

# Valmisbetonin tehdas- ja työmaakoe-kappaleiden lujuusvertailu



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Visamäki, Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Kevät, 2019

Juha Glad

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka koulutusohjelma  
Visamäki

---

<b>Tekijä</b>	Juha Glad	<b>Vuosi</b> 2019
<b>Työn nimi</b>	Valmisbetonin tehdas- ja työmaakoekappaleiden lujuusvertailu	
<b>Työn ohjaaja/t</b>	Ville Pulkkinen	

---

## TIIVISTELMÄ

Valmisbetonin laadusta on puhuttu viimeiset vuodet hyvinkin paljon ja erilaisia tutkimuksia on tehty erityisesti betonin säänkestävyyteen liittyen. Valmisbetonin kenties tärkein laadullinen mittari on yleisesti ollut puristuslujuus, jonka kehittymistä seurataan tehdaskoekappaleilla ja toisinaan myös työmaalla tehdyillä koekappaleilla. Työmaakoekappaleet olisi syytä erottaa olosuhdekappaleisiin ja työmaalla valmistettuihin normaaleihin testikappaleisiin. Erot näiden koekappaleiden välillä tulevat säilytyksestä ja näin ollen niiden lujuudenkehityskin on erilainen.

Tavoitteena opinnäytetyössä on ollut selvittää kohdeyrityksen valmisbetonin ominaisuuksia normaalilla rakennebetonilla. Tarkoituksena on ollut vahvistaa betonitekniikan perusteita ja varmistaa laadullisesti tuotteen toimivuus myös olosuhteiden vaikutuksen alla. Tavoitteena on myös ollut saavuttaa konkreettisia ehdotuksia ja toimenpidesuosituksia kohdeyritykselle, jotta tuotteen laadullisten vaatimusten täyttäminen olisi helpompaa.

Tässä opinnäytetyössä on sovellettu teoriaa betonitekniikasta ja sen osi-  
oita nimenomaan valmisbetonin laadusta ja perustuotteiden valmistuksesta, sekä lujuuden kehityksestä. Kirjoittaja on myös käyttänyt kohdeyrityksen tarjoamia tietolähteitä ja kokemukseen perustuvaa tietoa. Koke-  
musta ja havainnointia on tuettu haastatteluilla. Tuloksista ja aineistosta on päätelmien avulla tehty yleistyksiä ja pyritty ymmärtämään yleistyksen soveltuvuus kohdeyrityksen käyttöön.

Tulosten perusteella voidaan päätellä valmisbetonin perusteiden säilyneen samanlaisina kuin niitä on betonitekniikan oppikirjoissa esitetty. Opinnäytetyön perusteella voidaan kuitenkin huomata lujuudenkehitykseen vaikuttavien seikkojen paremman tietoisuuden helpottavan mahdollisten ongelmatilanteiden selvittämistä.

**Avainsanat** Betoni, testaus, lujuus

**Sivut** 26 sivua, joista liitteitä 6 sivua

Degree Programme in Construction Engineering  
Visamäki

---

<b>Author</b>	Juha Glad	<b>Year</b> 2019
<b>Subject</b>	Comparing the strength of ready-mixed concrete in plant batches and on-site test specimens	
<b>Supervisor</b>	Ville Pulkkinen	

---

ABSTRACT

The quality of ready-mixed concrete has been the object of discussion lately. Various studies on the quality of concrete and especially on its weather resistance have been conducted. One of the main properties of concrete is its compressive strength and how it develops through time. Strength testing can be made in plant batches or test specimens made on site. On-site test specimens should be distinguished into batch specimens and field-cured cylinders.

The aim of this Bachelor's thesis was to examine the properties of the target company's ready-mixed concrete in standard structural concrete. The purpose was to strengthen the basics of concrete technology and find out the product's quality properties in different conditions. Another aim was to get some concrete proposals for the development of product quality.

The theory of concrete technology was applied in the thesis focusing especially on the quality of ready-mixed concrete and concrete strength. Sources provided by the target company and information based on experience were also used. Interviews were held and their results were compared to the target company's data.

The results of the thesis show that the basics of the properties of ready-mixed concrete have remained the same as they are presented in textbooks of the theory of concrete technology. It is important to notice that the strength of concrete is influenced by weather conditions. Maturity of concrete should always be taken into account before drawing any further conclusions.

**Keywords** Concrete, strength, testing

**Pages** 26 pages including appendices 6 pages

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
1.1	Työn taustaa ja tavoite.....	1
1.2	Opinnäytetyön rajaus.....	2
1.3	Opinnäytetyön rakenne .....	2
2	TEOREETTINEN VIITEKEHYS .....	2
2.1	Valmisbetonitehdas .....	3
2.2	Tuotantolaitteet .....	4
2.3	Laadunvalvonnan viitekehys .....	4
3	VALMISBETONI JA LAADUNVALVONTA .....	5
3.1	Valmisbetoni .....	6
3.2	Osa-aineet .....	6
3.3	Laadunvalvonta tehtaalla.....	7
3.4	Laadunvalvonta työmaalla .....	7
3.5	Puristuslujuudet .....	8
4	MITTAUKSET JA TULOKSET .....	11
4.1	Koekappaleet ja mittaukset .....	11
4.2	Tulokset.....	11
4.3	Yhteenvedo mittauksista ja tuloksista .....	12
4.4	Rakennekoekappale .....	12
4.5	Lopullinen rakenne / elementti.....	15
4.6	Tulosten luotettavuus .....	16
5	POHDINTA JA JATKOTOIMENPITEET.....	16
5.1	Pohdinta .....	16
5.2	Jatkotoimenpiteet .....	17
	LÄHTEET.....	19
	KUVALÄHTEET.....	20

## Liitteet

Liite 1	Valmisbetonitehdas
Liite 2	Betonin innograafi
Liite 3	Mittaustulokset
Liite 4	Mittaustulokset pylväsdiagrammi ja kypsyysikä
Liite 5	Tilaajan koestusdokumentti
Liite 6	Keskilämpötilat

## 1 JOHDANTO

Valmisbetonin laadusta on viimevuosina käyty paljon keskustelua ja keskustelu jatkuu edelleen, koska valmisbetonissa ja siitä valmistetuissa rakenteissa on havaittu laadullisia puutteita. Ei kuitenkaan ole varmaa, että laatupoikkeamat koskevat pelkästään valmisbetonia tai johdu yksistään valmisbetonista. Laadullisesti poikkeava tuote on aina virhe ja näiden virheiden poistaminen kuuluu laadunhallintaan.

Alalla on suoritettu paljon tutkimusta ja selvityksiä valmisbetonin käyttäytymisestä erilaisissa olosuhteissa, erilaisilla lisäaineilla tai muiden osaineiden vaikutuksesta valmisbetonin käyttäytymiseen. Betonitekniikan perusteet kuitenkin ovat säilyneet käytännössä samoina ja vanhat lainalaisuuden pätevät edelleen perusbetoneissa.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus vahvistaa olemassa olevaa tietoa ja tuoda tietoutta tehdashenkilökunnan käyttöön. Testauksia suoritettiin olemassa olevin laittein ja varustein sekä työmaaolosuhteisiin pyrittiin vaikuttamaan mahdollisimman vähän. Näin tuloksiin saatiin mukaan myös todellisia käytänteitä ja vaikutteita jolloin mahdolliset parannuksetkin olisivat helpompi suorittaa.

Tulokset dokumentoitiin ja tuloksista tehtiin yhteenveto, jonka avulla pyrittiin selvittämään tehtyjä mittauksia. Tulosten perusteella ja yhteenvetoon perusteella koostettiin myös parannusehdotuksia jatkoa ajatellen.

### 1.1 Työn taustaa ja tavoite

Opinnäytetyössä, joka tehdään ammattikorkeakoulussa opiskelija voi soveltaa tietojaan ja taitojaan. Opiskelija samalla kehittää näitä tietoja ja taitoja.(HAMK2019.)

Tavoitteena on täyttää opinnäytetyölle asetut tavoitteet niin henkilökoh- taisten kuin myös ammattikorkeakoulun laatimien ohjeiden osalta, sekä tuottaa kohde yritykselle sovitun mukainen opinnäytetyö. Tavoitteena on saada ennalta määrättyihin kysymyksiin vastauksia tai ainakin tuottaa pohdintaa, jos vastauksia ei saavuteta.

Kohde yritykseksi valikoitui työnantaja, jolla oli osoittaa mielenkiintoinen ja ajankohtainen haaste ratkaistavaksi. Yritys on valtakunnallisesti toimiva ja tuotetun valmisbetonin kokonaismäärällä mitattuna markkinajohtaja.

## 1.2 Opinnäytetyön rajaus

Tässä opinnäytetyössä rajauksia asetettiin, jotta käsiteltävien muuttujien määrää saataisiin riittävästi hallittua ja tiedon yksinkertaistaminen olisi helpompaa. Opinnäytetyötä pyrittiin rajaamaan kysymyksillä

1. Kuinka paljon työmaan tekemien koekappaleiden tulokset poikkeavat tehdassarjojen tuloksista?
2. Voidaanko tuloksien perusteella tuottaa ohjeita betonitehtaan valmistusprosessiin?

Kysymysten avulla voidaan rajata teoreettisen viitekehyksen määrää ja saada tiiviimpi näkökulma selvitettävään ongelmaan. Rajauksella myös mahdollistetaan ajanhallinta ja pyritään varmistamaan opinnäytetyön valmistuminen annetussa aikataulussa.

## 1.3 Opinnäytetyön rakenne

Rakenteena opinnäytetyössä käytetään rakennus- ja yhdyskuntatekniikan opinnäytetyön ohjeistusta ja opinnäytteen kirjallinen osio tehdään opinnäytetyön pohjan avulla noudattaen annettuja kirjallisen tuotoksen ohjeita, kuten lähdeviitteiden oikeaa merkitsemistapaa. Tämä helpottaa mahdollisten lähteiden löytämistä myöhempää käyttöä varten ja selkiyttää opinnäytetyön muotoa ja luettavuutta.

Opinnäytetyöhön kuuluvat myös seminaarit, joissa opiskelijan ja ohjaajien on mahdollista seurata opinnäytetyön edistymistä. Seminaareissa ohjaajilla on mahdollista tukea ja opastaa opinnäytetyön tekijää saavuttamaan tavoitteet sovitussa aikarajassa.

Opinnäytetyö tavoitteena on saavuttaa vähintään pohdintaosio, jonka avulla voidaan työn tilaajalle osoittaa saavutettuja tuloksia ja mahdollisesti pohdintojen perusteella tehtäviä toimintamallin muutoksia.

## 2 TEOREETTINEN VIITEKEHYS

Tämän opinnäytetyön teoreettisena viitekehyksenä on käytetty betonitekniikkaan liittyviä oppikirjoja ja julkaisuja. Teorian opiskelulla ja tutkimisella lisättiin teoreettista osaamista ja samalla pystyttiin muodostamaan opinnäytetyön kannalta tarvittavia viitekehyksiä. Teoreettisen viitekehyksen rajaaminen oli käytännössä helppoa ja kohdennettavissa hyvinkin tarkasti.

Teoriaa oli helposti saatavilla niin sähköisistä kanavista kuin myös fyysisinä oppikirjoinakin. Betonitekniikan oppikirjoja on päivitetty viime vuosina, joten saatavilla oleva tieto on ajankohtaista ja relevanttia kaikilta osin.

Toisaalta pieniä muutoksia tapahtuu jatkuvasti esimerkiksi lisäaineissa ja sementeissä, joten muutoksia tapahtuu ja niiden saattaminen teoriaan vaatii riittävää päivitystä kirjallisuuteen. Näin varmistetaan riittävä tietotaito ja osaaminen myös jatkossa.

Oleellista on myös seurata alalla tehtyjä tutkimuksia ja analysoida niistä saatuja tuloksia. Tulosten analysointi ja syy- ja seuraussuhteiden ymmärtäminen osaltaan kehittää ja parantaa yrityksen omaa toimintaa, sekä mahdollistaa käytännön toimenpiteiden viemisen prosessiin nopeammin ja tehokkaammin.

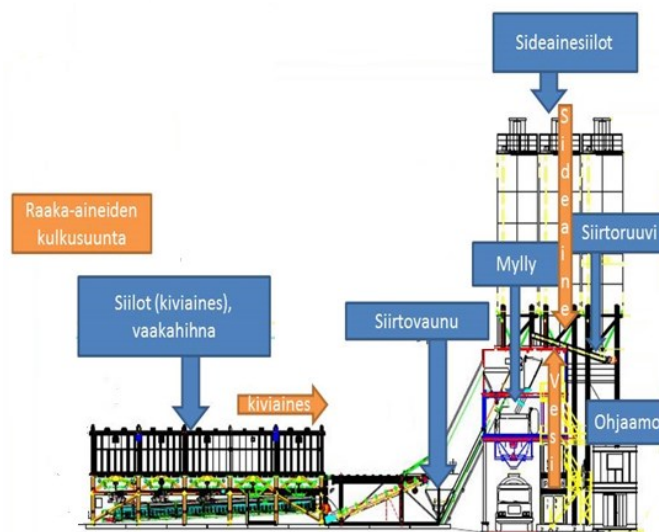
Teoreettisen viitekehyksen alla on esitelty myös valmisbetonitehtaan periaatteellinen toiminta. Tehtaan esittely on tehty yleisellä tasolla ja lähinnä prosessin esittelyn näkökulmasta. Tehtailla on normaalisti yksilöllisiä ominaisuuksia, mutta näitä ominaisuuksia ei käydä tässä opinnäytetyössä selitetä tarkemmin.

## 2.1 Valmisbetonitehdas

Valmisbetonitehtaita on käyttötarkoituksesta riippuen useita erilaisia ja niiden tuotantotehot, koot ja ominaisuudet räätälöidään käytännössä tapauskohtaisesti. Liitteessä 1 on esitetty yksi kiinteä valmisbetonitehdas. Kiinteällä tarkoitetaan yleensä tehtaan rakenteiden olevan kiinteitä ja mahdollinen siirtäminen tarkoittaisi rakenteiden rikkomista.

Mobiilitehtaat on suunniteltu liikuteltaviksi ja nopeimmat laitokset voidaan pystyttää ja purkaa vain muutamassa päivässä. Esimerkiksi isot työmaat käyttävät siirrettäviä valmisbetonitehtaita tuottamaan tarvittavat työmaan valmisbetonit. (Tecwill, 2019).

Valmisbetonitehtaan tuotantoprosessi on esitetty kuvassa 1, jossa näkyy raaka-aineiden siirtyminen prosessissa.



Kuva 1. Valmisbetonitehdas tuotantoprosessi

## 2.2 Tuotantolaitteet

Valmisbetonitehtaat voidaan karkeasti jakaa muutamaan osaan, jotka ovat merkittäviä valmistuksen osalta.

Sekoitin tai mylly on raaka-aineiden sekoittamiseen käytettävä kone, jolla punnitut ja halutut raaka-aineet sekoitetaan homogeeniseksi massaksi. Sekoittimien kunto voi oleellisesti vaikuttaa tuotetun massan laatuun ja erityisesti massan tasalaatuisuuteen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018 s.307)

Punnitusjärjestelmät ja vaakakomponentit toimivat raaka-aineiden annostelijoina ja varmistavat automatiikan kanssa oikean määrän haluttua raaka-ainetta. Raaka-aineiden annosteluun vaikuttaa valittu resepti ja mahdollisesti halutut lisäominaisuudet.

Sideainesiiloissa säilytetään käytössä olevia sideaineita, joita tavallisesti ovat sementti, tuhka ja masuunikuona. Myös muut jauhemaiset raaka-aineet on mahdollista säilyttää ja annostella siiloista.

Kiviainessiiloja käytetään käytössä olevien kiviainesten säilyttämiseen ja annosteluun. Yhdessä punnitusjärjestelmän kanssa haluttu kiviaines voidaan syöttää, joko suoraan sekoittimeen tai erilaisiin väliastioihin.

Lisäaineet ja vesi siirretään punnituslaitteille tavallisesti erilaisilla pumpuilla tai muilla siirtomenetelmillä. Annostelutarkkuuden tavoite yleensä määrittelee syöttötavan, jotta voidaan varmistua halutun toleranssin saavutettavuudesta. Lisäaineiden osalta on myös paljon käytössä työmaa-kohtaisia lisäaineita, kuten muovi- ja teräskuituja tai jauheita ja nesteitä joiden annostelu tehdään tarvittaessa vaikka manuaalisesti suoraan prosessiin syöttämällä. Näiden osalta ongelmaksi muodostuu punnitustulosten rekisteröiminen.

Talviolosuhteiden vuoksi yleisesti käytössä on myös jonkinlainen lämmitysjärjestelmä, jolla voidaan varmistaa runkoaineiden ja käyttöveden lämmitys. Kiviainesten lämmittäminen höyryllä tai lämpimällä ilmalla on huomioitava tuotannossa, koska kiviainesten kosteuden hallinta on hankalampaa ja tätä kautta massan vesisementtisuhte voi muuttua oleellisesti.

## 2.3 Laadunvalvonnan viitekehys

Laadunvalvonnan viitekehystenä on käytetty tässä työssä betoniteknologiaan liittyvää kirjallisuutta ja teoriaa. Kirjallisuutta betoniteollisuudelle tuottaa Suomessa Suomen betoniyhdistys Ry ja monia muita pienempiä toimijoita.

Betonin valmistuksen laadunvalvonnalle on asetettu vaatimukset. Nämä vaatimukset on esitetty standardissa SFS-EN 206:2014 + A1:2016 Betoni. Lisäksi tätä standardia täydentää SFS 7022 Betoni, joka antaa sääntöjä betonin säilyvyyden takaamiseksi suomalaisissa olosuhteissa.

Lisäksi on saatavilla erilaisia normeja, kuten betoninormit 2016 by 65, ohjeita ja tarkennuksia riippuen työkohteista. Esimerkiksi betonilattioille löytyy omia ohjeita ja laatuvaatimuksia. Sertifikaatit ja hyväksynnät myös edellyttävät yleensä lisätarkennuksia ja yleisohjeita ja näiden noudattamista. Tästä esimerkkinä voidaan mainita esimerkiksi Inspecta Oy:n tuoteryhmäohjeet TR 14 valmisbetoni.

Eriyisen vaativat kohteet, kuten sillat vaativat myös omia ohjeita. Tästä esimerkkinä ohje siltabetonien P-lukumenettelylle. Tämä ohje on tekninen asiakirja, jota käytetään taitorakenteiden, kuten siltojen tai vastaavien rakentamisessa. Ohjeessa esitetään valmistus- ja suhteitusvaatimukset, laadunvalvonta ja kelpoisuuden osoittaminen pakkasen kestävä siltabetonin (P-lukubetonin) osalta. Betonin P-luvun osoittaminen myös suhteitustietojen ja mitatun ilmamäärän perusteella selviää ohjeesta. Ohjeen liitteissä esitetään betonin laatuvaatimukset eri rasisluokkaryhmissä silta ja väyläympäristöjen betonirakenteissa. Tarvittavat taulukot löytyvät ohjeen liitteistä. ( Liikennevirasto, 2016 )

### 3 VALMISBETONI JA LAADUNVALVONTA

Tässä luvussa kerrotaan lyhyesti valmisbetoniin käytettävistä raaka-aineista ja valmisbetonin valmistuksesta. Valmisbetonin laadunvalvonnasta kerrotaan hieman laajemmin ja nostetaan esille asioita, jotka ovat tärkeitä tämän opinnäytetyön kannalta.

Laadunvalvontaa voivat suorittaa tehtailla tehdaslaborantit ja työmailla työmaalaborantit. Käytännössä työsuoritteet ovat samanlaisia, mutta työmaakohteiden kalusto ja olosuhteet voivat olla haastavampia työn tekemisen kannalta. Seuraavassa luettelossa on osa laboranttien suorittamista laadunvalvonta tehtävistä.

- Painuman mittaus
- Ilmamittaus
- Lämpötila
- Leviämä ( IT-massat )
- Raaka-aineiden testaukset ( Esimerkiksi kiviaines )

Osa-aineiden laadunvalvonta on tärkeässä roolissa, koska niissä tapahtuvat muutokset vaikuttavat merkittävästi tuotteen laadullisiin ominaisuuksiin. Laboranttien työnkuvaan kuuluu seurata eri osa-aineiden, kuten sementtien ja kiviainesten laatukäyriä. Näiden laatukäyrien avulla voidaan

tehdä tarvittavia säätöjä reseptiikkaan ja mahdollisten lisäaineiden anosteluun. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018 s.183)

Laadunvalvonnan merkitys on ollut alalla aina merkittävässä roolissa ja mahdolliset laadunvalvonnan kiristykset tulevaisuudessa voidaankin nähdä alan imagoa ja luotettavuutta parantavana.

### 3.1 Valmisbetoni

Rakennusmateriaaleista juuri betonia käytetään kaikkein eniten ja sen tuotanto vuodessa maailmanlaajuisesti on noin 13 miljardia kuutiometriä. (Betoniteollisuus ry, n.d)

Yksinkertaisuudessaan valmisbetoni koostuu kiviaineksesta, sementistä ja vedestä. Nykyisin kuitenkin valtaosaan betonireseptejä lisätään lisäaineita betonin ominaisuuksien parantamiseksi. Nämä osa-aineet sekoitetaan sekoitusvälineillä mahdollisimman homogeeniseksi massaksi ja syntynyt massa valetaan mahdollisimman pian. Tämän jälkeen massassa alkaa prosessi, joka tuottaa kovettuneen keinokiven tai valumuotin mukaisen rakenteen. Betonin innograafissa (liite 2) on esitetty tiivistetysti betonin elinkaari.

Heikkilän (2018, s.27) mukaan kiviainesten väliin jäävän tyhjän tilan täyttää sementtiliima, joka betonin ollessa tuoretta on täynnä vettä ja ilmaa. Sementtikiven lujuus riippuu vesi-sementtisuhteesta, mitä enemmän sementtiä käytetään suhteessa veteen sen lujempaa sementtikivi on. Lujuuteen vaikuttaa myös sementin lujuus, sekä betonissa oleva ilmamäärä. Betonissa ilma esiintyy tiivistyshuokosissa ja suojahuokosissa. Ilmalla on heikentävä vaikutus betonin lujuuteen ja se pienentää myös betonin tiheyttä.

### 3.2 Osa-aineet

Osa-aineita yhdistetään betonin valmistuksessa suhteituksella niin, että sekä tuore betonimassa että kovettunut betoni saavuttavat niille asetetut ominaisuudet. Tärkeimmät tavoitteet joita suhteituksella haetaan on betonin hyvien lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksien, sekä säilyvyys ominaisuuksien täytyminen. Samalla, valmistetun betonin tulee soveltua rakennusaikaisiin olosuhteisiin ottaen huomioon rakenteen laatuvaatimukset ja betonin valmistus tulee olla taloudellista. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018 s.155)

Osa-aineita betonin valmistuksessa ovat sementti, kiviainekset, seosaineet, vesi, lisäaineet ja kuidut. Tuoreen tai kovettuneen tai betonissa olevien terästen ominaisuuksiin heikentävästi vaikuttavien aineiden määrä ei osa-aineissa saa nousta haitalliseksi. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2016 s.28)

### 3.3 Laadunvalvonta tehtaalla

Betonin valmistuksen vaatimukset laadunvalvonnalle on esitetty standardissa SFS-EN 206 Betoni, Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. Valmistuksen laadunvalvonta käsittää seuraavat toimenpiteet.

- Osa-aineiden valinta
- Betonin koostumuksen määrittäminen
- Betonin valmistus
- Tarkastukset ja testaukset
- Osa-aineiden, betonimassan ja kovettuneen betonin testaustulosten käyttäminen
- Laitteiden kalibrointi
- Tarvittaessa betonimassan kuljetusvälineiden tarkastus
- Vaatimustenmukaisuuden valvonta.

Valmistusprosessissa voi tapahtua betonin laatua heikentäviä muutoksia, joten valmistuksen laadunvalvonnalla varmistetaan ettei tätä pääse tapahtumaan. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018 s.182).

Laadunvalvontaa on tehtailla lisätty myös alalla esiintyneiden kriisien vuoksi. Liikenneviraston (LIVI, 2018a) mukaan muutoksia on tehty useita esimerkiksi dokumentoinnin vaatimuksia on tarkennettu, laatuaineistojen ja lujuuden osoittamisen merkitystä korostettu, sekä ohjeistuksia on täsmennetty.

Valmistajalla itsellään voi tietenkin olla myös vielä tiukemmat ohjeet ja säännöt valmistusprosessia ja laadunvalvontaa ajatellen. Tämä voi tulla kyseeseen esimerkiksi laadullisesti vaativien massojen osalta. Tämän tyyppisiä massoja saattavat olla elementtitehtaille tuotetut massat.

### 3.4 Laadunvalvonta työmaalla

Valmisbetonin laadunvalvontaa voidaan suorittaa myös työmaalla ja joissakin tapauksissa se on pakollista. Osa valmisbetoneista on reseptuuriltaan sellaisia, että niiden laadunvalvonta on tehtävä valukohteessa. Tällä voidaan varmistaa laadullisten vaatimusten täyttyminen itse rakennuskohteessa ja minimoida rakenteeseen päätyvän epäkurantin tuotteen mahdollisuus.

Työmaalla laadunvalvonta on olosuhteiden osalta vaikeampaa ja siksi myös häiriöherkempää. Kokenut ja pätevä työmaalaborantti osaa tulkita saatuja mittaustuloksia, sekä pystyy mahdollisesti vielä korjaamaan valmisbetoni kuormaa tarvittavaan suuntaan ilman laadullista heikentämistä. Toisaalta laborantin ammattitaitoa on myös kieltää käyttämästä laadullisesti vajavaista betonia.

Puristuslujuuden osalta työmaat voivat seurata laatua puristuslujuuskappaleilla, rakennekoekappaleilla tai muilla lujuusmittareilla, kuten kimmo-vasaroinnilla. Puristuslujuuksia koekappaleista saadaan valmisbetonin toimittajilta tai valmistetut koekappaleet voidaan lähettää kolmannelle osapuolelle testattavaksi.

Laadunvalvontaa voidaan ostaa myös kokonaan ulkopuolisilta toimijoilta, jolloin valmisbetonin toimittaja ei suorita lisätyönä suoritettuja laadunvalvontatoimenpiteitä.

### 3.5 Puristuslujuudet

Kovettuneen betonin vaatimukset on esitetty standardissa SFS-EN 206, jossa on hyvinkin tarkasti määritelty betonin ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus.

Puristuslujuus määritetään 28 vuorokauden ikäisillä koekappaleilla, ellei toisin määritetä. Koekappaleiden teko, säilytys ja testaus on määritelty tarkasti. (SFS-EN 206 2014,38)

Puristuslujuuden osalta betonin vaatimustenmukaisuutta valvotaan ja arvioidaan tuotannon yhteydessä tehtävillä puristuslujuuskokeilla. Betonin vaatimustenmukaisuutta edustaa yleensä hyvin rajallinen määrä koekappaleita lähinnä käytännön syistä. Tulosten arviointiin käytetään tulosten keskiarvoa ja keskihajontaa, jolloin pienelläkin määrällä koekappaleita on mahdollista saada riittävän luotettava arvio betonin puristuslujuudesta tilastomatematiikkaa apuna käyttäen. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018 s.186)

Betonin puristuslujuuksien osalta puristuslujuuden kehitys riippuu hyvin paljon ympäröivästä lämpötilasta. Lujuudenkehitystä voidaan arvioida käyttäen apuna kypsyysien laskukaavoja, joista esimerkkinä on Sadgroven kaava. Sadgroven menetelmässä betonin kypsyysikä saadaan kaavalla (1).

$$t_{20} = (T + 16^{\circ}\text{C} / 36^{\circ}\text{C})^2 * t \quad (1)$$

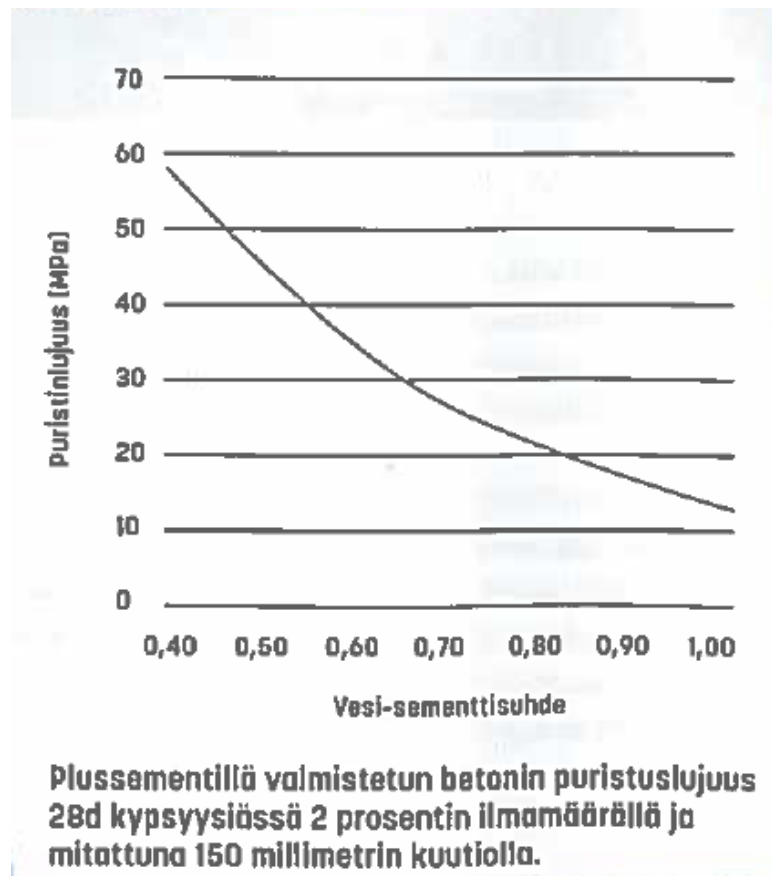
On olemassa muitakin menetelmiä, joista voidaan mainita myös Eurocode menetelmä. Näiden kahden menetelmän välillä on jonkin verran eroa ja menetelmän valintaan ei tässä oteta kantaa.

Oleellista on huomioida lämpötila, joka betonin valamisen jälkeen vaikuttaa rakenteeseen ja kuinka lujuus tämän johdosta kehittyy. Asiantuntijakin painottaa tutkimusten perusteella, että kypsyysikä on väliä. (Ruokonen, 2018)

Haataisen (2018) mukaan on syytä huomioida viileän kelin vaikutus betonin lujuudenkehitykseen. Kelit voivat olla viileät keskikesälläkin, jolloin lu-

juudenkehittyminen ei ole sama työmaalla kuin se on normin mukaisessa testauksessa suoritettuna tehtaalla.

Heikkilän (2018, s.27) mukaan betonin puristuslujuuden voi päätellä tarkasti betonin ilmamäärän, käytetyn sementin lujuuden ja betonin vesi-sementtisuhteen perusteella (kuva 2). Tämän lisäksi on myös tärkeää tietää betonin kypsyysaste, joka kertoo, milloin betonin lujuus määritellään sekä lujuuden mittaustapa.



Kuva 2. Vesi-sementtisuhte / puristuslujuus ( Heikkilä, 2018, s.27)

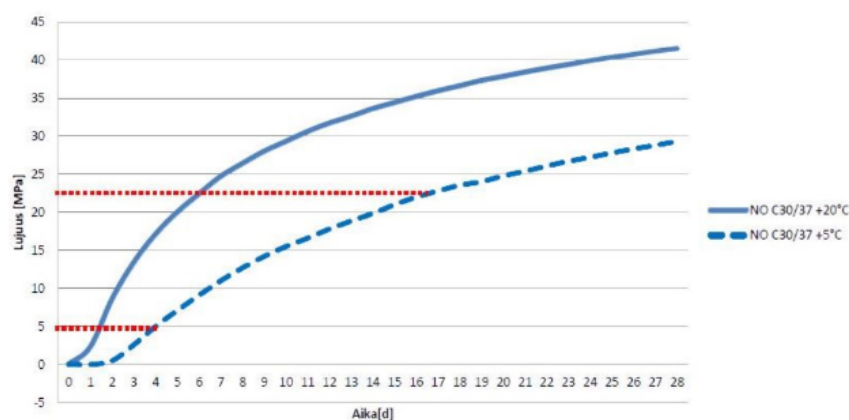
Liikenneviraston (LIVI, 2018a) teettämässä tutkimuksessa selvisi, että tutkituista silloista vain yhdessä oli puutteita puristuslujuuden kanssa. Tutkittuja siltoja oli 94 kappaletta ja yhden alittavan tuloksen lisäksi ainoastaan viidessä sillassa oli huomautus, että lujuus ei olisi mahdollisesti täytynyt vaaditussa laadunarviointi-ikässä. Tutkimuksen tuloksista on otettu tähän osa, joka esitetään taulukossa 1.

Taulukko 1. Liikenneviraston tutkimus. (LIVI, 2018a)

Liikenneviraston betonisiltojen laatu- ja lujuustutkimustulosten yhteenveto													11.9.2018			
Siltanro	Rautatievaihtiesilta	Nimi	Rakennosa	Sijaintikunta	Laatuaineiston pisteet (0-10)	Suunniteltu lujuus K	Tutkittu lujuus K <sub>k</sub> (bv65)	Tutkittu lujuus / vaatimus	Tutkittu ilmamäärä	Valm. vuosi	Tutk. ikä (vk)	Rataosoitte	Tieosoitte	Rakennetyyppin kokonimi	Kok.pituus (m)	Hyötyleveys (m)
O-4884	RATA	Kuivajoen entien alkukulkusilta	Kansilinen		5	45	30	0,78	11,8%	2016	395	-0823+0	0	Teräsbetoninen jatkuva ulokelaa ttaasilta	46,60	7,30
V-1874	TIE	Siläkallion ylikulkusilta	Kansilinen	Seinäjoki	4	45	42	1,1(2)	13,6%	2015	1014	-0339+0	9-4-798	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta	106,60	19,50
KaS-1524	TIE	Yläsuutarin risteysilta	Kansilinen	Kotka	6	45	42	1,1(2)	9,4%	2013	1502	0	0-27-4	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta	110,40	13,50
KaS-1501	TIE	Ahvenkosken läntinen silta	Kansilinen	Pyhtää	6	45	43	1,13(2)	7,4%	2014	1728	0	-23-150	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta	272,00	12,00
KaS-1607	TIE	Ikäkirkon kylän silta	Kansilinen	Pyhtää	5	45	46	1,21(2)	8,1%	2013	1802	0	-24-319	Jännitetty betoninen jatkuva palkkisilta	83,70	12,00

Yhteenvedosta nähdään myös tutkittu ilmamäärä, joka on poikkeuksellisen suuri osassa tuloksia. Tämä on osatekijä, joka on vaikuttanut betonin lujuuden kehitykseen. Yleisesti on tiedossa, että korkea ilmamäärä heikentää betonin lujuutta. Tässä opinnäytetyössä ei kuitenkaan käsitellä ilmamäärän vaikutusta betonin ominaisuuksiin, kuten lujuuteen tarkemmin.

Betonin ominaisuuksiin kuuluu lujuuden kehittyminen vielä 28 vuorokauden jälkeenkin (kuva 3). Lujuus voi parhaimmillaan kehittyä minimaalisesti vuosiakin. Tämä on hyvä tiedostaa, koska paremman lopputuloksen saavuttamiseksi onkin mahdollista käyttää pidempää laadunarvosteluikää. Yleisin poikkeava laadunarvosteluikä on 91 vuorokautta.



Kuva 3. Lujuuden kehitys (Rudus Oy/ Lumme P. 2019.).

## 4 MITTAUKSET JA TULOKSET

Tämän kappaleen tarkoituksena on kertoa tehdyistä mittauksista ja saaduista tuloksista. Tulokset on pyritty esittämään yksinkertaisilla ja luettavilla taulukoilla ja taulukoita on avattu sanallisilla selityksillä.

### 4.1 Koekappaleet ja mittaukset

Koekappaleet tehtiin ja mittaukset suoritettiin valmisbetonitehtaalla normaalin valmistuksen ja laadunvalvonnan yhteydessä ja työmaamittauksia suoritettiin yhdellä työmaalla. Mittaukset tehtaalla pyrittiin tekemään samalla tavalla ja mahdollisimman paljon samoilla työkaluilla ja työsuoritteilla. Työmaalla ei erillisiä ohjeita käytetty koekappaleiden teossa.

Työmaalla tehtiin koekappaleet, jotka olivat suoraan vertailukappaleina tehdassarjoille. Nämä koekappaleet valoivat työmaan valuporukka, jolle ei annettu erikseen ohjeita kappaleen valamiseen. Tällä haluttiin selvittää mahdollisia vaikutuksia koekappaleen ominaisuuksiin, lähinnä puristuslujuuteen.

Koekappaleita tehtiin työmaalla työmaahenkilöstön toimesta 13 kappaletta, jotka kaikki olivat 28 vuorokauden ikäisiä testattaessa. Tehtaalla tehtiin 14 sarjaa, jotka sisälsivät seitsemän vuorokauden koekappaleen kuin myös 28 vuorokauden koekappaleen. Yksittäisiä kolmannen osapuolen koekappaleita tehtiin kahdeksan kappaletta. Rakennekoekappaleita porattiin yksi kappale ja Sadgroven kaavalla verrattiin lujoudenkehitystä yhteen koekappaleeseen.

### 4.2 Tulokset

Kaikki saadut tulokset on esitetty liitteissä 3 ja 4 excel-tilukkomuodossa. Liitteiden tulokset ovat suoraan kuutiolujuuksia tai muunnettu lieriöistä kuutiolujuuksiksi.

Taulukossa (taulukko 2) nähdään tuloksia työmaakoekappaleista. Työmaalla teetettiin 13 koekappaletta lieriömuoteilla, jotka täyttävät standardissa esitetyn koekappalemuotin vaatimukset mitoiltaan. Muotit olivat myös kalibroituja. Koekappaleet valmistettiin työmaahenkilökunnan toimesta ja purettiin seuraavana päivänä ja säilytettiin työmaalla vallitsevien olosuhteiden kaltaisessa ympäristössä lähelle virallista puristusikää, joka tässä tapauksessa oli 28 vuorokautta. Työmaakoekappaleet toimitettiin tilaajan koestuslaitokseen, jossa niiden puristuslujuus ja tiheys testattiin. Saadut tulokset toimitettiin asiakkaalle ja tämän opinnäytetyön teki jälle.

Taulukko 2. Työmaakoekappaleiden tuloksia.

Nimi	Tulokset Mpa		Työmaa 28 vrk	puristuspäivä
	pvm			
elem1	21.6.2018	58,8		19.7.2018
elem2	26.6.2018	62,2		24.7.2018
elem3	29.6.2018	61,4		27.7.2018
elem4	3.7.2018	57,6		31.7.2018
elem5	6.7.2018	62,7		3.8.2018
elem6	10.7.2018	70,0		7.8.2018
elem7	12.7.2018	60,3		9.8.2018
elem8	24.7.2018	52,7		21.8.2018
elem9	31.7.2018	54,2		28.8.2018
elem10	1.8.2018	51,1		29.8.2018
elem11	3.8.2018	61,3		31.8.2018
elem12	20.9.2018	51,7		18.10.2018
elem13	26.9.2018	53,7		24.10.2018

Tästä tilaajan suorittamasta testauksesta on esitetty testauskaavake ja tulokset liitteessä 5. Dokumentilla voidaan esittää yksinkertaisesti saadut tulokset ja samalla saadut tulokset voidaan säilöä myös paperisena, sekä sähköisenä versiona.

#### 4.3 Yhteenveto mittauksista ja tuloksista

Mittaukset saatiin toteutettua annetussa aikataulussa ja ilman suurempia ongelmia. Tulokset kerättiin tilaajan omista taulukoista tai saatiin suoraan kolmannen osapuolen testauslaitoksista.

#### 4.4 Rakennekoekappale

Rakennekoekappaleella voidaan määrittää valmiin rakenteen betonin puristuslujuutta. Tämä voi olla tarpeellista kahdessa eri tapauksessa: Normaalin laadunvalvonnan yhteydessä tai jos epäillään betonia vaatimustenvastaiseksi. Puristuslujuuden määrittämiseksi rakenteesta käytetään standardia SFS-EN 113791. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018 , s.204)

Tämän opinnäytetyön mittauksiin liitettiin myös rakennekoekappaleen testaus. Rakennekoekappaleen otolla ja testauksella haluttiin saada kerättyä lisää dataa, jotta voitiin selvittää lujuudenkehitystä rakenteesta ja mahdollisen näyteenoton vaikutusta lujuuteen. Huomioitavaa on kuitenkin, että rakennekoekappaletta ei voitu ottaa lopullisesta rakenteesta, joka oli tässä tapauksessa elementti. Poraamisen valmiista rakenteesta esti rakenteen tiheä raudoitus ja elementtien käyttötarkoitus.

Porakoekappaleen ottaminen suoritettiin kuvan 4 mukaisesta kappaleesta. Kappale simuloi paksuudeltaan elementtiä ja näin voitiin selvittää lujuutta kappaleen ala- ja yläosassa.



Kuva 4. Rakennekoekappaleen poraus

Tärkeää on suorittaa poraaminen tukevalta alustalta, sekä varattava riittävä tila työskentelylle. Kaikki poraamista häiritsevät tekijät voivat vaikuttaa rakennekoekappaleen antamaan loppulujuuteen ja yleensä ne vaikuttavat siihen negatiivisesti.

Laineen (Laine, 2018) suositusten mukaan on tärkeää varustautua kunnolla ennen porausten aloittamista. Poran kiinnitys ja riittävien resurssien kuten veden, sähkön ja apuvälineiden saatavuus tulee varmistaa ennen itse työsuoritusta.

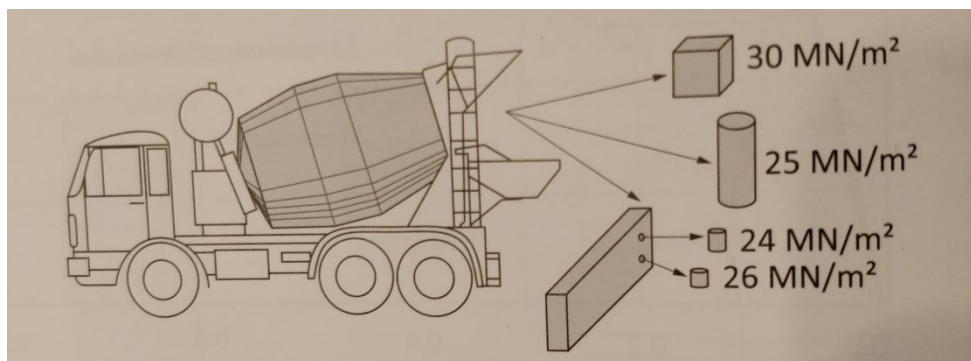
Kuvassa 5 on porakoekappale juuri poraamisen jälkeen. Kappale tulee säilöä ja säilyttää normien mukaan, jotta sen antamaan tulosta voidaan pitää luotettavana. Porakoekappaleiden antaman lujuuden sanotaan yleisesti olevan noin 10 MPa huonompi kuin normaalissa laadunvalvonnassa tehdyn koekappaleen. Vertailua voidaan tehdä liitteen 3 avulla ja voidaan nähdä porakoekappaleen antaneen jonkin verran huonomman tuloksen kuin varsinaiset koekappaleet.



Kuva 5. Porattu rakennekoekappale

Silmämääräisesti koekappaleesta on helppo nähdä kiviaineksen jakautuminen valittuun kohteeseen, sekä mahdolliset tiivistysrakkulat. Rakenteen poraamisessa tulee ottaa huomioon myös rakenteellisia vaikutuksia, jotka voivat tulla esille esimerkiksi raudoituksen tai rakenteen muodon vuoksi.

Betoniyhdistyksen (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018 s.88) mukaan rakenteen alaosassa oleva betoni on paremmin tiivistynyttä ja näin ollen antaa paremman tuloksen puristuslujuustestauksessa. Lujuuksien teoreettinen muodostuminen on esitetty kuvassa 6. Tämä näkyy myös tuloksissa. Toisaalta tulos on vain yhden näytteen suuruinen, joten pitkälle vietyjä johtopäätöksiä ei voi tehdä.



Kuva 6. Samasta betonimassasta valmistettujen koekappaleiden puristuslujuustuloksia C25/30 betonille. (Suomen Betoniyhdistys ry, 2018 s.88)

#### 4.5 Lopullinen rakenne / elementti

Työmaalla tehdyt elementit olivat vakiomittaisia ja niiden kokonaistilavuus oli noin kahdeksan kuutiometriä ja kerralla valettiin 40 kuutiometrin valuja. Määrä oli rajattu tähän, koska muotteja ja peti tilaa oli viidelle elementille. Työmaahenkilökunta sai vapaasti valita valun aikana ajankohdan koekappaleen teolle. Tällä pyrittiin saamaan mahdollisimman paljon vaihtelua valuhetkelle ja riippumattomuutta massan valmistuksesta.

Massasta valmistettujen elementtien (kuva 7) lujuudenkehitystä pyrittiin selvittämään koekappaleiden avulla ja mahdollisten lujuuden poikkeavuuksien selvittämistä epäsäännöllisellä koekappaleen otolla. Elementistä voidaan silmämääräisesti tarkastella ulkopinnoista vibrauksen onnistumista. Elementin pinta näyttää tiiviiltä ja ulkoisesti siinä ei näy suuria tiivistysrakkuloita. Tarkempaa tarkastelua voidaan tehdä esimerkiksi rakennekoekappaleilla. Tällöin on mahdollista nähdä massan leviäminen myös raudoitusten suhteen ja tiivistymisen onnistuminen myös rakenteen sisällä.

Lopputuotteesta on myös mahdollista nähdä käytetyn betonin ominaisuuksia, kuten liian löysät massat tai vastavuoroisesti liian jäykät massat. Tämä näkyy erityisesti tiivistysrakkuloina, joita on merkittävästi enemmän kuin normaalisti.



Kuva 7. Valmis elementti

Elementtien jälkihoitona käytettiin muottia eli muotin annettiin olla muutamana päivän elementin ympärillä ja yläpinta oli peitetty muovilla. Tarkempaa tietoa ei ole käytettiinkö jälkihoitossa myös kaupallisia lisäaineita vai jätettiinkö jälkihoito näihin muutamaan päivään.

#### 4.6 Tulosten luotettavuus

Puristuslujuudet on mitattu laitteilla, joilla on virallisen puristimen hyväksyntä, joten tulokset ovat tässä suhteessa luotettavia. Koska kappaleita ei ole tehty riittävän samanlaisissa olosuhteissa tulee tuloksiin suhtautua varauksella ja ymmärtää niiden mahdolliset poikkeamat.

Työmaalla tehdyt koekappaleet pyrkivät tuloksillaan kuvaamaan työmaalla mahdollisesti sattuvia ja tuloksiin vaikuttavia todellisia tilanteita. Toisaalta ulkopuolisen, sekä tilaajalta tilatut työmaakoekappaleet edustavat virallista puristuslujuustestausta. Näiden tulosten osalta mittauksia voidaan pitää luotettavina ja kuvaavina todellisesta lujuustasosta.

Tärkeintä on kuitenkin yrittää vakioida työsuoritteet ainakin koekappaleiden teossa, joita esimerkiksi työmailla tehdään. Normit ohjeistavat koekappaleiden teon, mutta suoritus voi silti vaihdella yksilökohtaisesti huomattavastikin. Koekappaleiden säilytys osaltaan vaikuttaa myös lopulliseen tulokseen ja saattaa olla yksi merkittävimmistä syistä heikkoihin lujuustuloksiin. Erityisesti juuri sitoutumisen alkamisen aikana kaikki häiriöt vaikuttavat saavutettavaan lujuuteen. Esimerkkinä voidaan mainita liian aikainen koekappaleiden siirtäminen esimerkiksi itse kohteessa tai kohteesta pois.

### 5 POHDINTA JA JATKOTOIMENPITEET

Tähän kappaleeseen on koottu tulosten pohjalta pohdintaa ja mahdollisia jatkotoimenpiteitä, joita voitaisiin tuotantolaitoksilla ottaa käyttöön. Tuloksia esiteltiin kappaleessa neljä, joten tässä kappaleessa ei tuloksia esitellä enempää.

#### 5.1 Pohdinta

Tuloksista pyrittiin tulkitsemaan ja koostamaan riittävän yksinkertaistettu kokonaisuus jota voitaisiin käyttää hyväksi jo alussa asetettujen kysymysten vastauksiin. Vastausten pohjalta voitaisiin ottaa huomioon asioita, sekä tuottamaan ohjeistusta tuotantolaitoksille.

Ensimmäinen kysymys oli:

1. Kuinka paljon työmaan tekemien koekappaleiden tulokset poikkeavat tehdassarjojen tuloksista?

Tuloksien perusteella voidaan sanoa, että ljuuksien vaihtelu on sillä tasolla kuin ne teorian mukaan kuuluukin olla. Vaihtelulla tarkoitetaan tässä lähinnä hajontaa, joka nousee lähes 20 MPa tasolle. Tehdassarjoissa tämä

hajonta on sillä tasolla kuin se normin ja yrityksen laadunvalvonnan kannalta pitääkin olla.

Yllättävää on kuitenkin se, että lujuudet ovat osassa koekappaleissa korkeammat työmaan kappaleissa kuin tehdassarjoissa. Työmaakoekappaleiden teossa ei kuitenkaan jaettu tekijöille erityisiä neuvoja vaan heidän annettiin suorittaa kappaleiden valu kuin he tekisivät normaalia valutyötä. Tästä voidaan kirjoittajan mielestä päätellä ainakin varovaisen arvion mukaan valuporukan tienneen valmisbetonin ominaisuuksista ja käyttäytymisestä ja osanneen myös sitä käsitellä saavuttaakseen hyvän lopputuloksen. Voidaan olettaa, että itse elementeissä myös lopputulos on ollut hyvä.

Toisaalta työmaakoekappaleiden säilytysolosuhteet olivat poikkeuksellisen hyvät ajatellen lämpötilaa (liite 6), joka päivisin kohosi reilusti yli 20 celsiusasteen ja öisin pysytteli yli kymmenessä asteessa. Tästä johtuen koekappaleiden onnistui saada lujuutta hyvinkin nopeasti eli 28 vuorokaudessa. Voidaan kuitenkin ajatella, että lujuuden potentiaali oli lähes maksimissaan ja lujuuden kehitys tuon 28 vuorokauden jälkeen on ollut hyvin minimaalista.

Toinen kysymys oli:

2. Voidaanko tuloksien perusteella tuottaa ohjeita betonitehtaan valmistusprosessiin?

Tuloksien perusteella voidaan tuottaa ohjeita tai ainakin antaa suosituksia laitosten operaattoreille. Tilaajan laadunvalvontakäsikirjassa on painotettu tiettyjä asioita ja näitä on myös hyvä vahvistaa saaduilla opinnäytetyön tuloksilla.

Lämpötilan vaikutus betonimassan puristuslujuuteen niin vallitsevan ympäristön osalta kuin itse betonimassankin on merkittävää, joten tämän puolen ohjeistuksia on syytä tarkastella myös tilaajan toimesta. Myös reseptuurien tarkkailu ja mahdollinen säätäminen on jatkuvaa työtä ja osataan myös tähän opinnäytetyön tuloksilla oli ainakin hetkellinen vaikutus.

## 5.2 Jatkoimenpiteet

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena ei ollut etsiä mahdollisia jatkotoimenpiteitä, mutta saatujen tulosten perusteella esiin tuli muutamia varteenotettavia vaihtoehtoja jatkotoimenpiteille. Esimerkiksi massojen notkeuden vaikutus lujuuteen, sekä mahdollisen valuajan vaikutus lujuuden kehittymiseen olisi mielenkiintoinen selvityksen kohde.

Jatkotoimenpiteenä voidaan pitää myös jatkuvan alalla tapahtuvan tutkimuksen seuraaminen, jota tehdään varsinkin huokoistettujen massojen

osalta. Myöskin uusia tutkimusprojekteja on käynnissä tai käynnistymässä. ”TTY tutkii rakenne- ja standardikoekappaleiden lujuuksia” (Rudus, 2018). Näiden projektien seuraaminen ja mahdollisten tulosten soveltaminen ja testaaminen mahdollisuuksien mukaan tuotantolaitoksilla on kiinnostava vaihtoehto.

Betonin ominaisuuksia tarkkaillaan ilmeisesti nyt tarkemmin tai sitten uutisointi on vain näkyvämpää, koska myös betoniin vaikuttava kiviaineksen alkalireaktio on saavuttanut jonkin verran mediassa palstatilaa ja sen tutkimuksia on lisätty. Tämäkään reaktio tai ominaisuus ei ole uusi, mutta nousut esille esimerkiksi useiden uima-allaskorjauskohteiden haasteissa.

Yrityksen on tarpeellista tarkastella myös omaa laadunvalvontakäsikirjaansa riittävän usein, jotta ajankohtaisin ja viimeisin tieto mahdollisista laatuvaatimuksista on esitetty laadunvalvontakäsikirjassa. Tällä asiakirjalla yritys myös vahvistaa omaa laatukäsitystään ja pystyy yhdenmukaistamaan toimintaansa.

## LÄHTEET

Betoniteollisuus ry. (n.d). Betoni rakennusmateriaalina. Perustietopaketti. Haettu 2.1.2019 osoitteesta <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/>

Haatainen, M. (2018). Kohti talven betonivaluja. Lujabetoni Oy. Haettu osoitteesta 13.2.2019 <https://www.lujabetoni.fi/2018/12/18/kohti-talven-betonivaluja/>

HAMK – Opiskelijalle. 2019. Opinnäytetyö. HAMK. Haettu 19.3.2019 osoitteesta <https://www.hamk.fi/opiskelijan-ohjeet/opinnaytetyo/>

Heikkilä, E. (2018). Miten sementti vaikuttaa betonin lujuuteen? *Sementti* 2, 27.

Laine, R. (2018). Porakappale / Sipoo. Sähköpostiviesti tekijälle 19.10.2018.

LIVI. (2016). Liikenneviraston ohjeita 22/2016. Siltabetonien P-lukumenettely. Haettu 19.3.2019 osoitteesta [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2016-22\\_siltabetonien\\_p-lukumenettely\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2016-22_siltabetonien_p-lukumenettely_web.pdf)

LIVI. (2018a). Ajankohtaista. Liikennevirasto. Julkaistu 17.09.2018. Haettu 17.09.2018 osoitteesta <https://vayla.fi/-/betonisoltojen-lujuustutkimukset-valmistuivat-yksi-silta-ei-tayta-vaatimuksia#.XDw8Aa1lJaQ>

LIVI. (2018b). Lujuustutkimustulokset. Liikenneviraston betonisoltojen laatu- ja lujuustutkimustulosten yhteenveto. Tiedosto 11.9.2018. Haettu 27.12.2018 osoitteesta <http://www.epressi.com/media/userfiles/54089/1537162175/lujuustutkimustulokset-2018-09-17.xlsx>

Rudus. (2018). Ajankohtaista. Haettu 21.12.2018 osoitteesta <https://www.rudus.fi/ajankohtaista/2018/11/23/tty-tutkii-rakenne-ja-standardikoekappaleiden-lujuuksia>

Rudus. Lumme P. (2019). Betoniakatemia Betonin lujuuden- ja lämmönkehityksen hallinta. Haettu 20.3.2019 osoitteesta <https://www.rudus.fi/Download/27935/Betoniakatemia%20Betonin%20lujuuden-%20ja%20l%20c3%a4mm%20c3%b6nkehityksen%20hallinta.pdf>

Ruokonen, S. (2018). Betonin lujuus rakenteessa ja porakoekappaleessa. Asiakas luento 18.9.2018, Finnsementti.

SFS-EN 206 (2014). Betoni. Määrittely, ominaisuudet, valmistus ja vaatimustenmukaisuus. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Suomen Betoniyhdistys ry (2018). *Betonitekniikan oppikirja 2018 by 201*. 6. painos. Helsinki: BY-koulutus Oy.

Suomen Betoniyhdistys ry (2016). Betoninormit 2016 by 65. 2. Painos. Helsinki: By-koulutus Oy.

Tecwill. (2019). Siirrettävä betoniasema. Ratkaisu betonin tuotantoon. Haettu 9.4.2019 osoitteesta

<https://www.tecwill.com/fi/siirrett%C3%A4v%C3%A4-betoniasema>

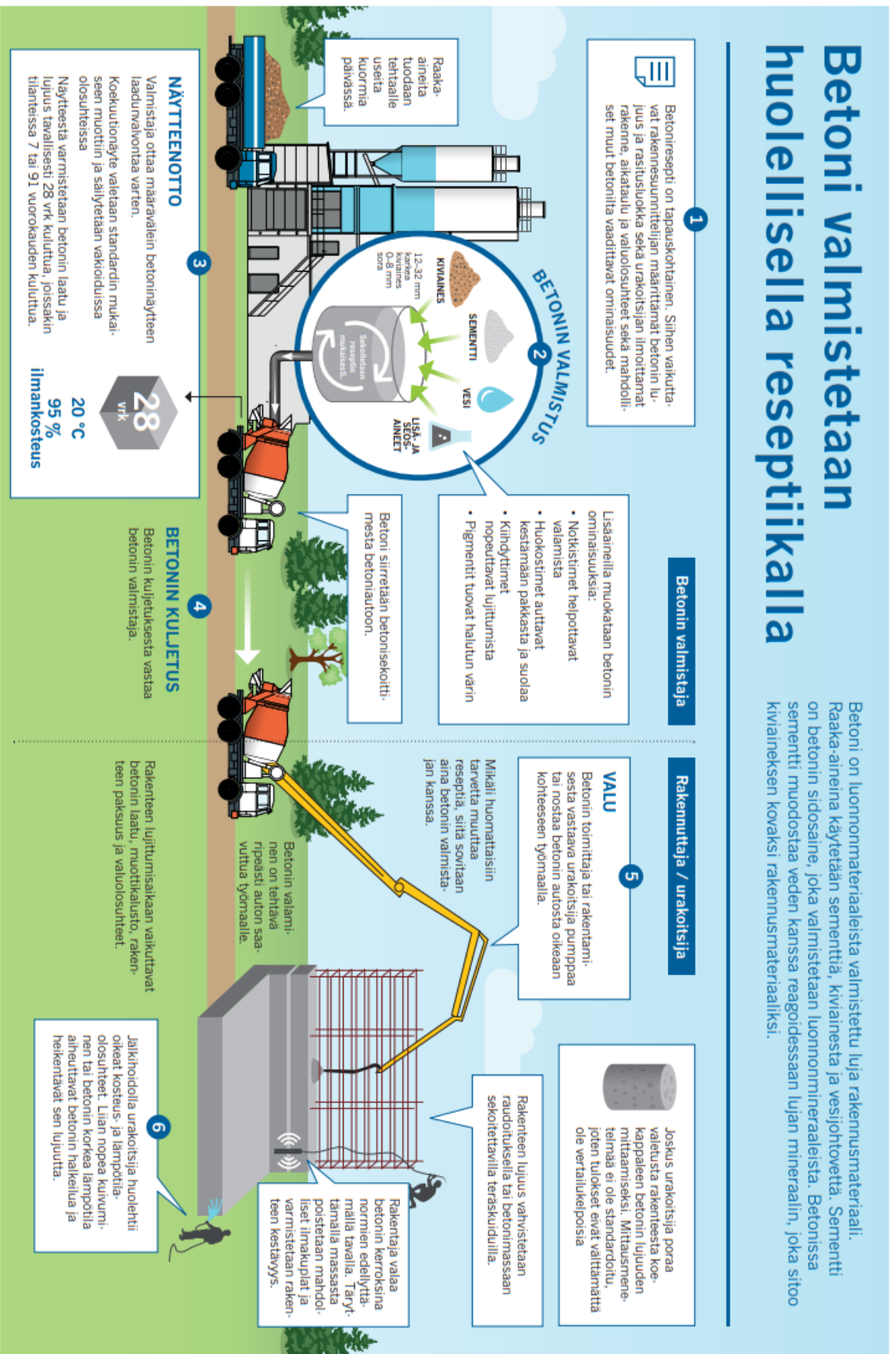
## KUVALÄHTEET

1. Glad, J. 2018. Liite 1, Kiinteä tehdas. Kuvattu 30.3.2018
2. Glad, J. 2018. Kuva 4, Rakennekoekpl poraus. Kuvattu 22.10.2018
3. Glad, J. 2018. Kuva 5, Porakoekappale. Kuvattu 22.10.2018
4. Glad, J. 2018. Kuva 7, Valmis elementti. Kuvattu 25.6.2018

Valmisbetonitehdas ( J.GLAD 2018 )

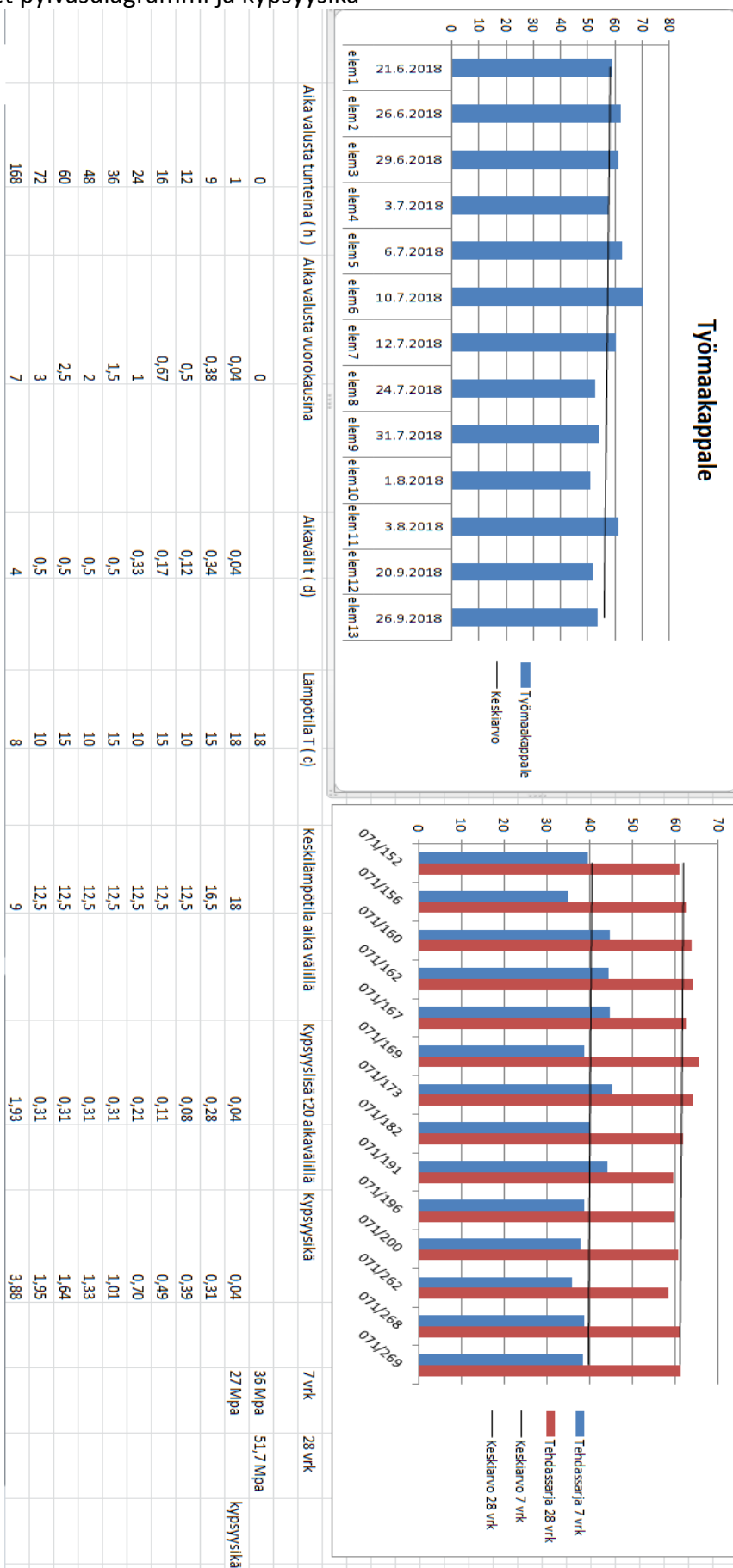


## Betoni innograafi





## Mittaustulokset pylväsdiagrammi ja kypsyyssikä



## Tilaaajan koestusdokumentti

PURJUS OY		KOEKAPPALEIDEN LÄHETYS - JA TESTAUSKAAVAKE																				
VALMISBETONI		071 SIPPO																				
ETELÄ-SUOMI		SIPPO																				
		RA																				
		VIKKO 7																				
2		VARAST.		SÄILYTYS		KULU		KOEKAPPALEIDEN LAJIT		KESKISJÄRJESTYKSEN MERKINTÄ												
PURJUS	VALMISTUS	veikkaus	KOER	BETONILAATU	MAOTTI	> 85% KOSTEUS	ETUS	PURJUSPINTA	PU	muuta	KN	S28	K28	TH	TESTAUS							
PÄIVÄM	PÄIVÄM	KLO	TUN	LIU	MAXI HOITAJAN NO	H	VRK	SC°	H/C°	VA Ø	ALA Ø	SA	SNUT	nohti	huomaut	P-ALA	KN	S28	K28	TH	TESTAUS	
07.08.18	10.07.18		elämä	45: 32 S3 rak													1000	569	700	2260	1807	18
09.08.18	12.07.18		elämä	45: 32 S3 rak													887	508	603	8040	1845	18

## Liite 6

## Keskilämpötilat

Vuosi	Kk	Pv	Klo	Ilman lämpötila (degC)	Ylin lämpötila (degC)	Alin lämpötila (degC)
2018	6	21	00:00	14	16,3	11
2018	6	22	00:00	12,1	15	10,1
2018	6	23	00:00	14,4	18,5	9,9
2018	6	24	00:00	14,2	17,7	6,9
2018	6	25	00:00	15,1	19,3	12,9
2018	6	26	00:00	17,6	22,9	10,4
2018	6	27	00:00	19,5	26,1	12,5
2018	6	28	00:00	20,8	26,9	13,7
2018	6	29	00:00	14	21,1	12,4
2018	6	30	00:00	13,7	18,1	9,4
2018	7	1	00:00	15,7	20,3	9,6
2018	7	2	00:00	12,8	18,3	10,2
2018	7	3	00:00	12,9	14,8	12
2018	7	4	00:00	16	20,5	8,9
2018	7	5	00:00	17,1	21,5	13
2018	7	6	00:00	17,4	22	14,5
2018	7	7	00:00	20,7	25,8	15,4
2018	7	8	00:00	18,5	22,7	14,4
2018	7	9	00:00	18,5	21,9	13,4
2018	7	10	00:00	16,5	20,7	13
2018	7	11	00:00	18,5	22,8	13,4
2018	7	12	00:00	20,9	26,1	15,3
2018	7	13	00:00	22,7	27,7	15,9
2018	7	14	00:00	23,6	29,5	15,7
2018	7	15	00:00	25,1	30,8	17,1
2018	7	16	00:00	25,7	30,4	19
2018	7	17	00:00	26,4	31,4	19,6
2018	7	18	00:00	25,3	29,5	20,4
2018	7	19	00:00	24,1	29	17,7
2018	7	20	00:00	20,1	25,9	18,1
2018	7	21	00:00	21,5	26	18,7
2018	7	22	00:00	22,4	27,6	17,8
2018	7	23	00:00	22	26,9	15,3
2018	7	24	00:00	23,1	27,7	15,9