

Selvitys puristuslujuuksien eroista tehtaiden välillä

Janne Niskanen

Opinnäytetyö
Elokuu 2020
Tekniikan ala
Insinööri (AMK) Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka

Tekijä(t) Niskanen, Janne	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 08.2020
	Sivumäärä 49	Julkaisun kieli Suomi
		Verkojulkaisulupa myönnetty: x
Työn nimi Selvitys puristuslujuuksien eroista tehtaiden välillä		
Tutkinto-ohjelma Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka		
Työn ohjaaja(t) Jukka Konttinen, Pekka Lähdesmäki		
Toimeksiantaja(t) Laukaan Betoni Oy		
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyö on tehty Laukaan Betoni Oy:n toimeksiannosta. Työn aiheena on selvittää ja tutkia syitä mitkä aiheuttavat eroavaisuuksia betonin puristuslujuuksissa Laukaan Betoni Oy:n Laukaan tehtaan ja Jyväskylän tehtaan välillä.</p> <p>Työssä tarkastellaan betonia materiaalina, betonin osa-aineita, laitteistoja, koekappaleiden valmistusmenetelmiä, säilytysolosuhteita, sekä puristuslujuuksien tuloksia. Suoritettaviin kokeisiin kuuluvat painuma-leviämä-kokeet, sekä t_{500}-mittaus itsestään tiivistyvälle betonimassalle. Koekappaleiden säilytystiloissa suoritetaan tärinämittaukset.</p> <p>Mittaukset onnistuivat hyvin, eikä betonimassoista löytynyt poikkeamia tehtaiden välillä. Tulokset yllättivät Jyväskylässä tärinän osalta. Sen vaikutus betonin loppulujuuteen oli jopa 8,3 MPa. Tuloksia voidaan soveltaa koekappaleiden säilytystä suunniteltaessa niin elementtitehtailla, betoniasemilla, kuin työmailla.</p>		
Betoni, puristuslujuus, tärinä		
Muut tiedot (Salassa pidettävät liitteet) Liitteet 7 ja 8 ovat salassa pidettäviä, ja ne on poistettu julkisesta työstä. Salassapidon perusteena on viranomaisten toiminnan julkisuudesta annetun lain (621/1999) 24 §:n kohta 17: yrityksen liike- tai ammattisalaisuus. Salassapitoaika on viisi (5) vuotta. Salassapito päättyy 20.08.2025. Liitteenä tärinämittauksen raportit, 11 sivua.		

Author(s) Niskanen Janne	Type of publication Bachelor's thesis	Date 08.2020 Language of publication: Finnish
	Number of pages 49	Permission for web publication: X
Title of publication Reasons behind differences in compressive strength of concrete		
Degree programme Bachelor of engineering		
Supervisor(s) Konttinen Jukka, Lähdesmäki Pekka		
Assigned by Laukaan Betoni Oy		
Abstract <p>This project was commissioned by Laukaan Betoni Oy. The purpose was to investigate the reasons behind differences in compressive strengths of concrete between Laukaan Betoni Oy's two factories in Laukaa and Jyväskylä.</p> <p>The work includes examining concrete as a material, ingredients of fresh concrete, equipment comparison, the process and storing conditions of fresh concrete samples, and finally comparing the compressive strengths' results. Testing fresh concrete includes slump-flow and t_{500} tests for self-compacting concrete. Test also includes a vibration test in the samples' storing environments.</p> <p>The tests were successful. There were no major differences in fresh concrete samples between the two factories. However, the vibrations in Jyväskylä reduced up to 8,3MPa of the concrete's final compressive strength. In addition to other similar factories, the results can be applied to construction sites where storing fresh concrete samples can be under effects of vibration.</p>		
concrete, compressive strength, vibration		
Miscellaneous (Confidential information) Appendices 7 and 8 are confidential and removed from the public thesis. The basis for secrecy is section 24(17) of the Act on the Openness of Government Activities (621/1999), a company's business or trade secret. The period of secrecy is five (5) years, the secrecy will end on 20.08.2025. Thesis contains 11 pages of vibration report appendices.		

Sisältö

1	Johdanto	2
1.1	Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet	2
1.2	Laukaan Betoni Oy.....	2
2	Tietoperusta ja tutkimuksen lähtökohdat	4
2.1	Betoni	4
2.1.1	Betonin historia	4
2.1.2	Peruskäsitteet.....	5
2.1.3	Laadunvalvonta	7
2.1.4	Tärinä ja lujuudenkehitys	11
2.2	Betonin osa-aineet	13
2.2.1	Kiviainekset.....	13
2.2.2	Sementti	16
2.2.3	Lisäaineet.....	18
2.2.4	Koemassassan osa-aineet.....	19
2.3	Tehtaat	20
2.3.1	Jyväskylän tehdas	20
2.3.2	Laukaan tehdas.....	21
3	Tutkimuksen toteutus ja tulokset.....	22
3.1	Valmistelu.....	22
3.2	Kiviaineiden kuivatus.....	23
3.3	Koekappaleiden teko ja seuranta.....	24
3.4	Mittausten tulokset.....	26
3.5	Johtopäätökset	28
4	Pohdinta.....	30
5	Lähteet.....	32
6	Liitteet.....	34

1 Johdanto

1.1 Opinnäytetyön tausta ja tavoitteet

Laukaan Betoni Oy valmistaa betonielementtejä kahdella tehtaalla; Laukaassa ja Jyväskylässä Seppälän teollisuusalueella. Vuosien mittaan laadunvalvonnassa on tullut ilmi, että tehtaiden välisissä koekappaleiden puristuslujuuksissa on eroja. Tehtaille on tullut kiviaines eri toimittajilta, kunnes marraskuussa 2019 toimitus siirtyi yksinoikeudella Äänekosken kuorma-autokeskukselle (Äänekosken KAK Osk). Vaikka kaikki betonin osa-aineet ovat nyt samat, erot puristuslujuuksissa ovat jatkuneet (Ks. liite 1). Opinnäytetyön tehtävänä on käydä läpi kummankin tehtaan valmistusprosessit laitteineen, tutkia betonimassan ominaisuuksia, havaita poikkeamia, sekä tutkia ja seurata koekappaleiden säilytysolosuhteita ja puristuslujuuksia. Huomiota kiinnitetään erityisesti koekappaleiden säilytykseen lujuudenkehityksen alkuvaiheessa.

Betonilaatu on rajattu C35/45 itsestivistyvään betoniin, koska siinä jää mahdollisimman vähän muuttuvia tekijöitä ja sitä käytetään eniten kummallakin tehtaalla. Vaihtoehtona olisi ollut säänkestävä betoni, johon tulee huokostinta. Huokostimen käyttö aiheuttaa jo itsessään lujuudenmuutoksia betoniin vaikeuttaen tulosten vertailua.

1.2 Laukaan Betoni Oy

Laukaan Betoni Oy on vuonna 1994 perustettu perheyritys. Huhtikuussa 2020 Laukaan Betoni työllisti 81 työntekijää kahdella tehtaalla. Tehtaat sijaitsevat Laukaassa ja Jyväskylän Seppälän teollisuusalueella. Kummallakin tehtaalla tehdään elementtejä ja valmisbetonia. Seppälän tehtaan erikoisuutena on rouheasema, jossa voidaan valmistaa värjättyä betonia. Yleisimpien elementtityyppien lisäksi Laukaan Betonilta saa

graafisia, umbra-patinavärjättyjä, 3D- tai tiilipintaisia, ja useita muita julkisivuelementtejä.



Kuvio 1 Laukaan Betoni Oy:n Laukaan tehdas ja elementtivarasto

2 Tietoperusta ja tutkimuksen lähtökohdat

2.1 Betoni

2.1.1 Betonin historia

Betonirakentamisen juuret yltävät kauas historiaan. Pyramidiin rakentamisessa käytettiin poltettua kipsiä, ja antiikin Kreikassa poltettuun kalkkiin lisättiin vulkaanista tuhkaa. Näin syntyi sideaine, joka kovettui kivikovaksi reagoiessaan veden kanssa. Sideaineen avulla pystyttiin muuraamaan erilaisia rakennelmia, kuten muureja ja temppeleitä. Tunnetuin varhainen betonirakenne on Pantheonin temppeli, joka valmistui vuonna 127. (Betonin historia, 2020.)

Vuonna 1824 Joseph Aspdin, englantilainen muurari, loi perustan nykyiselle sementtiteollisuudelle. Hän kuumensi keittiössään jauhattua kalkkikiveä ja saven sekoitusta. Kuumentamisen jälkeen hän jauhoi seoksen hienoksi jauheeksi ja huomasi sen kovettuvan reagoiessaan veden kanssa. Aspdin patentoi ja nimesi keksintönsä Portlandsaaren mukaan, sillä hänen sementtinsä muistutti saarelta louhittua kiveä. Vuonna 1844 englantilainen Isaac Johanson poltti Aspdinin sementtiä vahingossa liian korkeassa lämpötilassa, joka johti portlandsementin nykyisen kaltaiseen tuotteeseen. (by 201, 2018, 19-22.)

Suomen suuruutinaskuntaan saapui ensimmäinen sementin tuontierä vuonna 1856. Vanhimpia käyttökohteita ovat vuosisadan vaihteessa valetut portaikot, jotka ovat edelleen käytössä vanhoissa kivitaloissa. Vuonna 1889 valmistunut Vuoksen ylittävä Kiviniemen silta on ensimmäinen merkittävä kohde Suomessa, jossa käytettiin betonia maatuen rakenteissa. (by 201, 2018, 19-22.)

Raudoitusten käyttö betonissa lisääntyi huomattavasti, kun ranskalainen insinööri Francois Hennebique kehitti teräsbetonirakenteiden laskentamenetelmiä vuonna 1892. Suomessa Insinööri Jalmar Castrén laati ensimmäiset teräsbetonirakenteiden piirustukset talonrakentamiseen vuonna 1904 Helsingin Suvilahden voimalaitokseen. Elementtitekniologia saapui betonteollisuuteen 1950-luvulla. Teknologian avulla saatiin lisättyä tehokkuutta huomattavasti. Työntekijätunnit valmistettua betonikuutiota (tth/m^3) kohden olivat vuonna 1950 10 tth/m^3 , kun 1970-luvulla ne olivat vain 2 tth/m^3 . Suomen ensimmäiset betonijulkisivuelementit asennettiin vuonna 1951 valmistuneeseen Viljo Revellin suunnittelemaan Palace-taloon.

Tänä päivänä betoni on maailman yleisin rakennusmateriaali. Sitä käytetään lähes kaikilla rakentamisen aloilla. Betonirakentamisen tekniikat ovat kehittyneet huomattavasti. Materiaalina betoni voi kestää erilaisia kemiallisia rasituksia, tai sulamista ja jäädytystä. Betonista saadaan myös esteettisiä kaarevia ja ohuita rakennelmia. Pitkäjänteinen kehitystyö betonin kanssa on tuottanut tulosta tarjoten useita mahdollisuuksia tulevaisuudessa. (by 201, 2018, 19-22.)

2.1.2 Peruskäsitteet

Betonin pääraaka-aineita ovat erikokoisista kiviaineista koostuva runkoaine, sementti ja vesi. Sementti ja vesi muodostavat yhdessä sementtiliiman, tai sementtipastan, joka sitoo runkoaineet yhteen. Sementin ja veden välillä tapahtuu kemiallinen reaktio nimeltä hydrataatio, jolloin sementtiliima muuttuu sementtikiveksi. Kiviaineista muodostetaan sekoitus, joka sisältää oikeassa suhteessa kaikki raekokoja. Tavoitteena on saada tarvittava sementin määrä mahdollisimman pieneksi lujuustavoitteesta tinkimättä. (by201, 2018, 16-17.)

Betoni valmistetaan sekoittamalla pääraaka-aineet yhteen myllyssä. Massan laatuun ja ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa eri lisä- ja seosaineilla. Yleisimpiä lisäaineita ovat säänkestävyyteen vaikuttavat aineet, sekä veden tarvetta vähentävät lisäaineet. Lisäaineilla voidaan vaikuttaa myös betonimassan kovettumisnopeuteen joko hidastamalla tai kiihdyttämällä. (by201, 2018, 16-17.)

Betoni voidaan toimittaa työmaille erilaisilla kuljetuskalustoilla, kuten pumppu- tai ränniautoilla, tai sitä voidaan liikuttaa eri laitteilla elementtitehtaan sisällä. Yleisesti betoni ostetaan työmaille toimitettuna valmisbetoniasemilta. Joitakin poikkeuksia kuitenkin on, kuten massiivisia sairaaloita tai voimalaitoksia, jolloin työmaalle voidaan pystyttää oma betoniasema. Tällöin tulee kuitenkin ottaa huomioon tarkat laadunvalvonnan asettamat kriteerit. (by201, 2018, 16-17.)

Kovettuessaan betonin pääominaisuus on puristuslujuus, jota ilmaistaan yksiköllä megapascal. Megapascalin yksikön tunnus on MPa, joka voidaan ilmaista myös meganewtoneina neliometriä kohden (MN/m^2). Virallinen puristuslujuus mitataan yleensä 28 vuorokauden iässä. Laadunvalvonnan kannalta puristuslujuuden kehitystä seurataan jo aiemmin, jotta poikkeamiin voidaan reagoida mahdollisimman pian. Elementtitehtailla seurataan purkulujuutta elementtien kierron takia. Purkulujuus tarkoittaa nimensä mukaisesti betonin lujuutta sillä hetkellä, jolloin elementti nostetaan muotistaan.

Betoni jaetaan eri luokkiin puristuslujuuden mukaan. Luokka ilmaistaan merkinnällä C8/10...C100/115. Esimerkiksi merkintä C25/30 tarkoittaa, että lieriön muotoisen koekappaleen puristuslujuus on 25 MPa (MN/m^2) ja kuution muotoisella koekappaleella se on 30 MPa (MN/m^2). C55/67 ja sitä vahvempia lujuuksia kutsutaan korkealujuusbetoniksi. Vesi-sementti-suhde (v/s) tarkoittaa betonimassassa olevan tehollisen

veden ja sementin määrän (kg/m^3) suhdetta. Tehollinen vesimäärä tarkoittaa betonimassan veden määrän ja kiviainekseen imeytyneen veden määrän erotusta. (by201, 2018, 16-17.)

2.1.3 Laadunvalvonta

Laadunvalvonnan tarkoituksena on varmistaa, että tuote täyttää sille asetetut laatuvaatimukset. Laatu valvotaan mittaamalla ja vertaamalla tuotetta ennalta määrättyihin vaatimuksiin. Nämä vaatimukset määritellään eri standardeissa. Standardien tehtävänä on luoda yhteiset säännöt yritysten välille, helpottaa kansainvälistä toimintaa, sekä varmistaa tuotteiden turvallisuus ja yhteensopivuus.

Euroopassa on laadittu yhdenmukaiset laatustandardit betonirakenteille. Betonirakenteiden suunnittelua varten on Eurokoodi-suunnittelustandardit (SFS-EN 1992). Betonin valmistuksen laadunvalvontaa käsitellään standardissa SFS-EN 206 kohta 9. Standardien lisäksi on olemassa hyvää rakennustapaa noudattavia ohjeita muun muassa ympäristöministeriöltä (Rakenteiden lujuus ja vakaus. Betonirakenteet 2016), tai Betoniyhdistyksen julkaisemat betoninormit (by 65 Betoninormit 2016). (by 201, 2018, 178)

Betonin valmistusprosessissa laadunvalvonta sisältää osa-aineiden valinnan, betonin koostumuksen määrittämisen, valmistusprosessin, tarkastukset, testaukset, laitteiden kalibroinnit, ja valvonnan. Menettelytavat määritellään kirjallisesti, ja laadunvalvonnan tiedot kirjataan muistiin. Elementtitehtailla on oltava kirjallinen kuvaus tehtaan omasta laadunvalvontajärjestelmästä. Sen tulee kohdistua koko prosessiin betonin valmistuksesta tuotteiden toimitukseen. Valmistuspaikalla tulee olla järjestelmä, joka varmistaa osa-aineiden oikean toimituksen, varastoinnin ja käytön. Osa-aineiden

tulee olla tilauksen mukaisia ja ne täytyy purkaa oikeaan paikkaan. Varastoinnilla varmistetaan tuotteiden pysyminen turmeltumattomina. Osa-aineet tulee olla CE-merkittyjä. Jokaiselle osa-aineelle on omat standardinsa CE-merkinnän täyttämiseksi. Myös vedelle on määritelty oma standardinsa. Vesijohtovesi kelpaa valmistukseen sellaisenaan. (by 201, 2018, 182-183.)



Kuvio 2 Kiviainesten lajittelu ja varastointi Laukaan tehtaalla.

Tuoreen betonimassan laatua tulee myös tarkkailla. Sen tulee olla riittävän notkeaa muokattavaksi, mutta se ei saa erottua liikaa. Betonimassan notkeus on tärkeää valettavuuden ja lopullisten pintojen kannalta. Se vaikuttaa siihen, miten massa täyttää muotin eri osat. (by 201, 2018, 69-70.)

Itsetiivistyvän betonin (ITB) notkeutta mitataan SFS-EN 12350-8 mukaisella painuma-leviämä-kokeella, sekä t_{500} -ajalla. Painuma-leviämä-koe kuvaa ITB:n täyttökkyä. T_{500} -ajalla mitataan virtausnopeutta ja suhteellista viskositeettia. Koetta varten tarvitaan vähintään 900 mm * 900 mm tasainen teräksinen pohjalevy, mitta tai mittanauha,

ajanottolaite, vesivaaka, sekä SFS-EN 12350-2-mukainen kartio. Pohjalevyn tulee olla sileä ja tasainen. Jos materiaali on muuta kuin terästä, on testaustuloksilla todistettava kyseisen materiaalin tulosten olevan teräslevyä vastaavia. Levyn pinta ei saa ruostua, ja sen on kestettävä muodonmuutoksia. Levyn keskipiste, ja 210 mm ja 500 mm ympyrät tulee merkitä. Mitan pituuden tulee olla vähintään 1000 mm ja jakovälin korkeintaan 5 mm. Ajanottovälineen tulee olla tarkkuudeltaan vähintään 0,1 s. (SFS-EN 12350-8, 7-8.)



Kuvio 3 Painuma-leviämä-kokeen mittausta filmivanerilla

Kovettuneen betonin tulee läpäistä säilyvyytestit, jotka osoitetaan testaamalla koekappaleiden puristuslujuutta, pakkasenkestävyyttä, vesitiiveyttä ja kemiallista resistenssiä. Koekappaleet testataan akkreditoiduissa testauslaboratorioissa. Puristuslujuutta testataan puristuslujuuskoneilla. Testauskoneiden on täytettävä standardin SFS-EN 12390-4-mukaiset tarkastusvaatimukset. Tarkastus sisältää voiman näytön

tarkkuuden, voiman välityksen, puristuslevyjen tasomaisuuden ja kuormitusnopeuden säädön kalibroinnin. Akkreditoidun testauslaboratorion koneen on oltava luokkaa 1. (by 65, 2016, 96.)

Puristuslujuuden täyttymistä valvotaan seuraamalla tuotannon yhteydessä tehtävien koekappaleiden tuloksia betoniperheittäin. Betoniperheet määritellään betonin koostumuksen mukaan, ja sen jäsenten tulee olla ominaisuuksiltaan samankaltaisia. Perheet muodostetaan joka tehtaalle ja asemalle erikseen. Esimerkiksi säänkestävä huokostettu betoni, itsetiivistyvä betoni, ja lisäaineeton valmisbetoni vaativat omat perheensä. Betoniperheelle valitaan nimi, arvosteluikä, sideaineet, lujuusluokat, ki-
viaineksen ylänimellisraja, ja notkeusluokat. (by 201, 2018, 187.)

Puristuslujuuskoekappaleille määritetään arvosteluikä, jolloin ne puristetaan. Oletuksena arvosteluikä on 28 vuorokautta, mutta harvinaisemmissa käyttökohteissa se voidaan aikaistaa tai siirtää myöhemmäksi. Esimerkiksi hitaasti kovettuvan korkealujuusbetonin arvosteluikä voi olla 91 vuorokautta. Koekappaleet valetaan 150mm * 150mm * 150mm kuutiomuotteihin. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää halkaisijaltaan 150mm, 300mm korkeita lieriömuotteja. Lieriön puristuslujuus muunnetaan kuutiolujuutta vastaavaksi, jotta siitä saadaan vertailukelpoinen. Myös valmiista rakenteista voidaan porata lieriöitä, jos rakenteissa epäillään poikkeamaa. Porattavat kohdat valitaan satunnaisesti samalla huolehtien, ettei kohteen rakennetta vahingoiteta oleellisesti. Yleisin porattavan koekappaleen halkaisija on 100mm, jonka halkaisijan ja korkeuden suhde on 1. Lopuksi lieriön puristuslujuus muunnetaan vertailukelvolliseksi kuution kanssa. (by 201, 2018, 191.)



Kuvio 4 Lieriö- ja kuutiomuotti.

2.1.4 Tärinä ja lujuudenkehitys

Tärinän laatu ja suuruus vaihtelevat aiheuttajasta riippuen. Tärinän vaikutusta rakenteisiin arvioitaessa käytetään mittayksikkönä heilahdusnopeutta (mm/s). Ulkopuolisen tärinän vaikutus lujuudenkehitykseen riippuu betonin notkeudesta ja lujuudenkehityksen vaiheesta. Tuoreeseen betoniin se aiheuttaa jälkitiivistymistä mikä voi jopa parantaa lujuutta. **Sitoutumisen alkaessa, kun betonilla ei ole juurikaan lujuutta, tärinän aiheuttamat muodonmuutokset voivat ylittää betonin senhetkisen kestävyden aiheuttaen mikrohalkeilua ja lopulta loppulujuuden heikentymistä.** (Pitkänen, P., Punakallio, E., 2006, 17.)

Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissa on selvinnyt, että sillat värähtelevät dynaamisten ominaisuuksiensa mukaan omilla taajuuksillaan. Tutkimuksen mukaan liikenteen aiheuttamilla kuormituksilla ei ole vaikutusta värähtelyominaisuuksiin. Mittaustulokset silloilla olivat korkeintaan 30-35 mm/s. (Pitkänen, P., Punakallio, E., 2006, 17.)

Tuoreen betonin notkeuden on todettu vaikuttavan puristuslujuuteen värähtelyrasituksen vaikutuksen alaisena. Painuman ollessa noin 100 mm, betonin puristuslujuuden ei ole todettu alentuneen. **Löysemällä painuman arvolla 190 mm tulokset ovat heikenneet 5 – 10 % betonin erottumisen takia.** (Pitkänen, P., Punakallio, E., 2006, 17.)

VTT on laatinut suositukset värähtelyrajoille betonin lujuudenkehityksen vaiheiden mukaan. Tämän mukaan vaiheita on neljä. Työstettävyyssvaihe on aika valusta tärytysrajaan. Kovettumisen ensimmäinen vaihe on aika tärytysrajasta siihen, kun betoni saavuttaa 5 MPa:n lujuuden. Jälkikovettumisvaihe on 5 MPa:sta nimellisljuuteen. Viimeksi on loppulujuus. **Suosittelavat korkeimmat värähtelyrajat eri vaiheille ovat 50 mm/s työstettävyyssvaiheessa, 5 mm/s kovettumisen ensivaiheessa, 30 - 50 mm/s jälkikovettumisvaiheessa, ja 50 – 120 mm/s kovettuneelle betonille.** (Pitkänen, P., Punakallio, E., 2006, 18.)

Jussi Sievers on tutkinut opinnäytetyössään tärinän vaikutusta betonin lujuuden kehitykseen. Tutkimuksen mukaan betonin puristuslujuus heikkeni 61 mm/s, ja sitä suuremmilla arvoilla. Lujuuden heikkeneminen oli 6,4MPa 87 mm/s värähtelyllä. (Sievers, J. 2010,29-30.)

RIL 253-2010 mukaan tärinän ohjearvo tulee asettaa valettavan rakenteen mukaan valuolosuhteet ja tärinän luonne huomioon ottaen. Sen taulukossa 3.4 on annettu tärinän ohjearvo muille muotitetuille valuille 2-10 mm/s betonin puristuslujuuteen 5

MPa asti. Tämä tarkoittaa sitä, että kovettumisen alkuvaiheessa oleva betoni ei saisi altistua yli em. tärinän arvoille. (RIL 253-2010, 27.)

2.2 Betonin osa-aineet

2.2.1 Kiviainekset

Rakentamisessa kiviaineksilla tarkoitetaan hiekkaa, soraa ja kalliomurskettä. Sen vaikutus betonin ominaisuuksiin on merkittävä, sillä sen tilavuusosuus betonissa on jopa 65-80%. Betonin kiviaineksista voidaan käyttää myös nimitystä runkoaine. (by 201, 2018, 43.)

Luonnonvarana kiviaines on uusiutumaton, mutta käytännössä betonirakentaminen ei hävitä kiviaineksia. Käyttöikänsä päättyessä betoni murskataan, ja sitä voidaan käyttää maanrakentamisessa korvaamassa luonnon kiviaineksia. Betonimurske on lisäksi kantavuudeltaan parempaa, kuin luonnonsora ja kalliomurske. (Kiviaines, 2020.)

Betonissa voidaan käyttää kiviaineksena suoraan luonnon kiveä tai murskattua kiviainesta. Suomessa kiviaines on useimmin graniittipohjaista, jota saadaan joko suoraan luonnosta seulomalla, tai murskaamalla kiviä ja kalliota. Murskaaminen lisääntyy koko ajan, sillä kehittyvien alueiden läheltä on yhä vaikeampi löytää käyttöön sopivaa murskaamatonta luonnonkiviainesta. Paras kiviaines betonin kannalta on harjuilta saatava sora ja hiekka. Näillä alueilla muodostuu tehokkaimmin myös pohjavesi, joten alueiden suojele pohjaveden kannalta ymmärrettävää. Pöly- ja meluhaitan vuoksi kiviaineksen ottamislupia ei myöskään myönnetä asutusten lähelle. (by 201, 2018, 43.)

Kiviaineksen tulee olla CE-merkittyä, ja sen tulee täyttää SFS-EN 12620-standardi. CE-merkintään vaadittavat ominaisuudet ja vaatimustasot on määritelty kansallisessa soveltamisstandardissa SFS 7003. Kiviainekselle on asetettu vaatimuksia geometrisen, fysikaalisten, mekaanisten ja kemiallisten ominaisuuksien osalta. Sen tulee olla myös puhdasta, eikä se saa sisältää jäätä tai lunta. Kiviaineksessa esiintyvien erisuuruisten rakeiden määrien painosuhdetta kutsutaan rakeisuudeksi. Se määritellään seulomalla kiviaines seulasarjan läpi, josta lasketaan eri raekokojen määrät massaprosentteina. Perusseulasarjaan kuuluvat seulakoot ovat 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 31,5 ja 63 mm. Rakeisuutta voidaan ilmaista sille ominaisella rakeisuusluvulla, eli H-luvulla. Se saadaan laskemalla seulasarjalta kiviaineksen läpäisyprosentit yhteen. Suuri H-luku tarkoittaa hienoa, pienirakeista kiviainesta, kun taas pieni H-luku tarkoittaa isorakeista kiviainesta. Rakeisuudelle on asetettu rajat, jotka määrittävät kuinka paljon kiviainestuote saa sisältää eri rakeisuuksia. Rakeisuuden lisäksi rakeen muoto vaikuttaa lopputulokseen. Muodoltaan pyöreähkö luonnon kiviaines on helpommin juoksevaa, ja tekee betonimassasta helpommin työstettävää. Lisäksi se vaatii vähiten sementtiliimaa. Murskattu kiviaines on kulmikasta tai jopa litteätä, jolloin betonimassasta tulee huonosti juoksevaa, eikä sitä voi käyttää esimerkiksi pumppaamisessa. Karkeita kiviainesrakeita määrittää litteysluku standardin SFS-EN 933-3 mukaisesti. Sillä voidaan selvittää kiviaineksen soveltuvuus esimerkiksi ruiskubetoniin. (by 201, 2018, 44-49.)

Kiviaineksen rakeisuutta voidaan ilmaista tyyppikäyrällä, josta näkee kiviaineksen läpäisyarvot eri seuloilta. Tyyppikäyrä muodostetaan tavallisesti tuotannon aikaisista keskiarvoista. Sen raja-arvot sovitaan kiviaineksen toimittajan ja asiakkaan kesken. Tyyppikäyrästä saa poiketa 3-17,5 % kiviaineksen raekoosta ja seulasta riippuen. (by 201, 2018, 46.)

Hienoaines on 0,063 mm:n seulan läpäissyttä kiviainesta. Se määritellään SFS-EN 933-1 -standardin mukaisesti pesuseulonnalla. Hienoaineksen laadulla voi olla positiivisia tai negatiivisia vaikutuksia. Hienojakoinen kiille ja savi voi aiheuttaa rapautumista kovettuneessa betonissa, kun kova hienoaines parantaa betonimassan työstettävyyttä. (by 201, 2018, 49-50.)

Mekaanisia ja fysikaalisia ominaisuuksia ovat kiviaineksen kiintotiheys, kosteus ja absorptio, pakkasenkestävyys, isku- ja kulutuskestävyys, ja tarvittaessa kiillotus-, pinnan kulumis-, sekä nastarengaskestävyys. Normaalin kiviaineksen kiintotiheys on 2000-3000 kg/m³. Kiintotiheys tulee ottaa valmistuksessa huomioon, sillä kiviainekset punnitaan annoksiin painon mukaan, mutta valmistettavat määrät tehdään tilavuuden mukaan. Absorptio tarkoittaa kosteuden ja veden imeytymistä kiviainekseen. Se on yleensä 0,3 - 0,5 % kiviaineksen painosta. Valmistuksessa tarkkaillaan tehollisen veden määrää betonimassassa, joka saadaan laskemalla lisätty veden määrä ja kiviaineksen vesi yhteen. Absorboitunut vesi vähennetään tehollisesta vesimäärästä. Jos kiviaineksen absorptio on yli 1 %, tulee pakkasenkestävyys määrittää jäädytys-sulatuskestävyyskokeella. Isku- ja kulutuskestävyyttä vaaditaan kovan rasituksen alaisilta ja korkealujuusbetoneilta. (by 201, 2018, 50-51.)

Kemiallisiin ominaisuuksiin vaikuttavat humuspitoisuus, kloridipitoisuus, alkali-kiviainesreaktio, hiilipitoisuus ja rautasulfidit, sekä kokonaisriikki ja happoliukoiset sulfatit. Humus tarkoittaa orgaanisen aineen hajoamistuotetta. Liiallinen määrä humusta betonissa hidastaa betonin kovettumista. Kiviaineksen humuspitoisuus määritetään kokeessa, jossa kiviaines ja natriumhydroksidiliuos (NaOH) sekoitetaan näyteastiaan. Mitä enemmän kiviaines sisältää humusta, sitä tummemmaksi liuos värjäytyy. Standardissa SFS-EN 1744-1 on määritelty vertailuväri humuksen määrille. Testi ei ole kuitenkaan täysin luotettava, sillä kaikki humukset eivät värjäydy. Kloridipitoisuus tarkoittaa kiviaineksen sisältämää kloridi-ionien määrää. Merikiviaineksen kloridi-ionipitoisuus pitää määrittää aina. Sisämaasta otetulle kiviainekselle ei ole tarpeen tehdä

määritystä ilman erityistä epäilyä. Liiallinen kloridipitoisuus betonissa voi käynnistää raudoitteiden ruostumisen. Alkali-kiviainesreaktio paisuttaa kiviainesta betonissa aiheuttaen halkeilua ja betonin sisäisiä jännityksiä. Yleisimmin reaktio tapahtuu alkalien ja piiyhdisteiden välillä. Kalliossa esiintyvä mustaliuske voi sisältää hiiltä grafiitin muodossa ja suuria määriä rautasulfideja. Rautaoksidit voivat värjätä ja paisuttaa betonia, sekä aiheuttaa rapautumista. Rikki ja rikkiyhdisteet ovat myös haitallisia, sillä ne voivat hapettua betonissa. Sulfaatit taas voivat aiheuttaa sulfaattikorroosion. (by 201, 2018, 51-53.)

2.2.2 Sementti

Sementin valmistuksessa pääraaka-aineena käytetään kalkkikiveä. Lisäksi valmistukseen tarvitaan piikiveä (SiO_2), rautaoksidia (Fe_2O_3), ja alumiinioksidia (Al_2O_3). Valmistuksessa käytettävien kiviainesten kemiallinen koostumus määrittää raaka-aineiden seossuhteen. Aineet jauhetaan hienoksi raaka-jauhemyllyssä. Raakajauhe syötetään kiertouuniin $1400\text{ }^\circ\text{C}$ asteeseen, jossa kalkki-, pii-, alumiini- ja rautayhdisteet muodostuvat sora-aineksi sementtiklinkkeriksi. Klinkkeri jauhetaan myöhemmin seosaineiden kanssa rakennussementiksi. (Sementin valmistus, 2020.)

Sementin tulee myös täyttää sille asetetut laatuvaatimukset. SFS-EN 197-1 määrittää sementin koostumuksen, laatuvaatimukset ja vaatimuksenmukaisuuden. Lisäksi sementin tulee olla CE-merkittyä. (by 201, 2018, 34.)

Sementin ominaisuuksista tärkeimpiä ovat reaktio veden kanssa, sitoutuminen, ja lujuudenkehitys. Veden ja sementin reaktiossa ensin reagoivat klinkkerimineraalien aluminaattiyhdisteet. Reaktion alkamista hidastetaan sementtiseokseen lisätyllä kipsillä, joka antaa betonimassalle työstöaikaa. Trikalsiumsilikaatti ja dikalsiumsilikaatti

vastaavat sementin lujuudesta. Reaktiossa syntyvistä sauvamaisista levymäisistä sementtikiteistä käytetään nimitystä sementtigelii. (by 201, 2018, 35-38.)

Hydrataatioreaktiot sementin ja veden välillä käynnistyvät heti sekoittuessaan. Reaktio tuottaa itsessään lämpöä, mutta myös betonimassan ja ympäristön lämpötila vaikuttavat reaktionopeuteen. Liian korkea lämpötila voi johtaa betonin hallitsemattomaan halkeiluun ja loppulujuuden putoamiseen. Lujuuden kehitys alkaa pian betonimassan asetuttua paikoilleen. Kaikki häiriöt tämän jälkeen vaikuttavat lujuuden kehittymiseen negatiivisesti.

Betonin ollessa notkeaa, eli plastisessa vaiheessa sementtirakeiden pintaan muodostuu hydrataatiotuotteita. Ne laajenevat rakeiden pinnasta vesitilaan. Alussa massa pysyy notkeana, mutta reaktion edetessä se jäykistyy reaktiotuotteiden kiinnittyessä toisiinsa. Jonkin ajan kuluttua betonimassa menettää työstettävyytensä ja alkaa sitoutuminen. Yleisimmillä massoilla sitoutuminen alkaa muutaman tunnin kuluessa sekoituksesta massan ollessa +20 °C. Alhaisemmissa lämpötiloissa sitoutumisaika siirtyy myöhemmäksi, kun korkeammassa lämpötiloissa se nopeutuu. Sementin ominaisuudet ja vesi-sementti-suhde vaikuttavat sitoutumisaikaan. Sitoutumisaikaan voidaan vaikuttaa myös lisäaineilla. (by 201, 2018, 80.)

Sementtistandardissa SFS-EN 197-1 on määritelty sitoutumisajan alku eri sementin lujuusluokille. Lujuusluokan 52,5 sementille sitoutumisen tulee alkaa 45 minuuttia veden ja sementin sekoituksesta, lujuusluokan 42,5 sementille 60 minuuttia, ja lujuusluokan 32,5 75 minuuttia. Sitoutumisvaiheen alun jälkeisessä tilassa sementtiliima on muodostanut liimasauvoja, eli hydrataatiotuotteita, jotka voivat häirinnän seurauksena rikkoutua. (by 201, 2018, 35-37.)

2.2.3 Lisäaineet

Lisäaineilla pyritään parantamaan betonin ominaisuuksia käyttötarkoituksiinsa sopiviksi. Useita betonilajikkeita on mahdoton valmistaa ilman lisäaineita kuten P-luku betonit, jotka vaativat hyvin alhaisen vesi-sementtisuhteen lisäksi säänkestävyyden. Lisäaineilla saadaan parannettua mm. betonin työstettävyyttä ja työstöaikaa, loppulujuutta ja säilyvyyttä, sekä kemiallista ja pakkasenkestävyyttä. (by 201, 2018, 60-61.)

Lisäaineiden vaikutustapa voi olla joko kemiallinen tai fysikaalinen. Pääasiallisen vaikutuksensa lisäksi sillä voi olla sivuvaikutuksia, jotka tulee ottaa huomioon betonin valmistuksessa. Esimerkiksi veden tarvetta vähentävä notkistin voi joskus lisätä, tai joskus pudottaa huokostetun betonimassa ilmamäärää. Myös sementin ja kiviainesten laatu, aineiden annostelujärjestys, betonisekoitin, ja massan lämpötila vaikuttavat ominaisuuksiin. Eri lisäaineiden mahdolliset vaikutukset tulee aina selvittää ennakkokokein. (by 201, 2018, 60.)

Betonissa käytettävien lisäaineiden tulee olla CE-merkittyjä, jos ne kuuluvat eurooppalaisen SFS-EN 934 standardiin. Suomessa voi myös saada erillisen varmennustodistuksen, jos lisäaine ei täytä CE-merkintää. Varmennustodistus on ympäristöministeriön hyväksymä kansallinen hyväksyntämenettely. (by 201, 2018, 61.)

Notkistavilla lisäaineilla lisätään betonimassan notkeutta ja vähennetään veden tarvetta. Notkeus parantaa betonin työstettävyyttä, ja veden tarpeen väheneminen nostaa betonin loppulujuutta. Myös betonin tiiveys ja säilyvyys paranevat. Notkistavat lisäaineet ovat pinta-aktiivisia aineita, jotka levittäytyvät sementtirakeiden ympärille aiheuttaen hylkimisreaktion niiden välille. Näin vesi pääsee tunkeutumaan rakeiden välistä tasaisesti betonimassaan parantaen työstettävyyttä. (Betonin notkistimet, 2020.)

Huokostimilla lisätään betoniin hallitusti ilmaa, joka antaa kovettuneelle betonille pakkasen kestävyden. Pakkasekestävyydellä tarkoitetaan betonin kykyä kestää toistuvaa jäätymis- ja sulamisrasitusta. Rasitus syntyy, kun betonissa oleva vesi jäätyy ja laajenee jopa 9% tilavuudestaan, ja aiheuttaa laajentuessaan halkeamia betoniin. Huokostimella luodut ilmakuplat sallivat jäätyvän veden laajenemisen betonia rikkomatta. Suomessa lähes kaikki ulkotilojen rakenteet altistuvat näille olosuhteille. Suhteituksessa tulee huomioida ilman lisäämisestä aiheutuva betonin loppulujuuden heikkeneminen. (by 201, 2018, 63-64.)

2.2.4 Koemassassan osa-aineet

Kiviaineksina käytettiin KAK:n toimittamia CE-merkittyjä ja SFS-EN 12620-standardin mukaisia aineksia. Kaikki humusnäytteet ovat 0-1 pitkältä aikajaksolta, joka tarkoittaa sitä, että kiviaineksissa ei esiinny liikaa betonille haitallisia orgaanisia aineita. Seulonnat ovat pysyneet tyyppikäyrien rajoissa.

Sementteinä käytettiin kahden sementin seosta suhteessa 50%/50%. Käytössä olivat Finnsementin Lappeenrannan CEM II/A-LL 52,5 N rapidsementti ja Cemex Oy:n CEM I 42,5 N rapidsementti.

Lisäaineena käytettiin Finnsementin Varma-Parmixia. Se on polykarboksylaattipohjainen betonin notkistin, jolla on suuri vedenvähennysteho ja nopea alkulujuudenkehitys.

2.3 Tehtaat

2.3.1 Jyväskylän tehdas

Jyväskylän tehtaan laitteisto on tehty SKAKO:n tilaustyönä. Myllyhuoneessa on kaksi 1,6 m³:n tasosekoitinta. Toisella valmistetaan elementtibetonit halliin ja toisella valmisbetoni. Kiviainesten punnitukseen ja siirtoon kuuluvat kiviainesvaaka, nousuhihna ja väliasema. Väliasema on pohjaluukullinen säiliö, josta kiviaines annostellaan myllyyn. Sementtisiiloja on kolme kappaletta 60t siiloja. Sementti kuljetetaan siiloista sementtikairoilla sementtivaa'alle. Sementtivaakoja on yksi kappale. Lisäaineet punnitaan yhdelle vaa'alle yksi kerrallaan, josta lisäaine pudotetaan välialtaaseen odottamaan muiden lisäaineiden punnitusta. Välialtaasta lisäaineet annostellaan myllyyn. Vedelle on yksi vaaka. Jyväskylän tehtaan vaakajärjestelmä on kalibroitu ja tarkastettu viimeksi huhtikuussa 2020.

Sekoittimet ja ohjauslaitteisto sijaitsevat tehtaan kulmauksessa toisessa kerroksessa. Massan notkeutta seurataan tietokoneelta vastusmittarilla, ja silmämääräisesti myllystä. Betonista otettavat näytteet tehdään ja säilytetään muottien purkuun asti sekoitihuoneen ja ohjaushuoneen välissä sijaitsevassa tilassa. Muotit laitetaan välitilassa sijaitsevalle työtasolle. Lattia on osittain betonia ja osittain kuviopeltiä. Työtaso ei ole pultattu kiinni lattiaan.

2.3.2 Laukaan tehdas

Laukaan tehtaalla on käytössä vuonna 1990 SKAKO:n valmistama laitteisto. Kiviainesten punnitukseen ja siirtoon kuuluvat kiviainesvaaka, nousuhihna, sekä hissi. Sementtisiiloja on kaksi kappaletta 80t siiloja, ja yksi 60t siilo. Jokaisen siilon pohjasta lähtee siirtokaira sementtivaa'alle. Sementit punnitaan yhdellä vaa'alla. Lisäaineille on kaksi vaaka, jotka on kumpikin jaettu kahteen osaan. Näin on mahdollista käyttää neljää eri lisäainetta. Vedelle on yksi vaaka. Laukaan tehtaan vaakajärjestelmä on kalibroitu ja tarkastettu viimeksi huhtikuussa 2020.

Sekoitin on BHS-kaksoisakseli-allassekoitin. Sekoittimessa on kaksi akselia horisontaalisesti, jotka menevät myllyn läpi. Akseleissa on kiinni lavat, jotka pyörivät vertikaalisessa suunnassa sekoittaen aineet keskenään. Betonimassan laatua ja notkeutta tarkkaillaan silmämääräisesti myllystä tarkistamalla. Sekoittimella voidaan valmistaa 1,67m³ suuruisia annoksia.

Betonimassasta otettava näyte otetaan suoraan myllystä, viedään alakertaan, ja vaeleetaan muotteihin. Muotteja säilytetään työtasolla betonilattialla.



Kuvio 5 BHS-kaksoisakseli-allassekoitin.

3 Tutkimuksen toteutus ja tulokset

3.1 Valmistelu

Tärinän seurantaan varten koekappaleiden säilytystiloihin asennettiin tärähdysmittarit. Mittarit pultattiin kiinni ylimääräisiin 150 x 150 x 150 mm koekuutioihin. Mittareita ei kiinnitetty suoraan pöytään siksi, jotta mukaan saatiin koekuution ja säilytystason välinen ”nivelen” vaikutus. Jokainen liikkuva osa tai nivel voi voimistaa tärinän

vaikutusta. Seppälän tehtaalla vietin lisäksi yksi tärinämittari vertailukoekappaleiden säilytystiloihin lisäainevarastoon koekuutioon pultattuna, sekä pultattiin yksi tärinämittari rakennuksen runkoon säilytystilan läheisyyteen. Tärinämittauksen suoritti Oy Finnrock Ab.

Painuma-leviämä -koetta ja t_{500} -mittausta varten kummallakin tehtaalla 1000 mm * 1000 m pohjalevyt, joissa oli 210 mm, 500 mm ja 800 mm kohdille merkityt ympyrät, asetettiin tasaiselle pinnalle vesivaa'an avulla. Ympyröiden keskelle merkittiin keskipiste rastilla. Pohjalevyjen materiaalina käytettiin filmivaneria, jonka ominaisuuksien oli todettu vastaavan teräslevyä.

3.2 Kiviaineiden kuivatus

Kiviainesnäyte haettiin vaa'alta annosta punnittaessa, jotta annoksen todellinen vesisementtisuhde saatiin laskettua. Jokaista punnittavaa kiviainesta otettiin omaan astiaansa. Märkä ja kuivatettu näyte punnittiin. Kiviaineksen kosteus saadaan yhtälöstä 1.

$$\frac{\text{veden massa}}{\text{kuivan näytteen massa}} \times 100\% \quad (1)$$

3.3 Koekappaleiden teko ja seuranta

Näyte betonimassasta otettiin suoraan sekoittimesta. Laukaassa valettiin kaksi koekappaletta ja Seppälässä neljä koekappaletta. Koekappaleiden määrä todettiin riittäväksi, sillä ne olivat verrattavissa aikaisempiin tuloksiin (Ks. Liite 1). Betonimassaa otettiin lisäksi painuma-leviämä -koetta varten tarvittava määrä. Laukaassa näyte vietiin alakerran laboratorion viereen työtasolle (Kuvio 6). Seppälässä näyte nostettiin myllyn ja ohjaushuoneen välitilaan työtasolle (Kuvio 7). Seppälässä tehtiin lisänäytteet vertailun vuoksi, ja ne vietiin maan tasolla sijaitsevaan lisäainevarastoon. Kuutioita valaessa ei käytetty ulkopuolista tiivistystä. Massan lämmönseurantamittarit, sekä värinänseurantalaitteisto kytkettiin päälle. Mittaukset ajastettiin alkamaan koekappaleiden teko hetkestä kappaleiden purkuun. Seppälän aseman myllyn lämpötilamittarin lämmönmittauskaapelit menivät oikosulkuun, joten lämmönseuranta näiden koekappaleiden osalta epäonnistui.



Kuvio 6 Koekappaleiden sijoittelu Laukaan tehtaalla



Kuvio 7 Seppälässä asennettiin lisäksi tärinämittari seinään

Painuma-leviämä-kokeessa ja t_{500} -mittauksessa pohjalevy ja kartio puhdistettiin ja kostutettiin juuri ennen testausta. Liiallinen märkyys poistettiin. Kartio aseteltiin levyn keskelle ja täytettiin ilman mekaanista tiivistämistä. Täyttäessä huolehdittiin, ettei betonia valunut kartion ulkopuolelle. Täytetyn kartion annettiin olla paikoillaan n. 30 s. Kartio nostettiin reippaasti ja ajanotto käynnistettiin. Ajanotto pysäytettiin, kun betoni saavutti 500 mm:n merkin. Kun betonin virtaus oli loppunut, mitattiin suurin leviämän halkaisija d_1 . Sitten mitattiin leviämän halkaisija suorassa kulmassa d_1 nähden, ja kirjattiin leviämä d_2 . Mikäli d_1 :n ja d_2 :n erotus olisi ollut 50 mm, näyte ja testi olisi tullut uusiksi. Lopuksi betonimassasta tarkistettiin, oliko erottumista havaittavissa. Painuma-leviämä SF saadaan yhtälöstä 2.

$$SF = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad (2)$$

Seuraavana aamuna noin 18 tunnin kuluttua mittarit kytkettiin pois, koekappaleet purettiin, ja laitettiin vesisäilytysaltaaseen. Näytteet puristettiin 7 vuorokauden, ja 28 vuorokauden iässä. Arvosteluaan 28 vrk kappaleet lähetettiin Jyväskylän ammattikorkeakoulun (JAMK) testauslaboratorioon puristettavaksi. 7 vrk koekappaleet puristettiin Laukaan Betonin omalla puristimella. Puristinta ei ole virallisesti tarkastettu ja kalibroitu, mutta sen on todettu olevan riittävän tarkka käyttötarkoitukseensa nähden. Omalla tehtaalla puristettujen 7 vuorokauden ikäisten koekappaleiden tulokset ovat olleet linjassa virallisten 28 vuorokauden tulosten kanssa.

3.4 Mittausten tulokset

Betonimassan ominaisuudet leviämisen ja erottuvuuden osalta olivat samankaltaiset kummallakin tehtaalla. Seppälän massan SF = 670, ja Laukaan SF = 650. Seppälässä $t_{500} = 3,1$ s ja Laukaassa $t_{500} = 3,5$ s. Seppälän massa oli siis aavistuksen löysempää.

Betonimassojen lämmönkehityksissä ei ollut poikkeavuuksia kummallakaan tehtaalla (Ks. Liite 2 ja 3). Lähtölämpötiloissa oli vain noin 2,6 °C erot, ja maksimilämpötiloissa vain 0,1 °C.

Liitteissä tärinämittausten tulosten aika rajattiin välille 13-19 tulosten luettavuuden helpottamiseksi. Kummallakaan tehtaalla mittarit eivät havainneet tapahtumia klo 19-6:n välillä. Lisäksi tärinämittausten taulukkoarvojen minimiarvoksi rajattiin 5 mm/s mittaustulosten määrän järjeistämiseksi liitteissä. Ilman rajausta liitteistä olisi tullut yli 50 sivua pitkä. Seppälän lisäainevaraston mittari ei havainnut lainkaan tärähdyksiä, joten kyseisestä mittarista ei ole raporttia. Mittarin toimivuudesta ei ole epäilystä, sillä ne tarkastettiin ennen koetta.

Laukaassa oli yksi selkeä, isompi tärähdys (ks. Liite 4). Tärähdyksen voima oli 22,1 mm/s. Lisäksi mittari havaitsi kolme pienempää tärähdystä voimakkuuksiltaan 1,15 mm/s, 1,8 mm/s ja 1,1 mm/s.

Seppälässä välitilan seinän mittari sai lukemia, mutta ne jäivät voimakkuuksiltaan hyvin pieniksi (ks. Liite 5). Maksimiarvot olivat vain 0,55 mm/s.

Seppälän välitilan pöydän mittari sai useita lukemia epäsäännöllisin väliajoin iltapäivän kuluessa (ks. Liite 6). 2mm/s ylittäviä tärähdyksiä oli 221 kpl. 10 mm/s ylittäviä tärähdyksiä oli 78 kpl. 40 mm/s ylittäviä tärähdyksiä oli vielä 11 kpl. Suurin tärähdyksen mitattu arvo oli 86,7 mm/s aamulla klo 08:10.

Puristuslujuuksissa oli selkeitä eroja tehtaiden ja säilytyspaikkojen välillä (ks. Taulukko 1). Seppälässä säilytyspaikkojen välillä puristuslujuuksissa oli 4,2 MPa:n ero 7 vuorokauden ja jopa 8,3 MPa:n ero virallisilla 28 vuorokauden ikäisillä koekappaleilla. Laukaan tehtaan ja Seppälän lisäainevaraston 28 vuorokauden tuloksissa oli vain 0,7 MPa:n ero. Muilta osin annosraporteista ei löytynyt merkittäviä eroja (ks. Liitteet 7 ja 8). Kiviainesten punnitusmäärissä oli pieniä eroja tehtaiden välillä.

Taulukko 1. Koekappaleiden puristuslujuudet ja muita ominaisuuksia

	Laukaa	Seppälä mylly	Seppää LA-var.
Lujuus (MPa) 7 vrk	46,1	39,4	43,6
Lujuus (MPa) 28 vrk	57	49,4	57,7
sementti kg/m ³	385,1	385	385
Vesi/sementti -suhde	0,52	0,53	0,53
sekoitusaika (s)	167	123	123

3.5 Johtopäätökset

Lujuudenkehityksen kannalta massojen lämpötilat kummallakin tehtaalla olivat kuten pitääkin. Epäonnistuneen lämmönmittauksen osalta ei ole syytä uskoa, että lämpötilan kehitys olisi ollut merkittävästi erilainen välitilan ja lisäainevaraston koekappaleissa. Lämpötilaerot säilytyspaikkojen välillä ovat pienet, sillä kumpikin on sisätila. Myös tuoreen betonimassan ominaisuudet painuma - leviämän, ja t_{500} -mittauksen osalta olivat samankaltaiset kummallakin tehtaalla. Massoilla oli sopiva viskositeetti eikä erottumista ollut havaittavissa. Poikkeuksia ei löytynyt myöskään annosraporttien osalta; vesi-sementti-suhde ja sementin määrä olivat lähes samat. Vain kiviainesten määrissä oli pientä eroa. Erot johtuvat ohjelmistoon syötetyistä kiviaineskosteuksista, joiden mukaan ohjelma laskee punnittavat ainesosat. Nämä poikkeavuudet eivät myöskään selitä eroja puristuslujuuksissa.

Laukaassa isompi tärähdys tapahtui, kun päivän päätteeksi painava pesuastia laskettiin lattialle noin kolmen metrin päähän pöydästä. Kolme pienempää tärähdystä (1,15 mm/s, 1,8 mm/s ja 1,1 mm/s) on täytynyt johtua pöydän vieressä sijaitsevan painavan oven sulkeutumisesta. Seppälässä tärinä voi tulla useasta lähteestä. Yksi on varmasti liikkuminen pöydän vierellä. Lattialla oleva kuviopelti on kuprulla, ja kuprulle astuminen aiheuttaa aina tärähdyksen. Lisäksi pöytään on voinut kohdistua törmäyksiä ja muita tärähdyksiä työskentelyn ohella. Elementtihallissa alhaalla käytetään myös tärypöytiä, jotka saattavat vaikuttaa yläkertaan asti. Myllyn ja hallin välinen betonin kuljetin aiheuttaa toisinaan tärähdyksen, joka tuntuu jaloissa, jos seisoo pöydän vieressä. Lisäksi itse pöytää ei ole pultattu lattiaan kiinni aiheuttaen lisää heiluntaa.

Tärähdysten voimakkuudet Seppälän välitilan pöydällä ovat olleet merkittäviä ja ne ovat alkaneet koekappaleiden valuhetkestä ja loppuneet vasta noin puoli kuuden ai-

kaan. Tärähtelyä on jatkunut noin neljä tuntia, jolloin betonin lujuudenkehitys on ollut vasta alkuvaiheessa. Suurin 86,7 mm/s tärähdys on rekisteröity aamulla ja on johdunut koekappaleiden purkamisesta aiheutuvasta tärinästä. Tärähdykset ovat ylittäneet selkeästi RIL 253-2010:n 2-10 mm/s ohjearvot ja VTT:n suositteleman 5 mm/s betonin kovettumisen alkuvaiheessa. Ne lähentelevät myös Jussi Sieversin 61 mm/s:n rajaa. Tässä tapauksessa kyseessä on kuitenkin eri betoni kuin Sieversin työssä, joka oli kehitetty siltarakentaminen mielessä pitäen, eikä sitä voi tällöin pitää absoluuttisena ohjearvona.

Puristuslujuuksien tulokset osoittavat selkeästi, kuinka paljon koekappaleiden säilytyspaikka ja tärähdykset vaikuttivat koekappaleiden lujuudenkehitykseen. Se on nähtävissä jo pelkästään Seppälän tehtaan kokeista. Betonimassa oli täysin sama kummassakin tilassa, mutta toisessa tilassa tapahtui tärähtelyä satunnaisesti iltapäivän mittaan. Kun otetaan lisäksi huomioon se, että Laukaan tehtaan ja Seppälän lisäainetaraston viralliset 28 vuorokauden puristuslujuustulokset olivat niin lähellä toisiaan tehtaiden muista eroista huolimatta, voidaan todeta tärinä lujuuden kehityksen häiriön aiheuttajaksi. Tästä syystä puristuslujuustuloksista voidaan myös päätellä, että tehtaiden välisten laitteistojen vaikutus IT-betonin lopputulokseen ei voi olla merkittävä.

Seppälän välitilassa on toinen työpöytä myllykoppia vastapäätä, jolla säilytetään työkaluja ja muita satunnaisia myllyn osia. Välitilan seinän tärähdysmittauksen perusteella ehdotan, että välitilassa oleva toinen työpöytä pultataan kiinni lattiaan ja seinään ja otetaan käyttöön koekappaleiden säilytyspaikkana. Koekappaleet voidaan edelleenkin valmistaa halutessa vanhalla matalalla työtasolla, mutta ne nostettaisiin kiinnitetylle työpöydälle seuraavaan aamun asti. Näin selvittäisiin pienillä muutostöillä. Lisäksi pultatun työpöydän vaikutus lujuudenkehitykseen voitaisiin tarkistaa jälkepäin tekemällä uudet vertailukoekappaleet lisäainetaraston ja myllyn välitilan välillä, perustaen tulosten vertailun tämän opinnäytetyön tuloksiin.

4 Pohdinta

Tavoitteena oli selvittää mahdollisia syitä eroihin puristuslujuuksien tuloksissa tehtaiden välillä. Lähdin suorittamaan työtä poissulkevalla menetelmällä, ottaen huomioon mahdollisia muuttujia tehtaiden välillä. Keskustelin muuttujista ja mahdollisista syistä esimiesteni ja kollegoideni kanssa. Päädyimme lopulta ottamaan muiden tavantomaisten kokeiden lisäksi tärinämittauksen.

Tulokset olivat varsin selkeitä ja helposti tulkittavissa. Ratkaisevaa työn kannalta oli tehdä ylimääräiset koekappaleet Seppälässä ja sijoittaa ne toiseen paikkaan. Ilman tätä tehtaiden laitteistojen välistä vaikutusta olisi ollut huomattavasti vaikeampi tulkita. Tärinämittauksen tulokset täydensivät puristuslujuuksien tuloksia hienosti, helpottaen johtopäätösten tekemistä. Koekappaleita olisi toki voinut tehdä useampia.

Tärähtelyn vaikutuksen tulkintaa helpotti lisäksi RIL:n ja VTT:n ohjearvot. Tärähtelyn mitatut arvot olivat selkeästi ohjearvoja suurempia. 5 mm/s ylittäviä tärähdyksiä mitattiin jopa 265 kappaletta kello 13 ja 18 välillä Seppälän pöydällä. Tämä tarkoittaa karkeasti 53 tärähdystä tunnille. Toisaalta samasta massasta tehtyjen koekappaleiden loppulujuuksissa oli 8,3 MPa:n ero, ja ainoa muuttuja oli koekappaleiden sijoituspaikka. Kokeen tulokset osoittavat selkeästi, kuinka tärinän ohjearvojen ylittäminen varsinkin kovettumisen alkuvaiheessa on vaikuttanut betonin loppulujuuteen.

Yksi askarruttava asia työn aikana oli laitteistojen erot etenkin myllyjen osalta. Ennen koetta en ollut aivan varma voisiko erot johtua tasosekoittajan ja vertikaalisessa suunnassa sekoittavan BHS-kaksoisakseli-myllyn sekoitustavoista. Aikaisempien tutkimustemme mukaan sekoittimissa on eroja ainakin huokostinta käytettäessä.

Lopputuloksen kannalta työ onnistui erinomaisesti. Olen itse erittäin tyytyväinen lopputulokseen, sillä ongelma oli olemassa jo yli kahdeksan vuotta sitten, kun aloitin työt Laukaan Betoni Oy:llä. Kiviaineksille olisi voinut tehdä tarkemmat tutkimukset, mutta keskusteltuani tavarantoimittajan kanssa, lukiessani heidän raporttejaan, ja pohtiessani sitä, että kiviaineksia ajetaan kummallekin tehtaalle päivittäin samoilta soramontuilta, eivät kiviainekset voineet olla jatkuvasti paremmat vain toisella tehtaalla. Niillä perusteiden kiviaineksista mitattiin vain kosteudet.

Tulokset vahvistavat VTT:n ja RIL:n tärinöille annettuja ohjeita. Niitä voidaan soveltaa missä tahansa, jossa valmistetaan koekappaleita betonista, ja säilytyspaikan on syytä epäillä tärisevän. Tehtaiden lisäksi tällainen voi olla esimerkiksi työmaalla tehtävä koekuutio, joka viedään työmaakoppiin. Maanrakennusvaiheessa työmailla tapahtuu usein tärinää eri lähteistä, ja työmaakoppien tuenta voi toisinaan olla keuhkoa. Lisäksi jos vastaavassa työmaakopissa koekappaleet säilytettäisiin tasolla, voi heilahtelun ja tärinän vaikutus olla hyvinkin merkittävä. Usein työmailla kiinnitetään huomio vain säilytyspaikan lämpötilaan, joka on myös tärkeää, mutta huomio tulisi suunnata myös mahdolliseen tärinään.

5 Lähteet

Betonin historia. 2020. Betoni.com verkkosivusto. Viitattu 24.4.2020. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betonin-historia/>

Betonin notkistimet. 2020. Finnsementti.fi verkkosivusto. Viitattu 27.4.2020. <https://finnsementti.fi/tuote-osasto/parmix-lisaaineet/notkistimet/>

by 201 Betonitekniikan oppikirja, 2018, Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry

by 65 Betoninormit, 2016, Helsinki: Suomen Betoniyhdistys ry

Kiviaines. 2020. Betoni.com verkkosivusto. Viitattu 25.4.2020. <https://betoni.com/tietoa-betonista/perustietopaketti/betoni-rakennusmateriaalina/kiviaines/>

Pitkänen, P., Punakallio, E., 2006, Muotoiluvalun ongelmat ja vaatimukset [verkkodokumentti, PDF]. Espoo. Tutkimusselostus NRO VTT-S-02259-06. Luettu 8.5.2020. https://julkaisut.vayla.fi/sillat/julkaisut/muotoiluvaluselostus_2006.pdf

RIL 253-2010 Rakentamisen aiheuttamat tärinät, 2010, Helsinki: Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry

Sementin valmistus. 2020. Finnsementti.fi verkkosivusto. Viitattu 24.4.2020. <https://finnsementti.fi/palvelut/tietoa-sementista/valmistus/>

SFS-EN 12350-8 Tuoreen betonin testaus. Osa 8: Itsetiivistyvä betoni. Painuma-leviämä, 2010, Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS. Vahvistettu 11.10.2010.

Sievers, J. 2010. Tärinän vaikutus betonin kovettumiseen. Saimaan ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö.

6 Liitteet

Liite 1. Erot puristuslujuuksissa

Laukaa

PVM	Tunnus	Luj.(MPa)	sem kg/m ³
29.11.2019	E642	57,3	368
2.12.2019	E643	60,5	370
3.12.2019	E644	60,3	368
5.12.2019	E647	63,6	370
10.12.2019	E648	63,7	368
12.12.2019	E650	59,0	368
7.1.2020	E654	60,5	370
9.1.2020	E656	55,6	368
14.1.2020	E657	59,2	370
16.1.2020	E658	52,5	368
20.1.2020	E660	57,6	368
22.1.2020	E661	61,6	370
27.1.2020	E664	59,8	368
31.1.2020	E665	55,7	370
3.2.2020	E667	59,1	368
6.2.2020	E669	54,6	368
12.2.2020	E671	58,3	370
13.2.2020	E672	56,9	368
17.2.2020	E673	62,8	370
19.2.2020	E674	56,0	368
4.3.2020	E677	57,8	368
5.3.2020	E678	54,3	370
10.3.2020	E679	53,7	368
12.3.2020	E680	58,6	370
17.3.2020	E681	56,8	368
19.3.2020	E683	54,5	368
24.3.2020	E684	55,6	370
26.3.2020	E685	56,2	368
31.3.2020	E686	53,1	370

KA	57,8	369
----	------	-----

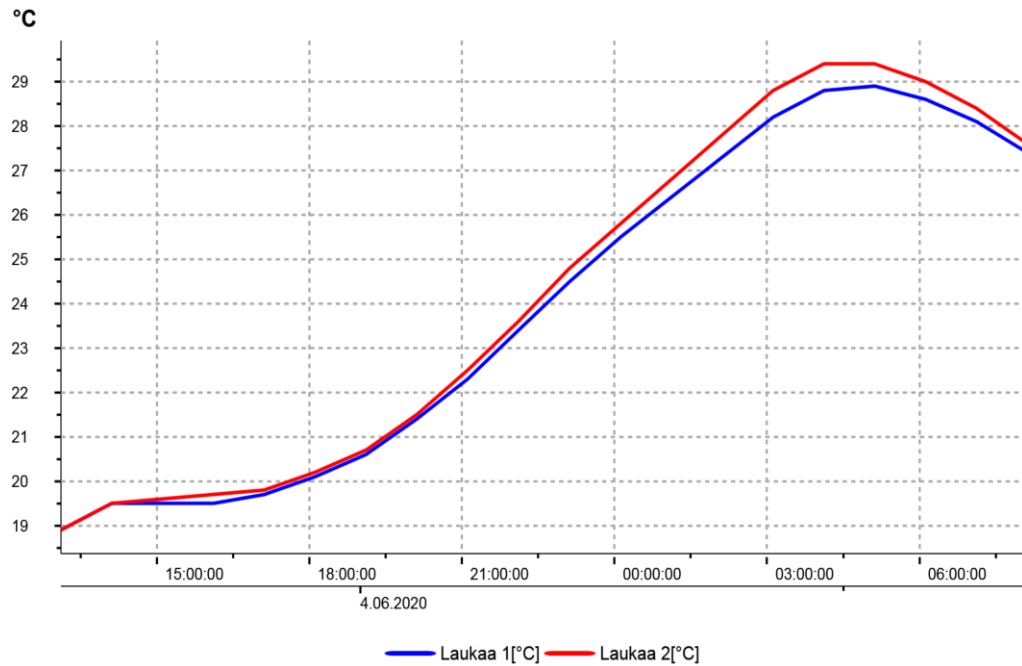
Seppälä

PVM	Tunnus	Luj.(MPa)	sem kg/m ³
16.12.2019	IT226	48,1	378
9.1.2020	IT230	52,8	376
13.1.2020	IT231	51,1	378
15.1.2020	IT232	51,5	376
20.1.2020	IT234	51,5	378
27.1.2020	IT237	47,9	376
28.1.2020	IT238	50,6	378
29.1.2020	IT239	54,3	376
5.2.2020	IT241	54,3	378
6.2.2020	IT242	53,3	376
11.2.2020	IT244	56,4	378
13.2.2020	IT245	52,5	376
17.2.2020	IT246	56,0	378
25.2.2020	IT249	55,4	376
27.2.2020	IT250	56,0	378
4.3.2020	IT252	57,8	376
6.3.2020	IT253	53,3	378
11.3.2020	IT254	60,8	376
13.3.2020	IT255	54,4	378
18.3.2020	IT257	58,2	376
20.3.2020	IT258	51,6	378
25.3.2020	IT259	52,7	376
27.3.2020	IT260	50,9	378

KA	53,5	377
----	------	-----

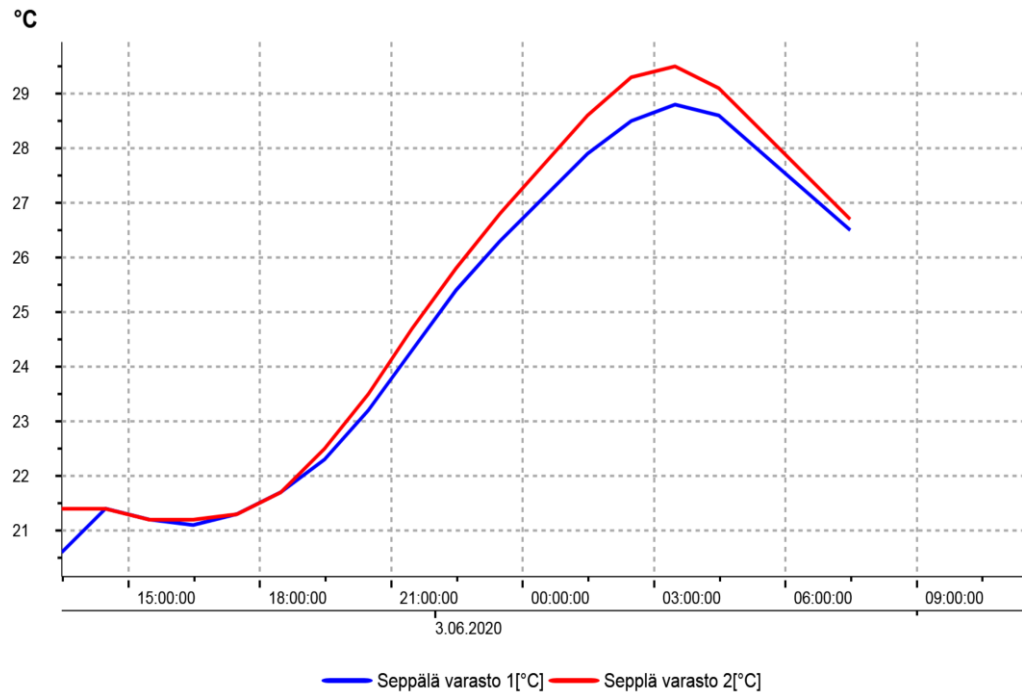
Liite 2 Lämmönkehityksen seuranta Laukaa

Instrument name: Testo 175T3 2		5.6.2020 8:33:21			Page	1/1
Start time: 4.6.2020 13:06:58		Minimum	Maximum	Mean value	Limit values	
End time: 5.6.2020 8:06:58	Laukaa 1 [°C]	18,9	28,9	23,93	10,0/50,0	
Measurement channels: 2	Laukaa 2 [°C]	18,9	29,4	24,19	10,0/50,0	
Measured values: 20						
SN 40227674						
MyllyLaukaa						



Liite 3 Lämmönkehityksen seuranta Seppälä lisäainevarasto

Instrument name: Testo 175T3 2		4.6.2020 11:54:30		Page	1/1
Start time: 3.6.2020 13:28:26		Minimum	Maximum	Mean value	Limit values
End time: 4.6.2020 11:28:26	Seppälä varasto 1 [°C]	20,6	28,8	24,805	10,0/50,0
Measurement channels: 2	Seppälä varasto 2 [°C]	21,2	29,5	25,168	10,0/50,0
Measured values: 23					
SN 40227674					
Lisäainevarasto Seppälä					



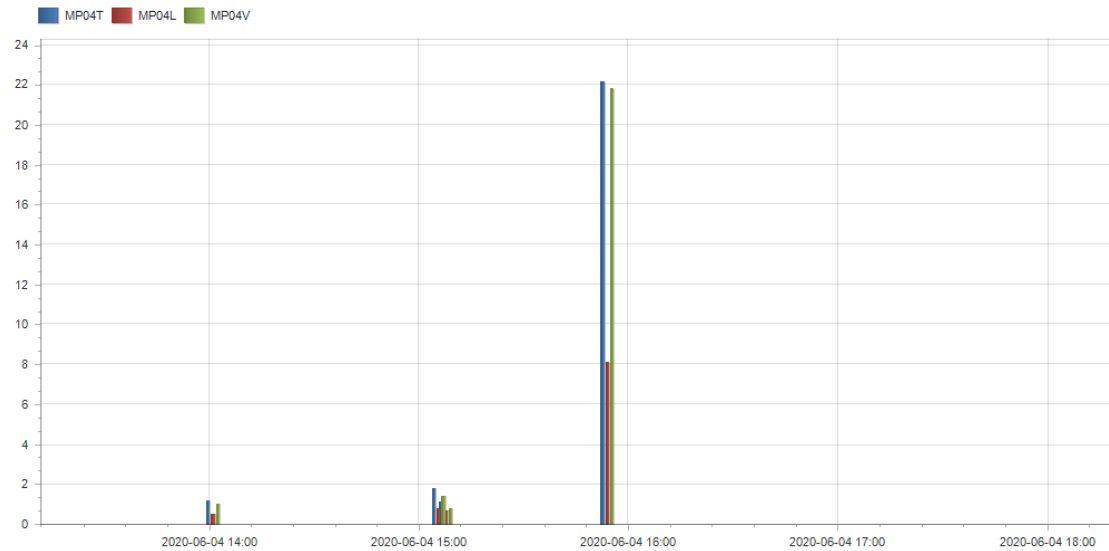
Liite 4 Laukaan aseman tärinämittaus



202111
Laukaan Betoni Oy tärinämittaukset
Mittausraportti

Mittausjakso 2020-06-04 13:30:00 - 2020-06-04 18:00:00

Kommentti:



MP04T	2020-06-04 15:54:10	22,10 mm/s	5,1 m/s ²	93 um	38,1 hz
MP04L	2020-06-04 15:54:10	8,05 mm/s	3,0 m/s ²	33 um	60,9 hz
MP04V	2020-06-04 15:54:10	21,80 mm/s	6,0 m/s ²	87 um	40,6 hz
MP04T	2020-06-04 13:25:42	5,40 mm/s	1,1 m/s ²	26 um	34,6 hz
MP04V	2020-06-04 13:25:42	5,25 mm/s	1,2 m/s ²	22 um	37,1 hz
MP04T	2020-06-04 13:13:19	20,30 mm/s	3,7 m/s ²	116 um	31,5 hz
MP04L	2020-06-04 13:13:19	21,00 mm/s	8,4 m/s ²	140 um	17,4 hz
MP04T	2020-06-04 13:04:44	11,70 mm/s	2,9 m/s ²	87 um	27,7 hz
MP04V	2020-06-04 13:04:44	5,20 mm/s	1,4 m/s ²	26 um	43,1 hz
MP04L	2020-06-04 13:04:44	22,90 mm/s	7,9 m/s ²	116 um	52,9 hz
MP04T	2020-06-04 13:03:32	12,50 mm/s	1,5 m/s ²	131 um	13,5 hz
MP04L	2020-06-04 13:03:32	14,60 mm/s	1,6 m/s ²	155 um	14,0 hz
MP04T	2020-06-04 13:02:20	12,80 mm/s	3,1 m/s ²	102 um	24,9 hz
MP04L	2020-06-04 13:02:09	6,10 mm/s	2,0 m/s ²	53 um	24,0 hz
MP04V	2020-06-04 13:02:09	5,35 mm/s	1,4 m/s ²	31 um	39,0 hz
MP04T	2020-06-04 13:02:09	32,70 mm/s	4,9 m/s ²	257 um	13,5 hz

MP04L	2020-06-04 13:01:59	6,25 mm/s	1,8 m/s ²	52 um	18,8 hz
MP04T	2020-06-04 13:01:59	16,00 mm/s	2,7 m/s ²	138 um	18,8 hz
MP04L	2020-06-04 13:01:48	7,25 mm/s	0,8 m/s ²	70 um	18,0 hz
MP04T	2020-06-04 13:01:48	16,30 mm/s	1,7 m/s ²	164 um	15,8 hz

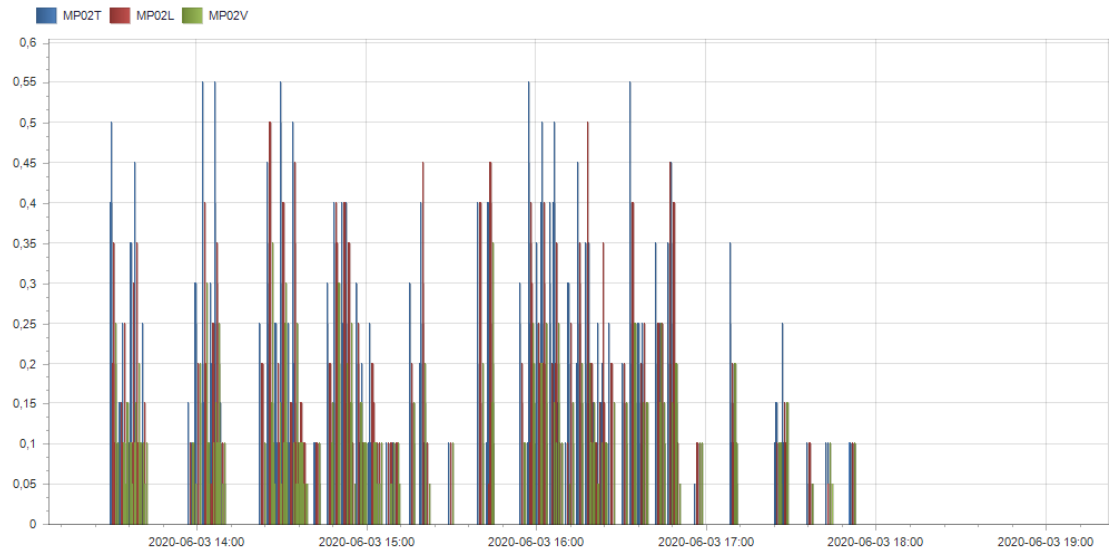
Liite 5 Seppälän välitilan seinän värinämittaus



202111
Laukaan Betoni Oy värinämittaukset
Mittausraportti

Mittausjakso 2020-06-03 13:30:00 - 2020-06-03 19:00:00

Kommentti:



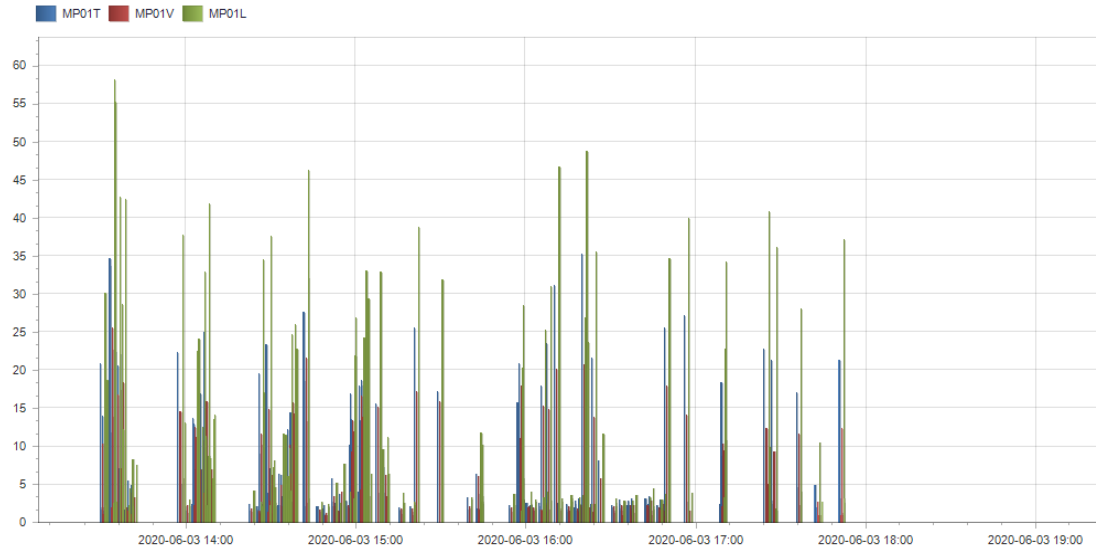
Liite 6 Seppälän aseman välitilan tärinmittaus



202111
Laukaan Betoni Oy tärinmittaukset
Mittausraportti

Mittausjakso 2020-06-03 13:30:00 - 2020-06-03 19:00:00

Kommentti:



Nimi	Aika	Oh- jearvo	tulos	m/s ²	Siirtymä	Hz
MP01V	2020-06-03 17:51:53		12,20 mm/s	2,2 m/s ²	68 um	27,8 hz
MP01T	2020-06-03 17:51:53		21,20 mm/s	3,7 m/s ²	154 um	20,7 hz
MP01L	2020-06-03 17:51:53		37,10 mm/s	6,4 m/s ²	277 um	27,4 hz
MP01L	2020-06-03 17:43:22		10,40 mm/s	2,3 m/s ²	67 um	35,2 hz
MP01T	2020-06-03 17:36:47		16,90 mm/s	3,2 m/s ²	125 um	27,4 hz
MP01V	2020-06-03 17:36:47		11,40 mm/s	2,2 m/s ²	66 um	26,2 hz
MP01L	2020-06-03 17:36:47		27,90 mm/s	5,7 m/s ²	176 um	27,6 hz
MP01V	2020-06-03 17:28:04		9,30 mm/s	3,6 m/s ²	47 um	27,9 hz
MP01L	2020-06-03 17:28:04		36,00 mm/s	7,2 m/s ²	282 um	24,2 hz
MP01T	2020-06-03 17:28:04		21,20 mm/s	3,6 m/s ²	143 um	22,8 hz
MP01T	2020-06-03 17:25:54		6,55 mm/s	1,0 m/s ²	50 um	22,5 hz
MP01V	2020-06-03 17:25:54		5,05 mm/s	0,7 m/s ²	36 um	21,5 hz
MP01L	2020-06-03 17:25:54		9,80 mm/s	2,0 m/s ²	88 um	24,6 hz
MP01V	2020-06-03 17:25:22		12,20 mm/s	1,8 m/s ²	69 um	26,0 hz
MP01T	2020-06-03 17:25:22		22,70 mm/s	3,3 m/s ²	168 um	21,0 hz

MP01L	2020-06-03 17:25:22	40,70 mm/s	5,5 m/s ²	265 um	22,7 hz
MP01T	2020-06-03 17:10:20	8,65 mm/s	1,5 m/s ²	49 um	27,9 hz
MP01L	2020-06-03 17:10:20	10,70 mm/s	2,0 m/s ²	79 um	32,2 hz
MP01V	2020-06-03 17:10:14	9,35 mm/s	1,9 m/s ²	54 um	23,6 hz
MP01T	2020-06-03 17:10:14	18,30 mm/s	2,6 m/s ²	148 um	23,0 hz
MP01L	2020-06-03 17:10:14	34,10 mm/s	5,9 m/s ²	222 um	22,9 hz
MP01V	2020-06-03 17:10:00	10,30 mm/s	1,6 m/s ²	62 um	24,4 hz
MP01T	2020-06-03 17:10:00	14,10 mm/s	2,1 m/s ²	121 um	20,3 hz
MP01L	2020-06-03 17:10:00	22,60 mm/s	3,7 m/s ²	159 um	22,3 hz
MP01L	2020-06-03 17:09:56	8,65 mm/s	1,5 m/s ²	59 um	24,0 hz
MP01T	2020-06-03 16:57:07	27,10 mm/s	3,6 m/s ²	188 um	22,3 hz
MP01V	2020-06-03 16:57:07	14,00 mm/s	2,5 m/s ²	92 um	23,6 hz
MP01L	2020-06-03 16:57:07	39,90 mm/s	7,3 m/s ²	257 um	19,8 hz
MP01T	2020-06-03 16:50:14	25,40 mm/s	3,7 m/s ²	205 um	19,8 hz
MP01V	2020-06-03 16:50:14	17,80 mm/s	3,0 m/s ²	125 um	22,4 hz
MP01L	2020-06-03 16:50:14	34,60 mm/s	6,6 m/s ²	252 um	17,0 hz
MP01T	2020-06-03 16:26:49	8,15 mm/s	1,2 m/s ²	54 um	23,4 hz
MP01V	2020-06-03 16:26:49	5,70 mm/s	1,1 m/s ²	38 um	24,4 hz
MP01L	2020-06-03 16:26:49	11,40 mm/s	2,1 m/s ²	74 um	28,4 hz
MP01T	2020-06-03 16:24:19	21,50 mm/s	3,1 m/s ²	169 um	19,7 hz
MP01V	2020-06-03 16:24:19	13,70 mm/s	2,3 m/s ²	89 um	25,1 hz
MP01L	2020-06-03 16:24:19	35,40 mm/s	5,4 m/s ²	245 um	22,5 hz
MP01V	2020-06-03 16:21:34	7,40 mm/s	2,1 m/s ²	41 um	28,3 hz
MP01T	2020-06-03 16:21:34	11,90 mm/s	2,4 m/s ²	116 um	28,9 hz
MP01L	2020-06-03 16:21:34	23,50 mm/s	2,7 m/s ²	220 um	16,2 hz
MP01L	2020-06-03 16:21:07	26,80 mm/s	3,5 m/s ²	204 um	19,8 hz
MP01T	2020-06-03 16:21:00	35,10 mm/s	5,1 m/s ²	272 um	23,9 hz
MP01V	2020-06-03 16:21:00	20,60 mm/s	3,5 m/s ²	126 um	26,2 hz
MP01L	2020-06-03 16:21:00	48,70 mm/s	7,4 m/s ²	380 um	20,2 hz
MP01T	2020-06-03 16:11:12	31,00 mm/s	5,1 m/s ²	238 um	25,6 hz
MP01V	2020-06-03 16:11:12	20,00 mm/s	3,4 m/s ²	131 um	25,0 hz
MP01L	2020-06-03 16:11:12	46,60 mm/s	7,1 m/s ²	369 um	19,7 hz
MP01T	2020-06-03 16:08:25	23,40 mm/s	3,3 m/s ²	151 um	23,0 hz
MP01V	2020-06-03 16:08:25	14,70 mm/s	2,3 m/s ²	96 um	24,9 hz
MP01L	2020-06-03 16:08:25	30,80 mm/s	4,6 m/s ²	242 um	21,5 hz

MP01V	2020-06-03 16:06:31	15,10 mm/s	2,9 m/s ²	105 um	25,4 hz
MP01T	2020-06-03 16:06:31	17,80 mm/s	2,7 m/s ²	128 um	22,5 hz
MP01L	2020-06-03 16:06:31	25,20 mm/s	4,9 m/s ²	193 um	24,8 hz
MP01L	2020-06-03 15:58:36	5,75 mm/s	1,8 m/s ²	34 um	25,0 hz
MP01V	2020-06-03 15:58:34	17,80 mm/s	3,0 m/s ²	109 um	25,4 hz
MP01T	2020-06-03 15:58:34	20,70 mm/s	3,7 m/s ²	139 um	23,9 hz
MP01L	2020-06-03 15:58:34	28,40 mm/s	4,9 m/s ²	178 um	25,5 hz
MP01T	2020-06-03 15:58:08	5,75 mm/s	4,0 m/s ²	24 um	39,0 hz
MP01L	2020-06-03 15:58:08	11,00 mm/s	7,7 m/s ²	50 um	39,3 hz
MP01T	2020-06-03 15:58:06	15,60 mm/s	2,3 m/s ²	119 um	21,8 hz
MP01V	2020-06-03 15:58:06	10,90 mm/s	1,9 m/s ²	68 um	24,8 hz
MP01L	2020-06-03 15:58:06	20,10 mm/s	3,2 m/s ²	162 um	19,9 hz
MP01L	2020-06-03 15:44:12	10,10 mm/s	1,9 m/s ²	59 um	27,0 hz
MP01T	2020-06-03 15:43:35	6,35 mm/s	0,8 m/s ²	51 um	19,0 hz
MP01V	2020-06-03 15:43:35	6,00 mm/s	0,9 m/s ²	40 um	23,0 hz
MP01L	2020-06-03 15:43:35	11,60 mm/s	1,8 m/s ²	92 um	22,7 hz
MP01V	2020-06-03 15:29:55	15,70 mm/s	2,7 m/s ²	95 um	25,7 hz
MP01T	2020-06-03 15:29:55	17,00 mm/s	3,2 m/s ²	120 um	22,1 hz
MP01L	2020-06-03 15:29:55	31,70 mm/s	5,4 m/s ²	231 um	24,3 hz
MP01T	2020-06-03 15:21:34	25,40 mm/s	3,9 m/s ²	185 um	25,4 hz
MP01V	2020-06-03 15:21:34	17,10 mm/s	2,9 m/s ²	113 um	22,2 hz
MP01L	2020-06-03 15:21:34	38,70 mm/s	5,8 m/s ²	290 um	21,3 hz
MP01L	2020-06-03 15:10:56	6,30 mm/s	0,9 m/s ²	50 um	20,9 hz
MP01T	2020-06-03 15:10:37	7,25 mm/s	0,9 m/s ²	51 um	21,8 hz
MP01V	2020-06-03 15:10:37	6,15 mm/s	1,0 m/s ²	44 um	22,6 hz
MP01L	2020-06-03 15:10:37	11,00 mm/s	1,7 m/s ²	88 um	19,6 hz
MP01L	2020-06-03 15:08:55	9,50 mm/s	1,2 m/s ²	74 um	22,1 hz
MP01V	2020-06-03 15:08:06	15,00 mm/s	2,5 m/s ²	89 um	24,7 hz
MP01T	2020-06-03 15:08:06	15,50 mm/s	2,9 m/s ²	100 um	29,0 hz
MP01L	2020-06-03 15:08:06	32,80 mm/s	5,2 m/s ²	216 um	25,8 hz
MP01L	2020-06-03 15:04:44	6,35 mm/s	1,0 m/s ²	49 um	19,9 hz
MP01V	2020-06-03 15:03:51	13,80 mm/s	2,1 m/s ²	97 um	22,4 hz
MP01L	2020-06-03 15:03:51	29,20 mm/s	4,1 m/s ²	220 um	23,6 hz
MP01T	2020-06-03 15:03:51	21,20 mm/s	2,7 m/s ²	139 um	23,3 hz
MP01T	2020-06-03 15:03:05	17,90 mm/s	2,8 m/s ²	131 um	25,7 hz
MP01V	2020-06-03 15:03:05	15,50 mm/s	2,9 m/s ²	100 um	23,8 hz

MP01L	2020-06-03 15:03:05	33,00 mm/s	4,9 m/s ²	235 um	21,8 hz
MP01V	2020-06-03 15:02:52	16,30 mm/s	2,9 m/s ²	101 um	25,5 hz
MP01T	2020-06-03 15:02:52	18,50 mm/s	2,9 m/s ²	125 um	23,4 hz
MP01L	2020-06-03 15:02:52	28,30 mm/s	4,9 m/s ²	209 um	23,6 hz
MP01V	2020-06-03 15:02:26	13,70 mm/s	2,7 m/s ²	87 um	24,5 hz
MP01T	2020-06-03 15:02:26	13,20 mm/s	2,1 m/s ²	88 um	23,1 hz
MP01L	2020-06-03 15:02:26	22,70 mm/s	4,4 m/s ²	151 um	25,8 hz
MP01T	2020-06-03 15:02:17	17,80 mm/s	2,4 m/s ²	128 um	22,6 hz
MP01V	2020-06-03 15:02:17	16,40 mm/s	2,8 m/s ²	109 um	23,4 hz
MP01L	2020-06-03 15:02:17	24,10 mm/s	3,5 m/s ²	180 um	23,9 hz
MP01L	2020-06-03 15:01:58	9,25 mm/s	1,6 m/s ²	55 um	26,6 hz
MP01V	2020-06-03 14:59:16	11,80 mm/s	2,1 m/s ²	73 um	23,4 hz
MP01T	2020-06-03 14:59:16	13,40 mm/s	2,1 m/s ²	103 um	20,8 hz
MP01L	2020-06-03 14:59:16	26,80 mm/s	5,1 m/s ²	228 um	18,2 hz
MP01T	2020-06-03 14:59:09	16,80 mm/s	2,1 m/s ²	115 um	22,7 hz
MP01V	2020-06-03 14:59:09	13,20 mm/s	2,1 m/s ²	89 um	23,1 hz
MP01L	2020-06-03 14:59:09	21,70 mm/s	3,6 m/s ²	187 um	22,9 hz
MP01V	2020-06-03 14:58:53	9,20 mm/s	1,6 m/s ²	63 um	22,6 hz
MP01T	2020-06-03 14:58:53	10,20 mm/s	1,8 m/s ²	77 um	20,9 hz
MP01L	2020-06-03 14:58:53	18,60 mm/s	3,3 m/s ²	157 um	22,2 hz
MP01L	2020-06-03 14:55:16	7,65 mm/s	1,3 m/s ²	61 um	22,3 hz
MP01T	2020-06-03 14:52:31	5,80 mm/s	0,9 m/s ²	47 um	20,5 hz
MP01L	2020-06-03 14:52:31	5,20 mm/s	0,7 m/s ²	41 um	20,2 hz
MP01T	2020-06-03 14:42:43	18,50 mm/s	3,2 m/s ²	107 um	27,6 hz
MP01V	2020-06-03 14:42:43	13,20 mm/s	2,7 m/s ²	81 um	25,9 hz
MP01L	2020-06-03 14:42:43	32,00 mm/s	5,4 m/s ²	188 um	26,3 hz
MP01T	2020-06-03 14:42:33	27,50 mm/s	4,6 m/s ²	205 um	26,5 hz
MP01V	2020-06-03 14:42:33	21,40 mm/s	3,5 m/s ²	152 um	23,4 hz
MP01L	2020-06-03 14:42:33	46,20 mm/s	6,6 m/s ²	356 um	20,4 hz
MP01T	2020-06-03 14:38:31	13,10 mm/s	2,1 m/s ²	86 um	24,2 hz
MP01V	2020-06-03 14:38:31	14,10 mm/s	2,7 m/s ²	91 um	24,9 hz
MP01L	2020-06-03 14:38:31	22,70 mm/s	4,4 m/s ²	144 um	24,8 hz
MP01V	2020-06-03 14:37:52	15,60 mm/s	2,5 m/s ²	98 um	23,9 hz
MP01T	2020-06-03 14:37:52	14,30 mm/s	2,1 m/s ²	104 um	21,8 hz
MP01L	2020-06-03 14:37:52	25,80 mm/s	3,9 m/s ²	193 um	22,0 hz

MP01V	2020-06-03 14:37:07	6,35 mm/s	1,0 m/s ²	46 um	23,2 hz
MP01V	2020-06-03 14:36:53	10,20 mm/s	1,7 m/s ²	67 um	24,3 hz
MP01T	2020-06-03 14:36:53	12,00 mm/s	1,9 m/s ²	96 um	24,9 hz
MP01L	2020-06-03 14:36:53	24,50 mm/s	4,0 m/s ²	204 um	22,6 hz
MP01T	2020-06-03 14:35:49	8,70 mm/s	1,1 m/s ²	69 um	19,8 hz
MP01L	2020-06-03 14:35:49	9,65 mm/s	1,6 m/s ²	71 um	23,1 hz
MP01T	2020-06-03 14:35:23	9,70 mm/s	1,3 m/s ²	85 um	19,5 hz
MP01L	2020-06-03 14:35:23	6,10 mm/s	0,9 m/s ²	65 um	16,0 hz
MP01L	2020-06-03 14:34:58	5,00 mm/s	1,0 m/s ²	35 um	30,9 hz
MP01T	2020-06-03 14:34:37	6,20 mm/s	1,0 m/s ²	42 um	20,5 hz
MP01L	2020-06-03 14:34:37	11,30 mm/s	1,4 m/s ²	84 um	22,0 hz
MP01L	2020-06-03 14:33:49	11,40 mm/s	1,5 m/s ²	80 um	23,2 hz
MP01T	2020-06-03 14:33:49	6,30 mm/s	1,0 m/s ²	53 um	19,9 hz
MP01V	2020-06-03 14:30:33	6,20 mm/s	1,2 m/s ²	40 um	25,7 hz
MP01T	2020-06-03 14:30:33	7,00 mm/s	1,4 m/s ²	45 um	27,1 hz
MP01L	2020-06-03 14:30:33	8,10 mm/s	1,5 m/s ²	48 um	27,2 hz
MP01L	2020-06-03 14:30:00	7,20 mm/s	1,3 m/s ²	60 um	15,3 hz
MP01V	2020-06-03 14:29:19	14,70 mm/s	2,4 m/s ²	109 um	22,3 hz
MP01T	2020-06-03 14:29:19	23,20 mm/s	3,3 m/s ²	151 um	23,5 hz
MP01L	2020-06-03 14:29:19	37,50 mm/s	5,4 m/s ²	243 um	24,1 hz
MP01T	2020-06-03 14:26:52	9,00 mm/s	1,3 m/s ²	65 um	22,8 hz
MP01V	2020-06-03 14:26:52	10,20 mm/s	1,7 m/s ²	69 um	23,1 hz
MP01L	2020-06-03 14:26:52	16,90 mm/s	2,9 m/s ²	133 um	22,7 hz
MP01V	2020-06-03 14:26:43	11,40 mm/s	1,9 m/s ²	88 um	22,4 hz
MP01T	2020-06-03 14:26:43	19,40 mm/s	2,9 m/s ²	143 um	25,5 hz
MP01L	2020-06-03 14:26:43	34,40 mm/s	5,1 m/s ²	242 um	23,8 hz
MP01T	2020-06-03 14:09:21	7,80 mm/s	1,1 m/s ²	58 um	24,3 hz
MP01V	2020-06-03 14:09:21	5,60 mm/s	0,9 m/s ²	42 um	22,7 hz
MP01L	2020-06-03 14:09:21	14,00 mm/s	2,4 m/s ²	106 um	23,7 hz
MP01V	2020-06-03 14:09:15	6,85 mm/s	1,2 m/s ²	51 um	22,6 hz
MP01L	2020-06-03 14:09:15	13,40 mm/s	2,1 m/s ²	99 um	24,3 hz
MP01T	2020-06-03 14:09:15	6,95 mm/s	1,2 m/s ²	51 um	27,2 hz
MP01L	2020-06-03 14:08:38	5,70 mm/s	0,7 m/s ²	51 um	17,4 hz
MP01L	2020-06-03 14:07:46	8,40 mm/s	1,2 m/s ²	57 um	24,7 hz
MP01V	2020-06-03 14:07:26	15,80 mm/s	2,7 m/s ²	118 um	22,1 hz
MP01T	2020-06-03 14:07:26	24,90 mm/s	3,6 m/s ²	176 um	25,9 hz
MP01L	2020-06-03 14:07:26	41,80 mm/s	6,3 m/s ²	275 um	23,9 hz
MP01T	2020-06-03 14:07:21	7,30 mm/s	1,2 m/s ²	50 um	26,3 hz
MP01L	2020-06-03 14:07:21	8,70 mm/s	1,8 m/s ²	45 um	36,1 hz
MP01T	2020-06-03 14:06:31	5,45 mm/s	1,1 m/s ²	47 um	31,1 hz
MP01L	2020-06-03 14:06:31	11,20 mm/s	2,1 m/s ²	81 um	28,1 hz
MP01T	2020-06-03 14:06:25	6,85 mm/s	1,1 m/s ²	57 um	23,7 hz
MP01L	2020-06-03 14:06:25	8,70 mm/s	1,4 m/s ²	85 um	21,8 hz

MP01L	2020-06-03 14:06:19	10,90 mm/s	2,6 m/s ²	71 um	31,6 hz
MP01L	2020-06-03 14:06:03	32,80 mm/s	5,5 m/s ²	206 um	26,8 hz
MP01V	2020-06-03 14:06:03	10,80 mm/s	1,9 m/s ²	76 um	23,1 hz
MP01T	2020-06-03 14:06:03	16,70 mm/s	2,9 m/s ²	99 um	26,9 hz
MP01T	2020-06-03 14:05:14	7,90 mm/s	1,3 m/s ²	60 um	22,2 hz
MP01V	2020-06-03 14:05:14	6,85 mm/s	1,1 m/s ²	52 um	23,0 hz
MP01L	2020-06-03 14:05:14	12,30 mm/s	2,4 m/s ²	89 um	20,6 hz
MP01T	2020-06-03 14:03:52	12,80 mm/s	1,7 m/s ²	87 um	22,8 hz
MP01V	2020-06-03 14:03:52	11,00 mm/s	1,8 m/s ²	70 um	24,4 hz
MP01L	2020-06-03 14:03:52	24,00 mm/s	3,4 m/s ²	170 um	22,5 hz
MP01V	2020-06-03 14:03:32	6,90 mm/s	1,1 m/s ²	50 um	22,8 hz
MP01T	2020-06-03 14:03:32	7,60 mm/s	1,1 m/s ²	56 um	24,3 hz
MP01L	2020-06-03 14:03:32	13,70 mm/s	2,5 m/s ²	101 um	23,8 hz
MP01V	2020-06-03 14:03:17	12,40 mm/s	1,9 m/s ²	88 um	22,4 hz
MP01T	2020-06-03 14:03:17	13,50 mm/s	1,7 m/s ²	91 um	21,6 hz
MP01L	2020-06-03 14:03:17	22,40 mm/s	3,3 m/s ²	176 um	23,4 hz
MP01V	2020-06-03 13:59:02	5,80 mm/s	1,1 m/s ²	36 um	26,8 hz
MP01L	2020-06-03 13:59:02	12,90 mm/s	2,4 m/s ²	83 um	27,1 hz
MP01T	2020-06-03 13:58:05	22,20 mm/s	3,4 m/s ²	169 um	25,1 hz
MP01V	2020-06-03 13:58:05	14,40 mm/s	2,7 m/s ²	105 um	23,6 hz
MP01L	2020-06-03 13:58:05	37,60 mm/s	5,6 m/s ²	273 um	23,8 hz
MP01L	2020-06-03 13:41:48	7,50 mm/s	1,4 m/s ²	45 um	29,4 hz
MP01T	2020-06-03 13:40:26	5,45 mm/s	0,9 m/s ²	49 um	18,4 hz
MP01L	2020-06-03 13:40:26	8,25 mm/s	1,3 m/s ²	64 um	22,3 hz
MP01V	2020-06-03 13:37:48	18,30 mm/s	3,2 m/s ²	137 um	22,9 hz
MP01T	2020-06-03 13:37:48	22,10 mm/s	3,6 m/s ²	148 um	26,7 hz
MP01L	2020-06-03 13:37:48	42,40 mm/s	6,6 m/s ²	276 um	24,5 hz
MP01V	2020-06-03 13:37:17	7,05 mm/s	1,1 m/s ²	53 um	21,7 hz
MP01T	2020-06-03 13:37:17	7,10 mm/s	1,0 m/s ²	55 um	20,4 hz
MP01L	2020-06-03 13:37:17	12,00 mm/s	1,8 m/s ²	85 um	24,2 hz
MP01V	2020-06-03 13:36:47	17,30 mm/s	2,8 m/s ²	125 um	22,7 hz
MP01T	2020-06-03 13:36:47	20,40 mm/s	2,6 m/s ²	141 um	21,4 hz
MP01L	2020-06-03 13:36:47	28,50 mm/s	4,4 m/s ²	229 um	23,1 hz
MP01V	2020-06-03 13:36:01	16,60 mm/s	2,7 m/s ²	98 um	24,5 hz
MP01T	2020-06-03 13:36:01	22,40 mm/s	4,5 m/s ²	129 um	30,3 hz
MP01L	2020-06-03 13:36:01	42,60 mm/s	7,5 m/s ²	269 um	29,9 hz
MP01T	2020-06-03 13:34:11	33,70 mm/s	4,9 m/s ²	263 um	23,9 hz

MP01V	2020-06-03 13:34:11	22,60 mm/s	3,4 m/s ²	165 um	23,2 hz
MP01L	2020-06-03 13:34:11	55,10 mm/s	8,6 m/s ²	423 um	21,3 hz
MP01V	2020-06-03 13:34:03	13,80 mm/s	2,1 m/s ²	86 um	24,2 hz
MP01T	2020-06-03 13:34:03	11,70 mm/s	1,7 m/s ²	84 um	22,7 hz
MP01L	2020-06-03 13:34:03	24,40 mm/s	3,9 m/s ²	167 um	23,7 hz
MP01V	2020-06-03 13:33:58	25,50 mm/s	4,0 m/s ²	192 um	22,5 hz
MP01T	2020-06-03 13:33:58	34,60 mm/s	5,0 m/s ²	240 um	22,9 hz
MP01L	2020-06-03 13:33:58	58,00 mm/s	8,5 m/s ²	470 um	20,9 hz
MP01V	2020-06-03 13:31:31	10,80 mm/s	1,8 m/s ²	82 um	21,8 hz
MP01T	2020-06-03 13:31:31	13,80 mm/s	1,5 m/s ²	104 um	20,0 hz
MP01L	2020-06-03 13:31:31	18,50 mm/s	3,0 m/s ²	159 um	19,0 hz
MP01V	2020-06-03 13:30:41	10,30 mm/s	1,6 m/s ²	68 um	22,7 hz
MP01T	2020-06-03 13:30:41	20,80 mm/s	2,6 m/s ²	148 um	21,8 hz
MP01L	2020-06-03 13:30:41	30,00 mm/s	4,7 m/s ²	229 um	24,3 hz
MP01V	2020-06-03 13:26:10	11,30 mm/s	1,6 m/s ²	73 um	23,5 hz
MP01T	2020-06-03 13:26:10	12,10 mm/s	2,1 m/s ²	96 um	20,4 hz
MP01L	2020-06-03 13:26:10	20,40 mm/s	4,3 m/s ²	116 um	34,8 hz
MP01V	2020-06-03 13:25:24	27,00 mm/s	4,2 m/s ²	202 um	22,8 hz
MP01T	2020-06-03 13:25:24	36,70 mm/s	4,8 m/s ²	251 um	22,9 hz
MP01L	2020-06-03 13:25:24	58,60 mm/s	8,5 m/s ²	488 um	20,5 hz
MP01V	2020-06-03 13:25:08	13,80 mm/s	2,1 m/s ²	96 um	22,5 hz
MP01T	2020-06-03 13:25:08	17,00 mm/s	2,1 m/s ²	127 um	20,7 hz
MP01L	2020-06-03 13:25:08	24,00 mm/s	4,3 m/s ²	193 um	24,1 hz
MP01V	2020-06-03 13:21:40	5,10 mm/s	2,7 m/s ²	32 um	27,1 hz
MP01L	2020-06-03 13:21:40	6,75 mm/s	1,1 m/s ²	46 um	23,8 hz
MP01V	2020-06-03 13:21:38	10,60 mm/s	1,6 m/s ²	68 um	23,1 hz
MP01T	2020-06-03 13:21:38	9,50 mm/s	1,8 m/s ²	63 um	26,1 hz
MP01L	2020-06-03 13:21:38	25,00 mm/s	4,8 m/s ²	155 um	26,3 hz
MP01L	2020-06-03 13:19:30	7,30 mm/s	2,5 m/s ²	55 um	22,8 hz
MP01T	2020-06-03 13:18:51	7,20 mm/s	1,5 m/s ²	48 um	29,4 hz
MP01L	2020-06-03 13:18:51	18,30 mm/s	3,4 m/s ²	104 um	28,2 hz
MP01T	2020-06-03 13:18:07	20,10 mm/s	2,7 m/s ²	140 um	20,8 hz
MP01V	2020-06-03 13:18:07	15,30 mm/s	2,2 m/s ²	114 um	20,3 hz
MP01L	2020-06-03 13:18:07	32,40 mm/s	5,9 m/s ²	229 um	23,9 hz
MP01V	2020-06-03 13:17:31	9,25 mm/s	6,3 m/s ²	79 um	32,5 hz

MP01T	2020-06-03 13:17:31	6,90 mm/s	4,8 m/s ²	52 um	38,0 hz
MP01L	2020-06-03 13:17:31	13,70 mm/s	4,0 m/s ²	98 um	22,3 hz
MP01V	2020-06-03 13:17:29	16,80 mm/s	2,5 m/s ²	126 um	22,8 hz
MP01T	2020-06-03 13:17:29	17,10 mm/s	2,5 m/s ²	124 um	20,9 hz
MP01L	2020-06-03 13:17:29	40,40 mm/s	7,8 m/s ²	323 um	24,0 hz
MP01T	2020-06-03 13:17:02	9,35 mm/s	1,1 m/s ²	75 um	19,4 hz
MP01L	2020-06-03 13:17:02	10,70 mm/s	1,9 m/s ²	81 um	24,7 hz
MP01T	2020-06-03 13:15:23	11,40 mm/s	1,7 m/s ²	78 um	19,3 hz
MP01V	2020-06-03 13:15:23	10,70 mm/s	4,3 m/s ²	79 um	22,1 hz
MP01L	2020-06-03 13:15:23	25,90 mm/s	4,4 m/s ²	157 um	26,4 hz
MP01V	2020-06-03 13:15:21	8,15 mm/s	1,8 m/s ²	40 um	29,1 hz
MP01T	2020-06-03 13:15:21	9,00 mm/s	2,4 m/s ²	51 um	32,1 hz
MP01L	2020-06-03 13:15:21	26,80 mm/s	5,9 m/s ²	178 um	27,3 hz
MP01T	2020-06-03 13:15:19	16,40 mm/s	3,2 m/s ²	103 um	21,8 hz
MP01V	2020-06-03 13:15:19	16,30 mm/s	3,2 m/s ²	102 um	24,9 hz
MP01L	2020-06-03 13:15:19	37,00 mm/s	7,2 m/s ²	233 um	26,4 hz
MP01T	2020-06-03 13:15:16	6,10 mm/s	1,2 m/s ²	49 um	23,1 hz
MP01V	2020-06-03 13:15:16	6,35 mm/s	1,3 m/s ²	39 um	30,0 hz
MP01L	2020-06-03 13:15:16	18,30 mm/s	3,5 m/s ²	104 um	30,9 hz
MP01L	2020-06-03 13:15:08	6,45 mm/s	1,2 m/s ²	44 um	25,8 hz
MP01V	2020-06-03 13:14:33	16,80 mm/s	3,1 m/s ²	123 um	21,3 hz
MP01T	2020-06-03 13:14:33	18,40 mm/s	3,1 m/s ²	141 um	20,8 hz
MP01L	2020-06-03 13:14:33	38,90 mm/s	7,0 m/s ²	266 um	23,1 hz
MP01L	2020-06-03 13:09:08	6,65 mm/s	1,1 m/s ²	48 um	23,0 hz
MP01V	2020-06-03 13:09:06	8,00 mm/s	1,3 m/s ²	54 um	23,9 hz
MP01T	2020-06-03 13:09:06	5,35 mm/s	1,1 m/s ²	44 um	19,0 hz
MP01L	2020-06-03 13:09:06	16,00 mm/s	3,5 m/s ²	106 um	27,8 hz
MP01T	2020-06-03 13:07:49	17,30 mm/s	2,9 m/s ²	89 um	29,4 hz
MP01V	2020-06-03 13:07:49	15,40 mm/s	3,5 m/s ²	109 um	24,5 hz
MP01L	2020-06-03 13:07:49	39,90 mm/s	8,0 m/s ²	257 um	24,6 hz

Liite 7 Laukaan koekappaleen annosraportti ja puristuslujuudet (salassa pidettävä)

Liite 8 Seppälän koekappaleiden annosraportti ja puristuslujuudet (salassa pidettävä)