. Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL r.y.
- 6 Laitinen Eero. 1996. Teollinen betonirakentaminen. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 7 Rudus Oy, Betonin, kuljetuksen ja siirtokaluston hinnasto 1.1.2015, Etelä-Suomi.
- 8 Siikanen Unto. 2001. Rakennusaineoppi. Helsinki: Rakennustieto Oy.
- 9 Suomen betoniyhdistys Oy, Betonitekniikan oppikirja BY 201. 2004. BY 201, Betonitekniikan oppikirja. Helsinki: BY-Koulutus Oy.
- 10 Ihanamäki, Jouko - Rajala, Raimo, Uusitalo, Jukka - Vallin, Olavi. 2006. BY 205, Betonityöt. Jyväskylä: Rakennustieto Oy.
- 11 Palolahti, Tuomo. 2011. Pienrakentajan betoniopas. Helsinki: Betoniteollisuus ry.
- 12 Rudus Oy, kotisivut. <http://www.rudus.fi/>. Luettu 23.2.2015.
- 13 Ratu-kortti, R0403, Betonointi, Menetelmät ja menekit.
- 14 Rakennuslehti. 6.3.2015 nro. 9.
- 15 Oy Kart Ab, kotisivut. <http://www.kart.fi/betoninkuljetus?sub=hihnakuljettimet>. Luettu 13.8.2015.
- 16 Tornokone Oy, kotisivut. [http://www.tornokone.fi/tuotteet/Betonipumput/kaytetty\\_autobetonipumppu.html](http://www.tornokone.fi/tuotteet/Betonipumput/kaytetty_autobetonipumppu.html). Luettu 13.8.2015.

## Liite 1

pvm. . .201

Porvoon Paalurakenne Oy

### Alustava betonoinninsuunnittelulomake

Valukohde	Arvioitu betonin tarve	Min. betonointitapa	Lujuusluokka	Rasitusluokat	Maksimi raekoko	Tyyppi

Täyttöohjeet:

Valukohde= Työmaan nimi/ sijainti (esim. TL3 uuni)

Min. betonointitapa= Halvin betonointitapa jolla valukohde voidaan betonoida. 1= rännivalu, 2= siirtokuljetinauto, 3= PuMI/ Pumppu

Tyyppi= Valukohteen tyyppi (esim. pilari, seinä, lattia, holvi, antura, sauma yms.)

**Liite 2**

pvm. . .201

Porvoon Paalurakenne Oy

**Lopullinen betonoinninsuunnittelulomake**

Valujärjestys	Betonin määrä	Lujuusluokka	Rasitusluokat	Max. raekoko	Työkohteen työnjohtaja	Työkohteen työnsuorittaja

**Lisäkuormien tilauksesta vastaa:**

Täyttöohjeet:

Valujärjestys= Sarakkeeseen merkitään betonoitavat kohteet valujärjestykseen.

Betonin määrä= Betonin työmaalla laskettu betonin tarkka määrä (ei mitään hukkia).

Työkohteen työnjohtaja= Betonoitavan kohteen työnjohtaja yhteystietoineen

Työkohteen työnsuorittaja= Betonoitavan kohteen työnsuorittajien kymppi