



TEKNIikka JA LIIKENNE

Laboratorioala

Kemiallinen analytiikka

OPINNÄYTETYÖ

**FORCEQ-LAITTEEN VALIDOINTI
PYSTYSAUMABETONIN PUMPATTAVUUDEN TUTKIMISEEN**

**Työn tekijä: Asta Einistö
Työn ohjaajat: Pirjo Napari
Merja Vallasmaa
Max Laurén**

Työ hyväksytty: __. __. 2009

**Pirjo Napari
lehtori**



ALKULAUSE

Tämä opinnäytetyö tehtiin maxit Oy Ab:lle Ojakkalassa sekä osin Paraisilla. Mittaukset suoritettiin marras - joulukuussa 2008.

Haluan kiittää minua ohjanneita laboratorioteknikko Merja Vallasmaata sekä kehityspäällikkö Max Laurénia. Kiitos myös muille maxitin työntekijöille Ojakkalassa sekä Paraisten laboratoriossa. Haluan kiittää myös lehtori Pirjo Naparia työn valvonnasta ja ohjauksesta. Kiitos myös läheisilleni ja kavereille, jotka kannustivat työn kirjoittamisessa.

Vihdissä 24.4.2009

Asta Einistö

TIIVISTELMÄ

Työn tekijä: Asta Einistö	
Työn nimi: ForcEq-laitteen validointi pystysaumabetonin pumpattavuuden tutkimiseen	
Päivämäärä: 24.4.2009	Sivumäärä: 44 s. + 4 liitettä
Koulutusohjelma: Laboratorioala	Suuntautumisvaihtoehto: Kemiallinen analytiikka
Työn ohjaaja: Lehtori Pirjo Napari	
Työn ohjaajat: Laboratorioteknikko Merja Vallasmaa ja kehityspäällikkö Max Laurén	
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli tutkia soveltuuko maxit Oy:lle hankittu ForcEq-mittauslaite kuivabetonin laaduntutkimiseen. Laitteella on jo aikaisemmin mitattu lattiatasotteita.</p> <p>Opinnäytetyössä verrattiin ForcEq-laitetta laadunvalvonnan menetelmiin: seulonta, leviämä sekä vedenpidätyskyky. Näytteenä käytettiin pystysaumabetonia ja pakkaspystysaumabetonia. Näytteet olivat Ojakkalan kuivatuotetehtaan tuotannosta. Referenssinäytteet sekä muutama lisänäyte valmistettiin Ojakkalan ja Paraisten laboratorioissa. Mittaukset laitteella sekä leviämien mittaukset tehtiin Paraisilla. Muut mittaukset suoritettiin Ojakkalassa.</p> <p>Työssä tutkittiin, miten ForcEq-laitteen tulokset vastasivat käytössä olevien menetelmien tuloksia pumpattavuuden ominaisuuksien osalta. Tuloksia tarkasteltiin tilastollisesti: tarkkuus, systemaattinen virhe sekä toistettavuus ja täsmällisyys.</p> <p>Tulosten perusteella ForcEq-laite soveltuu parhaiten tuotteen hienouden ja lisäaineiden määrittämiseen. Laitteen tuloksia voidaan parhaiten verrata seulonnan ja leviämien tuloksiin. Koska pumpattavuutta mitataan samalla suureella kuin ForcEq-laite mittaa laastin vastusta, voidaan tuloksia mahdollisesti verrata suoraan toisiinsa, kunhan tulosten yhtenevyys on varmistettu koepumppauksella.</p> <p>Kaikkien laadunvalvonnan menetelmien mittausten tulokset olivat täsmällisiä. Missään menetelmässä ei myöskään havaittu merkitsevää systemaattista virhettä. Laadunvalvonnan menetelmät todettiin tarkoin. ForcEq-laitteelle ei voitu määrittää tarkkuutta, sillä laitteen tuloksille ei ole määritetty raja-arvoja.</p>	
Avainsanat: ForcEq, vedenpidätyskyky, leviämä, kuivabetonin seulonta, pystysaumabetoni	

ABSTRACT

Name: Asta Einistö	
Title: Validation of ForcEq-device for Vertical Joint Concrete's Pumping Qualities	
Date: 24 April 2009	Number of pages: 44 p. + 4 appendices
Department:	Study Programme:
Laboratory Sciences	Analytical Chemistry
Instructor: Pirjo Napari, Lecturer	
Supervisors: Merja Vallasmaa, Laboratory technician, maxit Oy Ab Max Laurén, Development Manager, maxit Oy Ab	
<p>This graduate study was carried out for maxit Oy Ab. The purpose of this study was to examine how dry concrete can be examined with the ForcEq-device. The aim was also to compare ForcEq-device results to results of quality control methods. These methods are water retention, sieve and flow table (15 strokes). Measurements were made in Ojakkala and Parainen.</p> <p>Experiment samples used vertical joint concrete and vertical joint frost concrete. Samples were from the production factory in Ojakkala. Reference samples were made from the laboratories in Ojakkala and Parainen.</p> <p>In the experiments, the results of the ForcEq-device were compared to the results of methods of quality control. All results of these methods were analysed statistically. The results were calculated to accuracy, bias, repeatability and precision.</p> <p>In the experiments it was discovered that the ForcEq-device's results best describe product fractions and the amount of additives. The results of the ForcEq-device were best comparable to the sieve results and to some parts of the flow table with 15 strokes. A resemblance between the ForcEq-device results and water retention percentage was not discovered. Concrete's pumping qualities are measured with the same quantity as the ForcEq-device measures concrete's resistance. That is why it is possible to compare results to each other as long as the congruity of the results has been verified with test-pumpings.</p> <p>All results to all methods were precise. There were good results in bias in all methods. The results of accuracy were good for all methods of quality control. Because there is no limit values to the ForcEq-device the accuracy was not evaluated.</p>	
Keywords: ForcEq, water retention, sieve, flow table, vertical joint concrete	

SISÄLLYS

ALKULAUSE

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 JOHDANTO	1
1.1 maxit Oy Ab.....	1
1.2 Työn tavoitteet.....	2
2 TYÖN TEORIA	3
2.1 Betoni.....	3
2.1.1 Yleistä betonista.....	3
2.1.2 Betonin koostumus.....	3
2.2 Betonin ja sementin luokittelu.....	7
2.2.1 Betonin luokittelu.....	7
Puristuslujuus.....	7
Rasitustekijät.....	8
2.2.2 Sementin luokittelu.....	9
2.3 Pystysaumabetoni.....	10
2.3.1 Pystysaumabetonin luokittelu.....	10
2.3.2 Pystysaumabetonin koostumus ja tärkeimmät ominaisuudet.....	11
2.3.3 Pystysaumabetonin käyttö.....	11
2.3.4 Pystysaumabetonin laadunvalvonta.....	12
2.3.5 Pystysaumabetonin laadunvalvonnan raja-arvot.....	12
2.4 Laadunvalvonnan menetelmät.....	13
2.4.1 Seulonta.....	13
2.4.2 Kiviaineksen humus- ja lietepitoisuus.....	13
2.4.3 Tuoremassakokeet.....	14
2.5 ForcEq.....	16
3 TYÖN TOTEUTUS	17
3.1 Näytteet.....	17
3.2 Laadunvalvonnan menetelmät.....	18
3.3 ForcEq-laitteen toimintaperiaate.....	20

4 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	21
4.1 ForcEq-laitteen tulokset	21
4.2 Eri menetelmien tulosten vertaaminen	24
4.3 Tuotantonäyte-erien poikkeavat tulokset	28
4.3.1 <i>Pystysaumabetoni ja pakkaspystysaumabetoni</i>	28
4.3.2 <i>Lisänäytteet</i>	31
4.4 Tarkkuus ja systemaattisen virheen merkitsevyys	34
4.4.1 <i>Tarkkuus</i>	35
4.4.2 <i>Systemaattisen virheen merkitsevyys</i>	37
4.5 Toistettavuus ja täsmällisyys	39
5 YHTEENVETO	42
VIITELUETTELO	44
LIITTEET	

LIITE 1 ForcEq-laitteen käyttöohje

LIITE 2 ForcEq-laitteen kuvaajat kaikille näytteille

LIITE 3 Pystysaumabetonin ja pakkaspystysaumabetonin tulokset kaikille menetelmille

LIITE 4 t-testien taulukot kaikille menetelmille kummallakin tuotteella

1 JOHDANTO

1.1 maxit Oy Ab

maxit Oy Ab on johtava mineraalipohjaisten rakennusmateriaalien valmistaja. maxit tarjoaa Kahi-, Leca- ja Vetonit- tuotteita sekä niihin perustuvia kokonaisratkaisuja uudis- ja korjausrakentamisen moninaiisiin tarpeisiin. Valikoimaan kuuluvat myös maxit Kivitalot. [1.]

maxit Oy Ab kuuluu kansainväliseen maxit Groupiin, joka taas on osa Saint-Gobain-konsernin rakennustuotesektoria. maxit Groupilla on toimintaa 30 maassa. Tehtaissa valmistetaan kuiva- ja kevytsoratuotteita sekä työmaakalustoja ja tehdaskokonaisuuksia. Suomessa maxitilla on 10 eri paikkakunnalla 12 tehdasta, joissa työntekijöitä on noin 390. [1.]

maxit Oy Ab on ISO 9001 -sertifioitu yritys. Eri tuotteiden laatuvaatimuksien mukaisuutta valvoo SFS-Inspecta Sertifiointi Oy. Ulkopuolisena koestuslaitoksena maxit käyttää VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan testauslaboratoriota tai muuta hyväksyttyä laitosta. maxit Oy Ab on ensimmäisten joukossa ottanut Suomessa käyttöön CE-merkinnän rakennusmateriaaleissa. CE-merkintä oikeuttaa tuotteen vapaaseen markkinointiin EU:n alueella. Kaikki maxitin sisäpinnoilla käytettävät tuotteet ovat saaneet Sisäilmayhdistys ry:n laatimien luokitusohjeiden mukaisen parhaan luokituksen M1. [1.]

maxit Vetonit -tuotteisiin kuuluvat erilaiset laastit, julkisivu- ja betoninkorjaustuotteet. Erilaisia tuotteita on yli 500, joita ovat muun muassa kuivabetonit ja -laastit, juotos- ja saumausbetonit, harmaat muurauslaastit, julkisivumuurauslaastit eli värilliset muurauslaastit, ruiskubetonit, korjauslaastit, rappauslaastit sekä lattiatuotteet. [1; 2.]

Kuivabetoneihin kuuluvat muun muassa Vetonit Kuivabetoni S 100 sekä Vetonit Sementtilaasti S 30. Niitä käytetään erilaisiin betonivaluihin. Juotosbetoneita löytyy eriluisia, ja niitä käytetään asennus-, saumaus- ja kiinnitysvaluihin. Saumausbetoneihin kuuluu Vetonit Pystysaumabetoni, jota käytetään betonielementtien pystysaumaukseen. Harmaisiin muurauslaasteihin kuuluvat Vetonit Muurauslaasti M 100/600, Vetonit Kahilaasti harmaa sekä Vetonit Harkkolaasti M 100/500. Näitä tuotteita

käytetään erilaisten tiilien sekä Leca-harkkojen muuraukseen. Julkisivumuurauslaastit ovat erivärisiä muurauslaasteja. Niitä käytetään kuten harmaita muurauslaasteja. Värvaihtoehtoja on useita erilaisia. Ruiskubetonit kuuluvat betoninkorjaustuotteisiin, ja niitä käytetäänkin betonirakenteiden korjaukseen ruiskuttamalla. Korjauslaasteihin kuuluvat Vetonit Silkobetonit sekä Vetonit REP-laastit. Vetonit Silkobetoneita käytetään silta-, satama- ja P-talojen valuihin. Vetonit REP-laasteja käytetään betonirakenteiden korjaukseen. Rappauslaasteihin kuuluu useita erilaisia käsi- tai konerappauslaasteja. Lattiatuotteista löytyy erilaisia pumpattavia tai käsin levitettäviä lattiatasoitteita. Lisäksi tuotevalikoimasta löytyy erilaisia laatoitus- ja vedeneristystuotteita. [2.]

1.2 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli tutkia uuden ForcEq-laitteen antamia tuloksia ja verrata niitä laadunvalvonnassa käytettyjen menetelmien tuloksiin. Tavoitteena oli myös tutkia ForcEq-laitteen soveltuvuutta kuivabetonin ominaisuuksien tutkimiseen. Mittauksissa käytettiin pystysaumabetonia sekä pakkaspystysaumabetonia, koska haluttiin tietää millaisia tuloksia ForcEq-laitteella saadaan pumpattavuudesta.

Tuotannon näytteiden lisäksi laitteella mitattiin lisänäytteitä. Tämän tarkoituksena oli selvittää lisäaineiden vaikutus ForcEq-laitteen ja laadunvalvonnan menetelmien tuloksiin. Samoin tutkittiin lentotuhkan ja Kiikalan hiekan, sekä erikoishiekan vaikutusta tuloksiin.

ForcEq-laitteen mittaamia tuloksia tuotannon näytteille verrattiin laboratoriossa valmistettuihin referenssinäytteisiin. Näiden tarkoituksena oli selvittää tuotannon vaikutus tuotteeseen. ForcEq-laitteen tuloksia sekä laadunvalvonnan menetelmien tuloksia tarkasteltiin tilastollisesti laskemalla niistä toistettavuus, täsmällisyys ja tarkkuus.

2 TYÖN TEORIA

2.1 Betoni

2.1.1 Yleistä betonista

Betoni säilyy hyvin erilaisissa ympäristöolosuhteissa. Betoninrakenteiden käyttöikään ja kestävyysvaikutteiden vaikuttavat sekä materiaalin että rakenteen ominaisuudet ja ympäristörasitukset. Käyttöikä rajoittavat pääasiassa:

- pakkas- tai pakkas-suolarasitus
- mekaaninen rasitus, kuten mekaaninen kulutus
- kemialliset rasitukset, kuten sulfaattien tai happamien liuosten vaikutukset sekä suolarasitus
- terästen korrosio tai karbonatisoituminen eli kemialliset reaktiot, jotka tapahtuvat ilman sisältämän hiilidioksidin tunkeutuessa betoniin. [3, s. 23]

Betonin etuna on, että sen tekninen käyttöikä voidaan mitoittaa suureksi, eikä sen kestävyttä tarvitse parantaa ympäristölle haitallisten suoja-aineiden avulla, vaan pääasiassa fysikaalisin keinoin. Tämä vähentää betonin ympäristökuormitusta. [3, s. 23]

2.1.2 Betonin koostumus

Kuivabetoni koostuu sementistä, runkoaineista ja lisäaineista. Valmista massaa saadaan sekoittamalla se sopivaan määrään vettä. Betonin ominaisuuksiin vaikuttavat ratkaisevasti runkoaineena käytetyn kiviaineksen ominaisuudet. [4, s. 35]

Hydrataatiokyky on sementin tärkein ominaisuus, eli sementti reagoi veden kanssa kovettumalla. Sementti on voimakkaasti emäksinen aine, ja sen reagoidessa veden kanssa syntyy muun muassa kalsiumhydroksidia. Tällöin massassa olevan huokoisveden pH nousee yli 13. Betonin korkea pH suojaa sen sisällä olevia raudotteita korroosiolta. [4, s. 34]

Suurin osa betonin ympäristövaikutuksista aiheutuu sementin valmistuksesta, kuten muun muassa raaka-aineiden jauhatuksesta ja poltosta. Keinoja sementin vähentämiseksi ilman, että betonin säilyvyys- ja kestävyysominaisuudet heikkenevät ovat

- notkistavan lisäaineen käyttö
- tasalaatuiset raaka-aineet
- toimiva laadunvalvonta ja tuotannonohjaus
- lentotuhkan tai masuunikuonan käyttö
- suuren maksimiraekoon ja optimaalisen raekäyrän käyttäminen runkoaineessa
- jäykemmän betonin käyttäminen.

Sementtiä voidaan korvata lentotuhkalla tai masuunikuonalla. Sementtiin verrattuna lentotuhkan tehokkuus sideaineena on noin 1/3 ja masuunikuonan noin 1. [3, s. 36 - 37]

Masuunikuona on raakaraudan tuotannon sivutuote. Masuunikuonajauhe on hienoksi jauhattua, granuloitua tai pelletoitua masuunikuonaa, jolla on piilevät hydrauliset ominaisuudet. Masuunikuonaa voidaan käyttää betonissa keinotekoisena kiviaineena tai betonin sideaineena rakennussementin kanssa. Granulointua masuunikuonaa käytetään nykyisin jo sementin valmistuksessa, jolloin sitä lisätään sementin joukkoon keskimäärin 10 %. Koko sideainemäärästä masuunikuonaa voi olla enintään 70 %. Masuunikuonajauheella voidaan vaikuttaa joidenkin betonien kestävyysominaisuuksiin, näistä tärkeimpänä pakkas-suolakestävyys. [3, s. 35; 5, s. 163 - 165]

Lentotuhkaa saadaan kivihiilivoimalaitosten sivutuotteena. Sitä käytetään betonissa sekä sideaineena että runkoaineen hienoainesosuudessa. Sementistä voidaan korvata 10 – 30 % lentotuhkalla. Suurempi määrä lentotuhkaa muuttaa betonin ominaisuuksia olennaisesti. [3, s. 35] A-luokan lentotuhkan tulee täyttää standardin SFS-EN 450 hehkutushäviövaatimus \leq 5 %. B-luokan tuhkan hehkutushäviövaatimus saa olla korkeintaan 7 %. [5,

s. 163] Lentotuhkan suuri hiilipitoisuus hidastaa betonin kovettumista ja vaikuttaa betonin lujuuteen heikentävästi.

Pakkasenkestävän betonin valmistuksessa tulee käyttää vain A-luokan lentotuhkaa, koska lentotuhka voi vaikeuttaa huomattavasti huokostusta. Ennakkoon tulee selvittää lentotuhkan vaikutukset huokostimeen sekä huolehtia betonimassan ilmamäärän mittaamisesta valupaikalla ja perusteellisesta jälkihoidosta. [5, s. 163]

Vesi-sementtisuhde on olennaisin asia, mikä vaikuttaa betonin lujuuteen. Sementtimäärää voidaan vähentää, kun käytetään vähemmän vettä. Notkistimen avulla saadaan haluttu notkeus pienemmällä vesimäärällä. Vedentarvetta saadaan pienemmäksi myös käyttämällä optimaalista raekäyrää ja maksimiraekooltaan suurta runkoainetta. [3, s. 37] Liian runsas vesimäärä betoniin verrattuna heikentää betonin lujuutta. Samoin jos vettä on liikaa, se erottuu laastin/betonin pinnalle ja kiviaines valuu pohjalle.

Runkoaineena käytetään murskattua tai valmista luonnon kiviainesta. Betonin valmistuksessa käytetään erirakeisia kiviaineita, joiden tulee täyttää sille asetetut vaatimukset. Kiviaines ei saa olla rapautunutta eikä sisältää aineita, jotka vaikuttavat huonontavasti betonin ominaisuuksiin. Tärkeimmät kiviaineksen ominaisuudet ovat rakeisuus, puhtaus ja kosteus. Muita mahdollisia runkoaineita ovat muun muassa kevytsora ja masuunikuona, joita käytetään silloin, jos halutaan betonirakenteesta kevyt. Nämä tekevät betonista hyvin tiivistyvää ja koossa pysyvää, ja betonissa voidaan käyttää mahdollisimman paljon runkoainetta ja vähän sementtiä. Suurin osa, noin 60 – 70 % betonin tilavuudesta on runkoainetta. [4; 6] Kuivabetonissa käytetään runkoaineena filleriä sekä kiviainesta. Fillerin raekoko on 0 – 0,3 mm, kun taas kiviaineksen raekoko on 0 – 10 mm. Pääasiassa laastien ja kuivabetonien raekoko on 0 – 4 mm.

Betonin lisäaineet ovat kemikaaleja, jotka vaikuttavat betonimassaan tai kovettuneen betonin ominaisuuksiin. Näitä ovat muun muassa notkistimet, huokostimet, kiihdyttimet, hidastimet, tiivistysaineet sekä vedenpidätykseen vaikuttavat lisäaineet. [3, s. 34; 4, s. 36]

Notkistimet ja nesteyttimet parantavat betonimassan muokattavuutta, ja niitä käytetään pääasiassa valmisbetoneissa, nestemäisissä betoneissa sekä korkealujuus- ja lattiabetoneissa. Notkistimet ja nesteyttimet ovat yleensä

synteettisiä, pitkäketjuisia orgaanisia yhdisteitä, joiden vaikutusmekanismi perustuu adsorboitumiseen sementtirakenteiden pinnalle, mikä aiheuttaa rakenteiden dispergoinnin. [3, s. 34; 4, s. 36]

Huokostimet tekevät betonin pakkasenkestävyyden. Pääkäyttökohteena ovat sään vaikutuksille alttiit rakenteet, kuten julkisivut, ulkoportaat, sillat sekä laiturit. Huokostimet alentavat veden pintajännitystä ja parantavat työstettävyyttä ja pumpattavuutta. [3, s. 34; 4, s. 36]

Kiihdyttimet nopeuttavat betonimassan kovettumista ja lyhentävät sitoutumisaikaa. Niitä käytetään pääasiassa kylmän ajan betonoinnissa ja betonielementeissä. Kiihdyttimet ovat yleensä helppoliukoisia epäorgaanisia suoloja, kuten klorideja, nitraatteja tai sulfaatteja. [3, s. 34; 4, s. 36]

Hidastimet hidastavat betonimassan sitoutumista ja kovettumista. Niitä käytetään yleensä kuumabetoneissa ja suurissa valuissa, joissa sitoutumisen halutaan alkavan vasta, kun koko rakenne on betonoitu. [4, s. 37]

Tiivistysaineet parantavat betonin tiiviyttä ja pienentävät nesteen- tai kaasunläpäisevyyttä. Niitä käytetään valmistettaessa korkeita lujuusluokkia tai erityistä tiiviyttä tai sään- tai korroosionkestävyyttä vaativia rakenteita. [4, s. 37]

Lähes kaikissa laasteissa ja betoneissa käytetään vedenpidätystä lisääviä lisäaineita. Näillä lisäaineilla saadaan lisättyä veden pysymistä laastissa/betonissa, jolloin vesi ei siirry helposti ympäröivään rakenteeseen. Jos laasti/betoni kuivuu liian nopeasti, tulee rakenteesta heikko ja se voi halkeilla.

2.2 Betonin ja sementin luokittelu

2.2.1 Betonin luokittelu

Betonit luokitellaan usean eri ominaisuuden mukaan. Betonit on lujuusluokiteltu niiden puristuskestävyyden mukaisesti. Samoin betonille on määritetty rasitusluokat ympäristöolosuhteiden mukaisesti. Betonit luokitellaan ryhmiin myös käyttöiän mukaisesti.

Betonit voidaan myös jakaa betoniperheisiin. Ne ovat betonikoostumuksia, joiden huomioon otettavien ominaisuuksien keskinäinen suhde on luotettavasti määritetty ja dokumentoitu. [5, s. 187]

Puristuslujuus

Kovettuneen betonin ominaisuutta arvostellaan tavallisesti sen puristuslujuuden perusteella. Puristuslujuus on yksi betonin tärkeimmistä ominaisuuksista ja se kuvaa jossain määrin myös muita betonin ominaisuuksia. [6, s. 33] Puristuslujuus mitataan siihen suunnitellulla laitteella. maxitilla käytössä olevien laitteiden valmistaja on Form+Test Prüfsysteme.

Betoni luokitellaan sen puristuslujuuden mukaisesti eri lujuusluokkiin (MN/m²). Käytössä olevat lujuusluokat ovat K 10, K 15, K 20, K 25, K 30, K 35, K 40, K 45, K 50, K 55, K 60, K 65, K 80, K 90, K 100. Merkintä tarkoittaa, että esimerkiksi K 15 -lujuusluokan betonin kuutiopuristuslujuus 28 vuorokauden ikäisenä on 15 MN/m². [6, s.33] Yleensä lujuudenarviointi-ikäenä käytetään 28 vuorokautta, mutta lujuus mitataan myös usein 1, 3 ja 7 vuorokauden kuluttua betoniprismojen valmistuksesta. maxitilla ovat käytössä prismamuotit, joilla valmistetaan 1600 mm x 40 mm x 40 mm kokoisia prismoja.

Rasitustekijät

Betonit jaetaan rasitusluokkiin eri rasitustekijöiden mukaan. Rakenteiden rasitusluokat jaetaan seuraavien rasitustekijöiden suhteen:

1. Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio
2. Kloridien aiheuttama korroosio
3. Merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio
4. Jäätymis-/sulamisrasitus
5. Kemiallinen rasitus

Rakenne voi kuulua samanaikaisesti useampaan rasitusluokkaan. [5, s. 86] Taulukossa 1 on esitetty rasitusluokat Betoninormit 2004 By 50:n mukaisesti.

Taulukko 1. Rasitusluokat

Ryhmä	Merkki	Ryhmän kuvaus
Ei korroosiota tai syöpymis-rasituksen riskiä	X0	Kuivien, lämmitettyjen sisätilojen betonit
Karbonatisoitumisen aiheuttama korroosio	XC1-XC4	Raudoitetut tai metalliosia sisältävät betonit, jotka ovat kosketuksissa ilman ja kosteuden kanssa
Kloridien aiheuttama korroosio	XD1-XD3	Raudoitetut tai metalliosia sisältävät betonit, jotka ovat kosketuksissa klorideja sisältävän veden kanssa, esim. jääpoistosuolat
Merivedessä olevien kloridien aiheuttama korroosio	XS1-XS3	Raudoitusta tai metalliosia sisältävät betonit, jotka ovat kosketuksissa merivedestä lähtöisin olevien kloridien kanssa
Jäätymis-/sulamisrasitukset	XF1-XF4	Betonit, joihin kohdistuu merkittäviä jäätymis-/sulamisrasituksia kosteuden lisäksi
Kemiallinen rasitus	XA1-XA3	Betonit, joihin kohdistuu maassa tai pohjavedessä esiintyvä kemiallinen rasitus

2.2.2 Sementin luokittelu

Betoniin käytettävä sementti luokitellaan seosaineiden ja lujuusluokkien mukaan. Klinkkerin ja seosaineiden suhteen perusteella rakennussementit jaetaan neljään tyyppiin:

- Portlandsementti (CEM I) sisältää seosaineita enintään 5 %.
- Portlandsementti A (CEM II A) sisältää seosaineita 6 – 20 %.
- Portlandseossementti B (CEM II B) sisältää seosaineita 21 – 35 %.
- Masuunisementti (CEM III) sisältää portlandklinkkeriä ja 36 – 80 % masuunikuonaa.

Rakennussementti jaetaan kolmeen lujuusluokkaan sen 28 vuorokauden puristuslujuuden perusteella. Jokaisessa lujuusluokassa on kaksi nopeusluokkaa, normaali ja nopea (R). Taulukossa 2 on esitetty sementtien luokkatunnukset ja lujuusvaatimukset. [6, s. 15]

Taulukko 2. Sementtiluokat ja niiden puristuslujuusvaatimukset [6, s. 15]

Lujuusluokkatunnus	Puristuslujuusvaatimus (MPa)		
	2 d	7 d	28 d
52,5 R	≥ 30		≥ 52,5
52,5	≥ 20		≥ 52,5
42,5 R	≥ 20		42,5 - 62,5
42,5	≥ 10		42,5 - 62,5
32,5 R	≥ 10	≥ 16	32,5 - 52,5
32,5			32,5 - 52,5

Sementtiluokat eroavat toisistaan lujuuden ja kovettumisnopeuden lisäksi myös muun muassa sitoutumisajan ja lämmönkehityksen perusteella. Lujuusluokan 42,5 sementit ovat eniten käytettyjä. Suomessa portland- ja portlandseossementit CEM I, CEM II A tai CEM II B ovat lujuusluokan 42,5 sementtejä. Niiden etuna on, että ne sopivat lähes kaikkiin betonointikohteisiin. Suomessa lujuusluokan 52,5 sementtejä ovat portland- ja portlandseossementit CEM I ja CEM II A. Niitä käytetään erityisesti korkealujuusbetoneissa. [6, s. 15]

Standardien mukaan sementeillä pitää käyttää tunnuksia, joista ilmenee sementin koostumus (tyyppitunnus), lujuusluokka (luokkatunnus) ja erikoisominaisuudet (lisätunnus). Taulukossa 3 ovat sementtilaatujen markkinointinimet ja tunnukset. [6, s. 16]

Taulukko 3. Sementtilaadut [6, s. 16]

Markkinointinimi	Tunnus
Megasementti	CEM I 52,5
SR-sementti	CEM I 42,5 SR
Pikaselementti	CEM II A 52 5 R
Rapidsementti	CEM II A 42,5 R
Yleissementti	CEM II B 42,5
Valkosementti	CEM I 52,5 R

2.3 Pystysaumabetoni

Pystysaumabetonia käytetään elementtien pystysaumojen saumojen täyttämiseen. Pystysaumabetoni pumpataan ruuvipumpulla saumoihin. Saamaa ei tarvitse tiivistää täryttämällä esimerkiksi tärysauvalla. Kun pystysaumabetoni on sitoutunut hieman saumassa, viimeistellään pinta teräslastalla. Sauma on sen jälkeen valmis seinän tasoitetoita varten. [7.]

Pystysaumabetonia voidaan käyttää myös seinäelementin asennuskolojen täyttämiseen sekä seinäelementtien ala- ja yläsaumojen tekoon sekä railojen, urien ja muiden kolojen täyttämiseen ilman muotitusta. [7; 8.]

2.3.1 Pystysaumabetonin luokittelu

Pystysaumabetoni kuuluu rasitusluokkaan XF1, sillä on 50 vuoden suunnittelukäyttöikä, jäädytys-sulatuskestävyyden osalta. Lujuusluokittelultaan pystysaumabetoni on K 40, eli tuotteen puristuslujuusluokka on pumpattuna K 40. Tällöin pystysaumabetoni kestää 40 MN:n puristuslujuuden yhtä neliometriä kohden. Pystysaumabetonista on myös talviversio, pakkaspystysaumabetoni, jota voidaan käyttää talviolosuhteissa maksimissaan -15 °C:ssa. Pakkaspystysaumabetonin luokitukset ovat samat kuin pystysaumabetonilla. Pakkaspystysaumabetonin lujuuden kehitys jatkuu vielä -15 °C:n pakkasessa ilman lämmitystoimenpiteitä. Taulukossa 4 esitetään pystysaumabetonin sekä pakkaspystysaumabetonien puristuslujuuksia eri aikojen kuluttua, sekä lämpötilan vaikutus betonien lujuuden kehittymiseen. [8; 9.]

Taulukko 4. Pystysaumabetonin ja pakkaspystysaumabetonin puristuslujuudet

Tuote	Valmistus lämpötila	Puristuslujuus (MPa)			
		1 d	3 d	7 d	28 d
Pystysaumabetoni	20 °C	15	25	30	40
	5 °C	5	15	20	30
Pakkaspystysaumabetoni	-5 °C	3	13	25	30
	-15 °C	1	4	10	20
	-15 °C 28 d + 20 °C 28 d				40

2.3.2 Pystysaumabetonin koostumus ja tärkeimmät ominaisuudet

Runkoaineena pystysaumabetonissa käytetään 0 – 4 mm:n luonnonhiekkaa ja sideaineena nopeasti kovettuvia portlandsementtejä. Pystysaumabetonissa käytetään työstettävyyttä, pumpattavuutta ja säänkestävyyttä parantavia sekä kutistumaa kompensoivia lisäaineita. Pystysaumabetonin lisäaineilla vaikutetaan myös sen vedenpidätyskykyyn. Näiden lisäksi pakkaspystysaumabetonissa on lujuuden kehitystä pakkasessa parantavia lisäaineita.

Pumpattavuus on yksi pystysaumabetonin tärkeimmistä ominaisuuksista. Pumpattavuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa laastin notkeus ja tekeytymisaika. Näihin taas vaikuttavat muun muassa laastin hienous sekä lisäaineet.

2.3.3 Pystysaumabetonin käyttö

Pystysaumabetoni pumpataan suoraan elementtien saumaan. Pystysaumojia ei tarvitse muotittaa ennen pumppausta. Pystysaumojen pumppaustekniikka tuo säästöä sekä muotituskustannuksissa että kovettuneen sauman vaatimissa jälkitöissä. [7.]

Sauman, johon pystysaumabetoni pumpataan, tulee olla puhdas, imukykyinen ja mieluiten karhennettu. Sauman leveyden tulisi olla vähintään 15 mm. Tarvittaessa voidaan käyttää tukilautoitusta, jos esimerkiksi sauma on molemmilta puolilta avoin. Massa sekoitetaan esimerkiksi ruuvisekoittajalla. Massa pumpataan sekoituksen jälkeen saumaan ja tasoitetaan teräslastalla. Sauma pysyy paikoillaan, kunhan on käytetty oikeaa vesimäärää massan valmistuksessa. Tuoreen massan käyttöikä on noin 30 minuuttia. Valmiita saumojia tulee pitää kosteana 2 – 3 vuorokautta. [8.]

2.3.4 Pystysaumabetonin laadunvalvonta

Jokaisen pystysaumabetonin tuotantoerän alussa otetusta näytteestä tehdään seulonta sekä tuoremassakokeet eli mitataan ilmapitoisuus, tilavuuspaino, leviämä ja vedenpidätys. Lisäksi valmista massaa otetaan mukiin, jolloin nähdään, kovettuuko tuote hyvin ja niin ettei vesi erotu pintaan. Pystysaumabetonista otetaan lisäksi näyte joka 30. suursäkistä, eli näytteitä tulee 30 tonnin välein. Niistä tarkastetaan vain seulonta.

Taivutusveto- ja puristuslujuusmittauksia varten valmistetaan prismat aina jokaista 200 tonnia kohden tai joka viidennestä valmistuserästä. Jäädytys-sulatuskoe tehdään pystysaumabetonille kerran vuodessa. Sääkokeessa tutkitaan, ettei tuote rapaudu pakkasessa, eli testataan tuotteen pakkasenkestävyyttä. Prismojen (2 kpl) annetaan olla sääkoneessa 100 sykliä, minkä jälkeen niistä mitataan taivutuslujuudet. Tuloksia verrataan samaan aikaan valmistettuun vertailukappaleeseen, joka on säilytetty saman ajan olosuhdekaapissa. Sääkoneessa olleiden prismojen taivutuslujuuksien tulee olla vertailukappaleen taivutuslujuudesta yli 67 %. Yhden syklin pituus on 8 tuntia, tänä aikana prisman lämpötila on sekä -20 °C että +20 C°. [10.]

2.3.5 Pystysaumabetonin laadunvalvonnan raja-arvot

Pystysaumabetonille ja pakkaspystysaumabetonille on määritetty laadunvalvonnan menetelmille raja-arvot. Kummallekin tuotteelle on omat raja-arvonsa, johtuen tuotteiden resepteistä. Leviämälle ei ole määritelty virallisia laadunvalvonnan raja-arvoja. Leviämän raja-arvot on asetettu sen mukaan, milloin tiedetään tuotteen olevan hyvä. Raja-arvot ovat taulukossa 5.

Taulukko 5. Laadunvalvonnan raja-arvot PSB:lle ja PPSB:lle

Menetelmä	Pystysaumabetoni		Pakkaspystysaumabetoni	
	Minimi	Maksimi	Minimi	Maksimi
Vedenpidätyskyky	92	95	89	94
Läpäisy (0,125 mm seula)	35	39	32	38
Leviämä	143	163	143	163
Ilmapitoisuus	6	10	6	10
Tilavuuspaino	2000	2200	2000	2200

2.4 Laadunvalvonnan menetelmät

2.4.1 Seulonta

Seulonnalla saadaan selville laastin/betonin reseptin mukaisuus tuotteen rakeisuuden osalta. Rakeisuudella tarkoitetaan kiviaineksen jakaantumista erikokoisiin rakeisiin. Kiviaineksen pitäisi olla mahdollisimman tasalaatuista, jotta sementin tarve olisi mahdollisimman pieni. Rakeisuus määritetään seulomalla kiviaineksesta hyvin edustava näyte normaaliseulasarjalla. Seuloilta lasketaan niille jääneiden kiviaineksen osien keskinäiset painosuhteet. [6, s. 19 - 20] Seulontalaitteisto koostuu pohjasta, kannesta ja verkkoseuloista, joiden silmäkoot ovat 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4 mm.

Yleensä seuloja, joiden silmäkoko on yli 4 mm, ei tarvita. Valmiit laastit seulotaan seuloilla 0,125 – 4 mm ja kiviaines yleensä seuloilla, joiden silmäkoot ovat 0,063 – 10 mm. Jokainen valmis laastierä seulotaan, jotta nähdään, että laastissa on kaikki fraktiot ja ainekset kohdallaan. Hienoimman seulan läpäisy on pääosin sementtiä, filleriä ja lisäaineita. Mikäli tuote on liian karkeaa tai liian hienoa, se ei toimi halutulla tavalla.

2.4.2 Kiviaineksen humus- ja lietepitoisuus

Kiviaineksen suuri humuspitoisuus voi vaikuttaa betonin ominaisuuksiin. Humuspitoisuus tutkitaan 3 % natriumhydroksidiliuoksella. Kiviainesta (2/3) ja NaOH-liuosta (1/3) sekoitetaan keskenään ja annetaan seistä vuorokauden. Liuoksen väriä verrataan väritaulukkoon. Liuos on kirkasta kun kiviaineksessa ei ole humusta, jos liuos taas on ruskeaa, sisältää kiviaines humusta. Humuspitoisuuden raja-arvot jaetaan asteikolla 0 – 4. Kiviaines, jonka humuspitoisuus on 0 – 2, täyttää laatuvaatimukset. Jos kiviaineksen humuspitoisuudeksi saadaan 3 – 4, ei kyseistä kiviaineserää voida käyttää betonin tai laastien valmistukseen, koska kiviaineksen suuri humuspitoisuus heikentää laastien ja betonien lujuutta. [6, s. 22; 10.]

Liete on kiviaineksen osa, jonka raekoko on alle 0,075 mm. Lieite on liejua tai savea ja se voi esiintyä kiviaineksessa rakeiden pinnalla olevana kalvona, isokokoisina kokkareina tai irrallisena jauheena. Lieite heikentää betonin lujuutta, jos se on kiviaineksen pinnalla. Samoin suuret savikokkareet muodostavat betoniin heikkoja kohtia. Lietepitoisuus määritetään 250 ml mittalasin ja veden avulla. Mittalasiin täytetään noin 100 ml vettä, minkä jälkeen sinne lisätään kiviainesta 100 ml. Vesi ja hiekka ravistellaan sekaisin, ja vettä lisätään asteikon yläreunaan. Näytteen annetaan seistä vuorokauden ja kiviaineksen lietepitoisuus (%) lasketaan kiviainespatsaan korkeuden ja lietekerroksen avulla käyttäen mittalasin asteikkoa. Lietepitoisuuden raja-arvo on korkeintaan 6 %. [6, s. 22 - 23; 10.]

2.4.3 Tuoremassakokeet

Tuoremassakokeissa tuotannon laasti-/betoninäytteestä tehdään valmista massaa sekoittamalla laastin/betonin vaatima vesimäärä näytteeseen. Tuoremassakokeissa näytteestä mitataan leviämä, tiheys, ilmapitoisuus ja vedenpidätys. Jokaiselle tuotteelle on omat raja-arvonsa.

Leviämä mitataan iskupöydällä. Valmiilla betonimassalla täytetään kartio (ylä-Ø 70 mm, pohja-Ø 100 mm, h 60 mm). Massa tiivistetään sulloimella, minkä jälkeen kartio nostetaan pois. Iskupöydän annetaan iskeä 15 kertaa, minkä jälkeen mitataan levinneen massan halkaisija mittaamalla ristimitta. Tulos ilmoitetaan millimetreinä laskemalla ristimittojen keskiarvo. Testimenetelmä on standardin PrEN 1015-3 mukainen. [10.]

Ilmapitoisuus mitataan ilmapitoisuusmittarilla. Samoin tiheys määritetään ilmapitoisuusmittarin alaosalla. Ilmapitoisuusmittarin alaosan tilavuus on litra. Punnitsemalla näytemassa mittarin alaosalla saadaan suoraan näytemassan tiheys g/l. Massan tiheys seuraa ilmapitoisuutta. maxitin Ojakkalan laboratoriossa noudatetaan standardia EN 1015-7 pienin poikkeuksin. [10.]

Vedenpidätyskyky mitataan standardin EN 1015-8 mukaisesti. Määrittämiseen tarvitaan kaksi pleksilevyä, suodatinpaperia (Whatman #3 4 kpl), harsokangasta (Ø noin 185 mm), muotti (kartiomainen, sisähalkaisijat Ø₁ 140 mm, Ø₂ 150 mm, korkeus 12 mm ±0,5 mm), vaaka (tarkkuus vähintään 0,1 g), paino (>2 kg) sekä sekuntikello (aika 5 min ± 5 s). Ensimmäiseksi punnitaan toinen pleksilevy ja neljä suodatinpaperia (m₁).

Suodatinpapereiden päälle asetetaan harsokangas sekä muotti, ja kokonaisuus punnitaan (m_2).

Muotti täytetään valmiilla betonimassalla, ja kokonaisuus punnitaan (m_3). Päälle asetetaan pleksilevy ja paino, ja otetaan 5 minuuttia aikaa. Tämän jälkeen rakennelma puretaan ja punnitaan alin pleksilevy ja suodatinpaperit (m_4). Näin saadaan selville papereiden imemä vesimäärä. Laskettaessa vedenpidätyskykyä huomioidaan laastin vesimäärä (v) prosentteina laastin painosta. Vedenpidätyskyky lasketaan kaavalla 1.

$$\text{Vedenpidätyskyky} = 100 \% - \left[\left(\frac{(m_4 - m_1)}{(m_3 - m_2) \cdot \frac{v}{100}} \right) \cdot 100 \% \right] \quad (1)$$

Saatu tulos pyöristetään lähimpään 0,1 %:iin. [10.]

Vedenpidätyskyvyn mittaamisen poikkileikkaus on esitetty kuvassa 1.

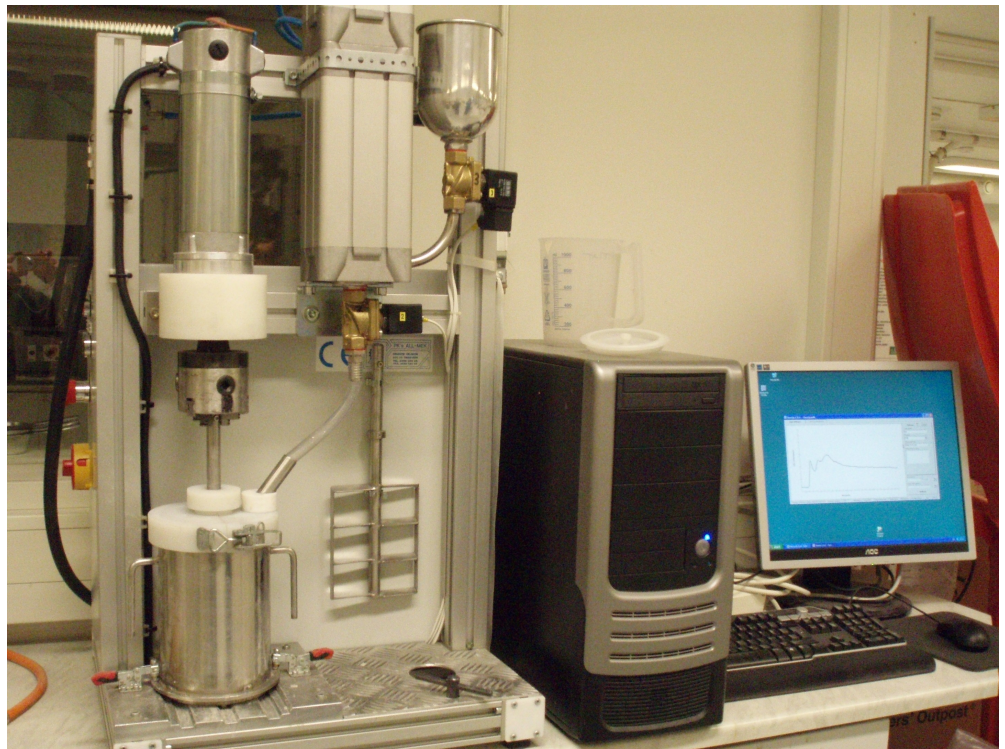


Kuva 1. Vedenpidätyskyvyn mittaaminen 1. Pleksilevy, 2. Muotti, 3. Laasti, 4. Harsokangas, 5. Suodatinpaperit

2.5 ForcEq

ForcEq-mittauslaite on Cementa Research AB:n valmistama laite. Cementa Research AB on ruotsalainen yhtiö, joka myy analyysi- ja tietopalvelua erilaisille liiketoiminta-aloille. Yhtiön tarkoituksena on suorittaa konsultointipalveluita, analyyssejä sekä luoda tietotuntemusta koskien tuotteen valvontaa, tuotteen kehitystä, laatu- ja ympäristötekniikoita sekä teollisen valmistuksen kehitystä. [11.]

ForcEq-laitteen päätarkoitus on määrittää sekoitusominaisuuksia lattiatasoiteille ja laasteille. Kytkemällä laite kiinni tietokoneeseen, saadaan mitattua sekoitukseen tarvittava voima sekä aika, joka kuluu kun näyte sekoittuu kunnolla. Laitteella on oma sekoitin hienommille ja karkeammille tuotteille. Sekoittimella S voidaan sekoittaa lattiatasoiteita, joiden raekoko on korkeintaan 1 mm, sillä sekoittimen ja sekoituskulhon väliin jää 2 mm:n väli. Sekoittimella B voidaan sekoittaa karkeampia laasteja, joiden raekoko on maksimissaan 4 mm, sillä tällöin sekoittimen ja sekoituskulhon väliin jää 5 mm:n väli. Sekoitettavan näytteen tilavuus ei saa olla yli 1,5 litraa. [12.]



Kuva 2. ForcEq-laite

3 TYÖN TOTEUTUS

Mittaukset suoritettiin maxit Oy:n laboratoriossa Ojakkalassa ja Paraisilla. ForcEq-laite sijaitsi Paraisilla, joten mittaukset laitteella suoritettiin Paraisilla neljänä eri päivänä. Muut mittaukset suoritettiin Ojakkalan laboratoriossa. Näytteet saatiin Ojakkalan tehtaan tuotannosta, sekä muutamia näytteitä valmistettiin laboratoriossa Ojakkalassa, kuten muun muassa referenssinäytteet.

3.1 Näytteet

Pystysaumabetonista (PSB) sekä pakkaspystysaumabetonista (PPSB) otettiin näytteet jokaisen ajon alusta ja sen jälkeen joka 30. tonni. Näistä näytteistä tutkittiin kaikista seulonta ja vedenpidätyskyky Ojakkalassa. Tämän jälkeen näytteet kerättiin odottamaan Paraisilla suoritettavia mittauksia, missä niistä mitattiin vastus ForcEq-laitteella sekä leviämä iskupöydällä.

Tuotannon reseptien mukaiset referenssinäytteet valmistettiin Ojakkalan laboratoriossa, missä niistä mitattiin vedenpidätyskyky sekä tutkittiin seulonta. Leviämä sekä mittaukset ForcEq-laitteella suoritettiin Paraisilla. Referenssinäytteitä valmistettiin sekä pystysaumabetonille että pakkaspystysaumabetonille kummallekin viisi. Näin saatiin näytteitä, joissa ei ollut mahdollista tuotannosta johtuvaa virhettä.

Pystysaumabetonista oli aikaisemmin syksyllä valmistettu erä erikoishiekalla, ja tästä erästä otettiin viisi näytettä, joita verrattiin toisiinsa sekä tuotannon näytteisiin.

Ruiskureppiä on käytetty aikaisemmin pystysaumabetonina niissä työkohteissa, joissa vaadittava lujuusluokitus oli K 40. Aikaisemman pystysaumabetonin lujuusluokka oli K 30, kun taas ruiskurepin lujuusluokka on K 40. Nykyisen pystysaumabetonin lujuusluokka on K 40, joten ruiskurepillä ei tarvitse korvata pystysaumabetonia. Ruiskurep eroaa pystysaumabetonista sen sisältämien kuitujen osalta, sekä hieman karkeammalta koostumukseltaan. Ruiskurep-näytteiden määrä oli kaksi.

Paraisten laboratoriossa valmistettiin pystysaumabetonista näytteet, joissa oli lentotuhkaa, näistä yksi oli ilman lisäaineita. Samoin yksi

pystysaumabetoninäyte valmistettiin käytössä olevan reseptin mukaan ilman lisäaineita. Näin saatiin tutkittua, miten lisäaineet vaikuttavat tuloksiin. Yksi näyte valmistettiin Kiikalan hiekasta. Kiviaineksen tilalla käytettiin Kiikalan hiekkaa, jotta saatiin selville, onko Kiikalan ja Ojakkalan hiekoilla eroa.

Taulukossa 6 ovat kaikki lisänäytteet ja niiden lukumäärä sekä näytteiden tarkoitus mittauksissa. Taulukossa esitetyistä näytteistä määritettiin leviämä, vedenpidätyskyky, seulonta sekä sekoitusenergia ForcEq-laitteella.

Taulukko 6. Lisänäytteet, niiden lukumäärät ja näytteiden tarkoitukset

Näyte	Lkm	Tarkoitus
PSB	5	Referenssi
PPSB	5	Referenssi
PSB Erikoishiekka	5	Hiekan vaikutuksen tutkiminen
Ruiskurep	2	Aiemmin käytetty K 40 vaadituissa kohteissa PSB:n tilalta
PSB ilman lisäaineita	1	Lisäaineiden vaikutuksen tutkiminen
PSB + lentotuhka	2	Lentotuhkan vaikutuksen tutkiminen
PSB + lentotuhka ilman lisäaineita	1	Lisäaineiden vaikutuksen tutkiminen
PSB Kiikalan hiekka	1	Hiekan vaikutuksen tutkiminen

3.2 Laadunvalvonnan menetelmät

Pystysaumabetonin ja pakkaspystysaumabetonin näytteille tehtiin kaikki testit, mitkä yleensäkin ovat käytössä:

- Seulonta
- Leviämä
- Vedenpidätyskyky
- Ilmapitoisuus ja tilavuuspaino tuotantosarjan ensimmäisille näytteille.

Näitä tuloksia verrattiin ForcEq-laitteella saatuihin tuloksiin. Tuloksista tulkittiin, mitä tietoja ForcEq-laitteella saadaan tuotteesta. Samoin tuloksista analysoitiin, mitkä menetelmät antavat tasaisia tuloksia ja mitkä menetelmät antavat tuloksia, jotka poikkeavat toisistaan ilman selkeää selitystä asialle. Jokaiselle menetelmälle määritettiin toistotarkkuus referenssinäytteiden tulosten perusteella. Näin saatiin tutkittua, voidaanko käytössä olevia menetelmiä pitää luotettavina.

Vedenpidätyskykyä on pidetty yhtenä tärkeänä ominaisuutena, joka vaikuttaa tuotteen ominaisuuksiin, muun muassa pumpattavuuteen. Vedenpidätyskyvyllä saadaan selville myös, ovatko tuotteessa lisäaineet oikeassa suhteessa.

Seulonta eli rakeisuuden määrittäminen suoritettiin Fritsch Analysette 3 Pro – seulalaitteella. Seulan, jonka silmäkoko on 0,125 mm, läpäisystä saadaan selville tuotteen sementti-, filleri- ja lisäainemäärä. Tähän 0,125 mm:n seulan läpäisyprosenttiin lisäaineiden määrän vaikutus on kuitenkin lähes merkityksetön. Sementin määrä vaikuttaa pystysaumabetonissa muun muassa pumpattavuuteen.

Leviämä mitataan iskupöydällä. Tällöin saadaan mitattua, onko tuotteen notkeus hyvä. Jos tuote on liian jäykkää, on siihen sekoitettu liian vähän vettä, tai sen koostumus ei ole oikea. Leviämällä saadaan tietoa myös siitä, onko tuote pumpattavaa.

Tuoremassakokeita varten pystysaumabetonia tai pakkaspystysaumabetonia sekoitettiin Hobart-sekoittajalla aina yhden minuutin ajan, jolloin tulokset pysyvät vertailukelpoisina.

Mitattaessa vedenpidätyskyky Ojakkalan laboratoriossa, vesimäärä pystysaumabetonille oli 14 % ja pakkaspystysaumabetonille oli 12,5 %. Paraisilla ForcEq-laitteen mittauksissa käytettiin pystysaumabetonille vesimäärää 14 % ja pakkaspystysaumabetonille 13 %. Leviämää mitattaessa oli nämä samat vesimäärät, sillä leviämä mitattiin ForcEq-laitteen sekoittamasta massasta. Vesimäärää muutettiin pakkaspystysaumabetonille ForcEq-laitteen mittauksiin, sillä vesimäärällä 12,5 % massasta ei tullut tarpeeksi notkeaa.

3.3 ForcEq-laitteen toimintaperiaate

ForcEq-laitteesta selvitetiin, millaisia tuloksia laitteesta saadaan karkeammille tuotteille. Tuloksista tulkittiin, miten ne ovat verrattavissa laadunvalvonnan menetelmien tuloksiin, ja mitä tietoa laitteella saadaan pumpattavuudesta.

Aiemman tiedon mukaan pystysaumabetonia ja pakkaspystysaumabetonia punnitaan laitteen sekoituskulhoon 1,7 kg. Tällöin massan tilavuus ei ylitä sallittua 1,5 litran tilavuutta. Vettä punnittiin tarvittava määrä, eli pystysaumabetonille 14 % ja pakkaspystysaumabetonille 13 %. Mittausaika oli 60 sekuntia ja viive vedenlisäykselle oli 5 sekuntia. Laitteen manuaalin perusteella laadittu käyttöohje on liitteessä 1.

ForcEq-laite mittaa sekoitukseen tarvittavan virran (I). Sähköverkosta otettu jännite (U) sekä sekoitusaika (t) ovat vakioita. Moottorin sekoittamiseen käyttämä sähköenergia (E) kasvaa, kun näyte vastustaa sekoitinta, jolloin sähkövirta kasvaa (kaava 2).

$$E = UIt \quad (2)$$

$$\frac{E}{t} = UI \quad \text{missä} \quad E = \text{sähköenergia (joule, J)}$$

$$U = \text{jännite (voltti, V)}$$

$$I = \text{sähkövirta (ampeeri, A)}$$

$$t = \text{aika (sekunti, s)}$$

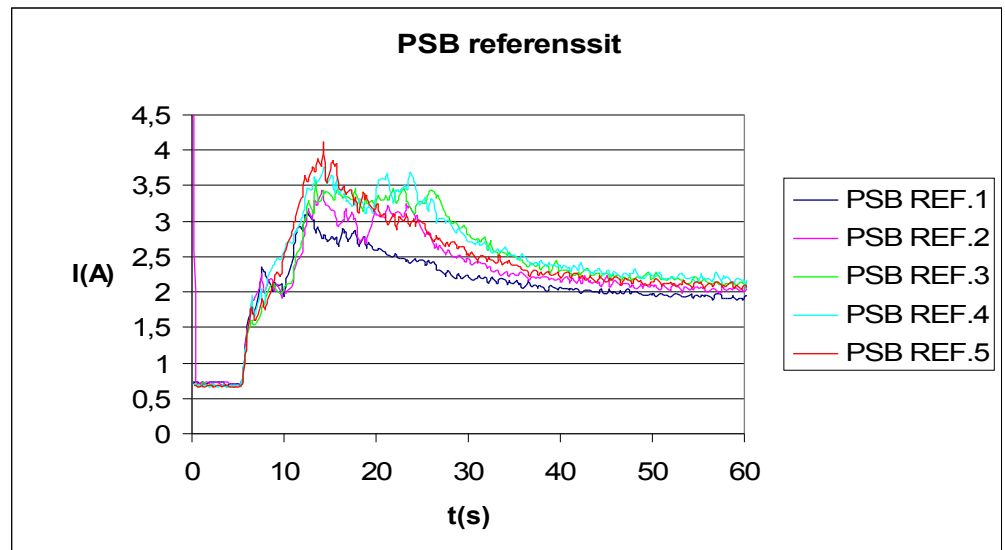
ForcEq-laitteen tulokseksi saadaan näytemassan sekoittamiseen tarvittavan sähkövirran muutokset, ja yksikkö on ampeeri (A). ForcEq-laitteella selvitetään massan antama vastus sekoittimelle. Betonien pumppausta pystytään tutkimaan myös sähkövirran avulla.

4 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELO

4.1 ForcEq-laitteen tulokset

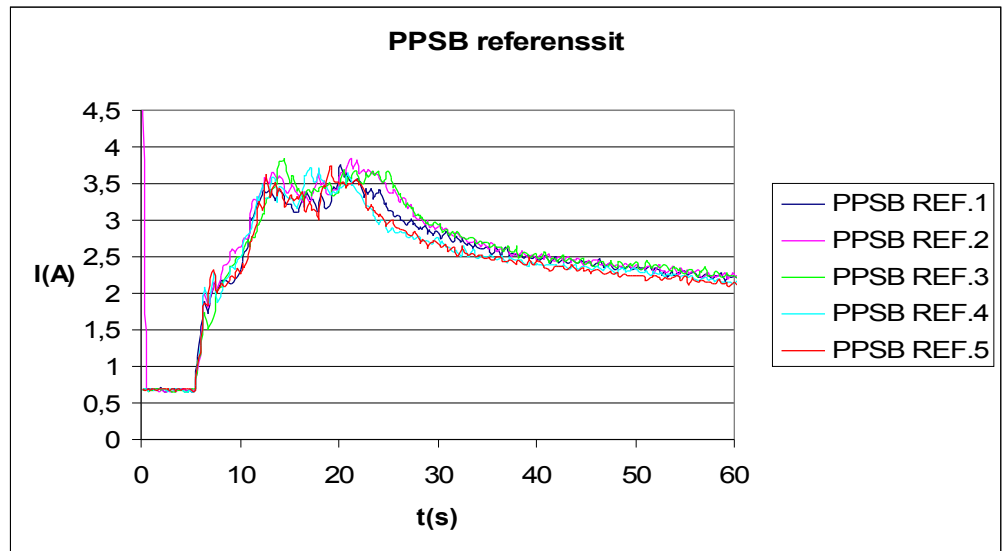
ForcEq-laitteella mitattiin laastin tekeytymisestä aiheutuva vastus. Laite mittasi sekoittimen vastusta minuutin ajan, 5 sekunnin kohdalla laastin joukkoon lisättiin vesi. Vedenlisäyksen jälkeen laastin aiheuttama vastus kasvoi, jolloin laitteen mittaama sähkövirta kasvoi. Suurin sähkövirta saavutettiin sekoitusajan ollessa 9 – 22 s. Tuotantonäytesarjojen jokaisen näytteen kuvaajat ovat liitteessä 2.

ForcEq-laitteen mittausten hajontaa tarkasteltiin vertaamalla referenssinäytteiden kuvaajia keskenään (kuvat 3 ja 4). Täsmällisyyttä tarkastellaan myöhemmin tilastollisesti laadunvalvonnan menetelmille sekä ForcEq-laitteen tuloksille referenssinäytteiden avulla. Kuvassa 3 ovat pystysaumabetonin referenssinäytteiden kuvaajat, ja kuvassa 4 pakkaspystysaumabetonin referenssinäytteiden kuvaajat.



Kuva 3. Pystysaumabetonin referenssinäytteiden kuvaajat

Kuvan 3 mukaan pystysaumabetonin referenssinäytteiden kuvaajat poikkeavat toisistaan hieman. Kolme referenssinäytteiden kuvaajista on samanmuotoiset ja samankaltaiset. Kaksi näytteistä on samanmuotoisia mutta niiden vastuksien arvoissa on melko suuri ero.

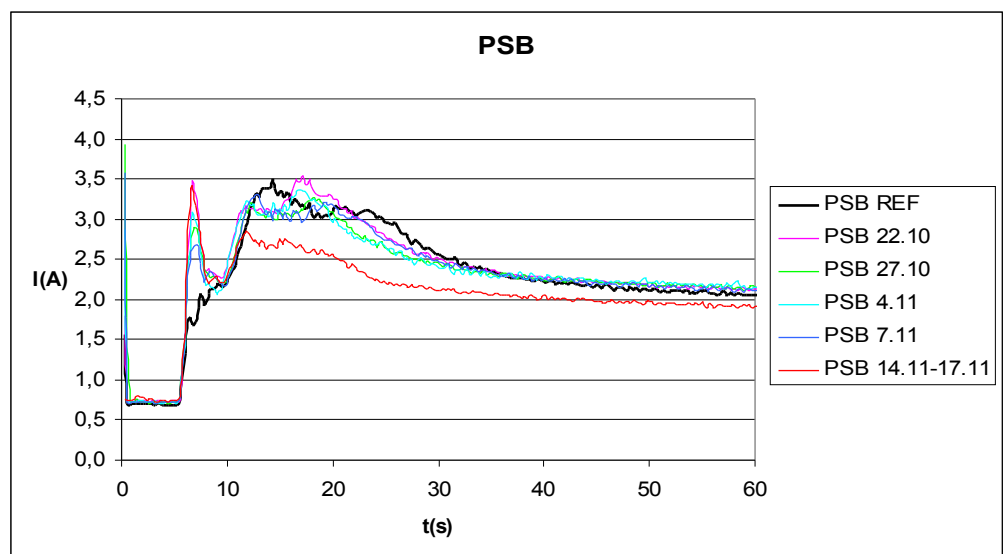


Kuva 4. Pakkaspystysaumabetonin referenssinäytteiden kuvaajat

Pakkaspystysaumabetonin referenssinäytteiden kuvaajat ovat lähes samanlaisia (kuva 4). Kuvaajat eivät poikkea toisistaan huomattavasti.

Referenssinäytteiden kuvaajien perusteella ForcEq-laitteella mitattaessa samanlaisten näytteiden hajonta ei ole suurta. Kuvaajien lisäksi tarkasteltiin sähkövirran keskihajontoja sekä PSB:lle ja PPSB:lle (toistettavuus ja täsmällisyys).

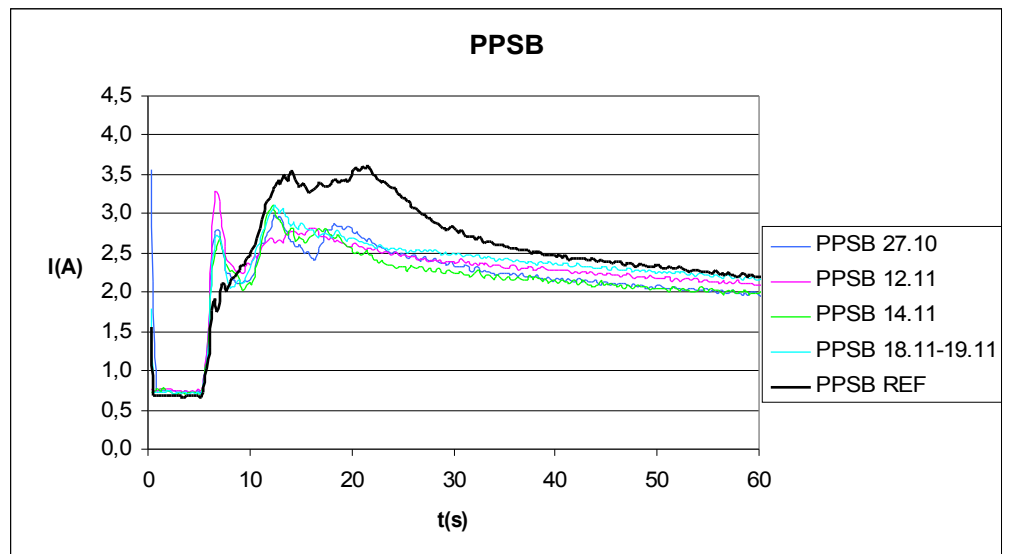
Tuotantonäytesarjojen näytteille laskettiin keskiarvokäyrät ja niitä verrattiin referenssinäytteiden keskiarvokuvaajaan (kuva 5).



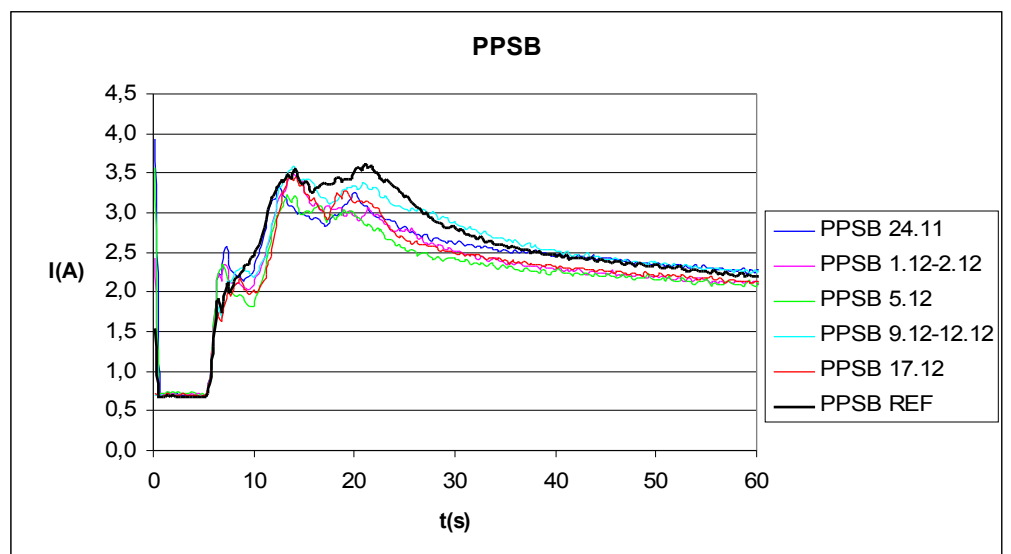
Kuva 5. Tuotantonäytesarjojen keskiarvokuvaajien vertailu referenssinäytteiden keskiarvokuvaajaan

Heti vedenlisäyksen jälkeen laitteen virta kasvaa nopeasti kaikilla tuotantonäytteillä. Referenssinäytteiden virta kasvaa tasaisesti ja saavuttaa suurimman arvonsa suunnilleen samaan aikaan kuin tuotantonäytteet. Suurimmalla osalla tuotantonäytesarjoista virran arvo on pienempi kuin referenssinäytteillä, joten tuotantonäytteet olisivat tämän mukaan notkeampia.

Pakkaspystysaumabetonin tuotantonäytteiden ja referenssien keskiarvokuvaajat ovat kuvissa 6 ja 7.



Kuva 6. Tuotantonäytesarjojen vertailu referenssinäytteisiin



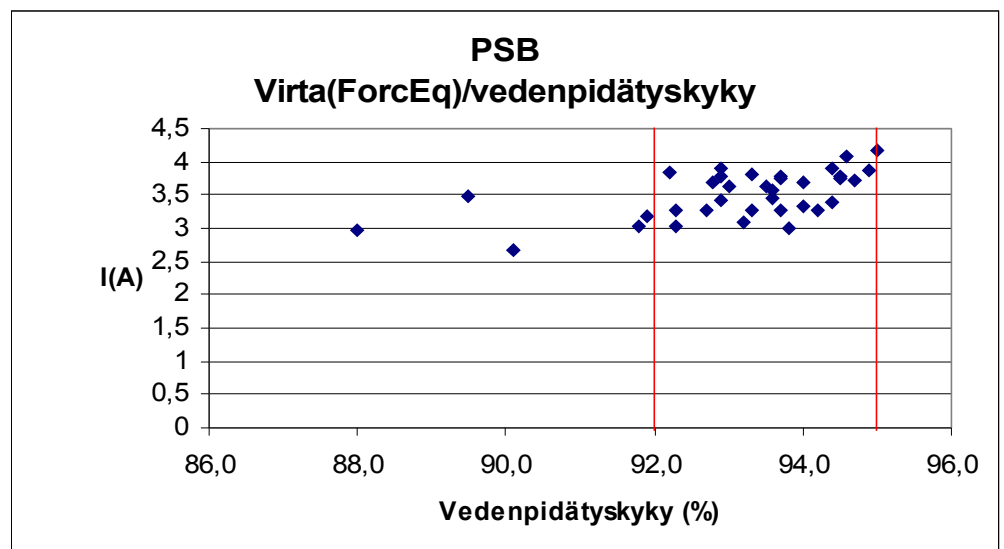
Kuva 7. Tuotantonäytesarjojen vertailu referenssinäytteisiin

Tuotantonäytteiden vastus kasvaa pakkaspystysaumabetonillakin nopeasti heti vedenlisäyksen jälkeen (kuvat 6 ja 7). Kaikkien tuotantonäytteiden osalta ForcEq-laitteen käyttämä virta oli pienempi kuin referenssinäytteillä.

4.2 Eri menetelmien tulosten vertaaminen

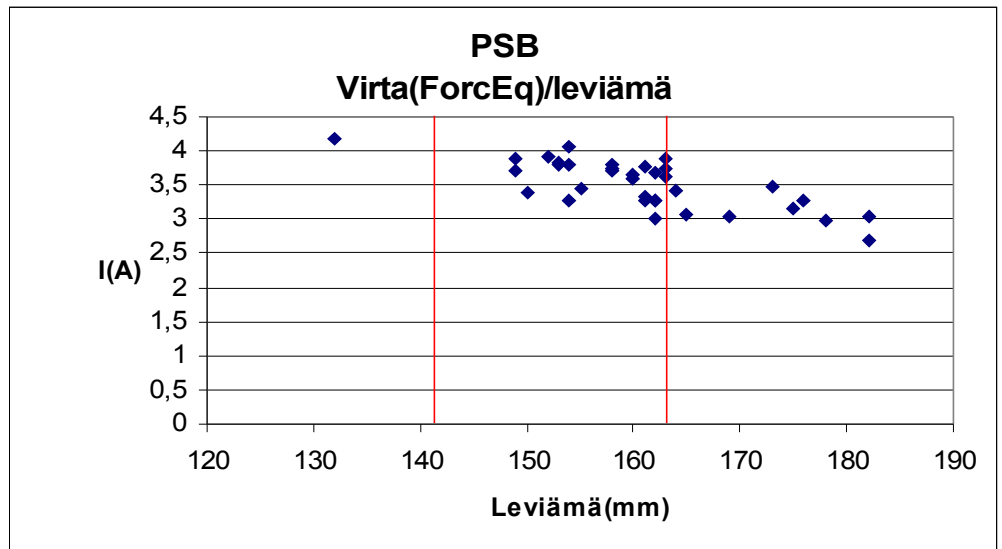
ForcEq-laitteen tuloksia verrattiin laadunvalvonnan menetelmien tuloksiin. Näin saatiin testattua, soveltuuko ForcEq-laite kuivabetonin ominaisuuksien tutkimiseen.

Pystysaumabetonille ForcEq-laitteen tulokset verrattuna muihin menetelmiin ovat kuvissa 8 - 10, kuviin on merkitty punaisilla viivoilla vedenpidätyskyvylle ja 0,125 mm:n seulan läpäisylle sekä leviämälle laadunvalvonnan rajat.



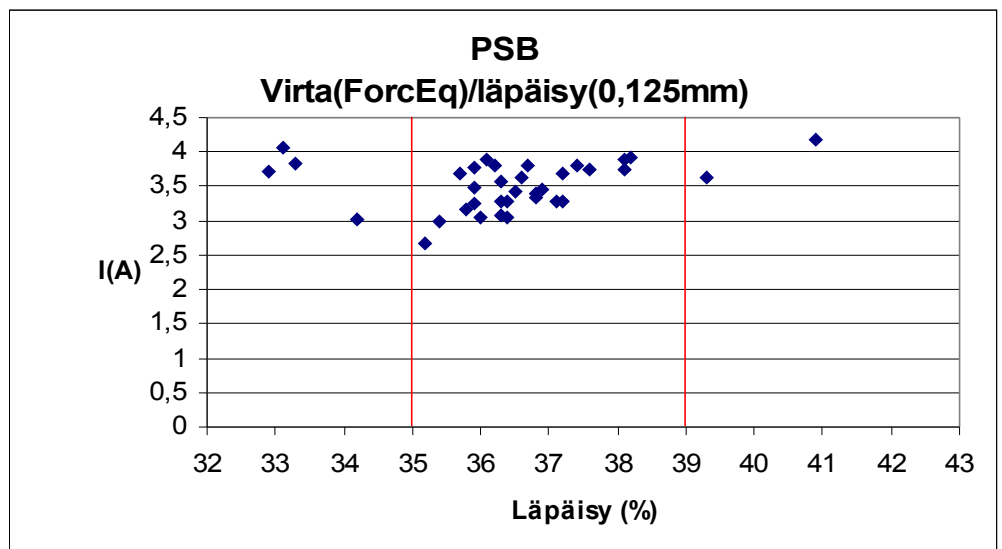
Kuva 8. ForcEq-laitteen suurin vastus suhteessa vedenpidätyskykyyn

Kuvasta 8 todetaan, että vedenpidätyskyvyn kasvaessa ForcEq-laitteen virta kasvaa hieman. Vedenpidätyskyvyn 88,0 ja 89,5 ovat laboratorioissa valmistettujen ilman lisäaineita olevien referenssin sekä lentotuhkaversion tuloksia. Tulos 90,1 on tuotantonäytesarjan 14.11.2008 – 17.11.2008 ensimmäinen näyte. Tämän tuotantosarjan alhaiset vedenpidätyskyvyn arvot (90,1; 91,9; 91,8 ja 92,3) johtunevat hieman karkeasta 0,125 mm:n seulan läpäisyprosentista.



Kuva 9. ForcEq-laitteen suurin vastus suhteessa leviämään

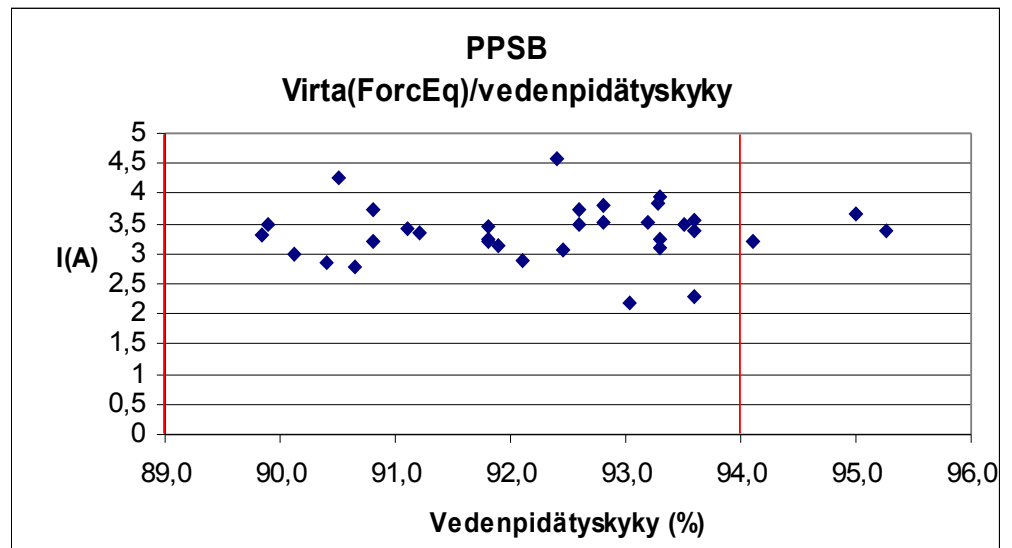
Kuvasta 9 todetaan, että leviämän kasvaessa ForcEq-laitteen suurin virta pienenee hieman. Pienimmän leviämän antava näyte on 15.9.2008 valmistetun erikoishiekkasarjan kolmas näyte. Tämän tuote oli seulan 0,125 mm läpäisyiltä hienoa sekä sen vedenpidätyskyky oli ylärajalla, joten tuotteen poikkeavat arvot johtunevat sen hienoudesta. Suurimmat leviämäarvot antavat lisäaineettomat PSB-näytteet sekä 14.11.2008 – 17.11.2008 valmistetun sarjan näytteet. Tuotannon 14.11.08 – 17.11.08 valmistetun näytteiden 0,125 mm seulan läpäisyprosentit olivat hieman karkeita, mistä suuret leviämän arvot todennäköisesti johtuivat.



Kuva 10. ForcEq-laitteen suurin vastus suhteessa 0,125 mm:n seulan läpäisyyn

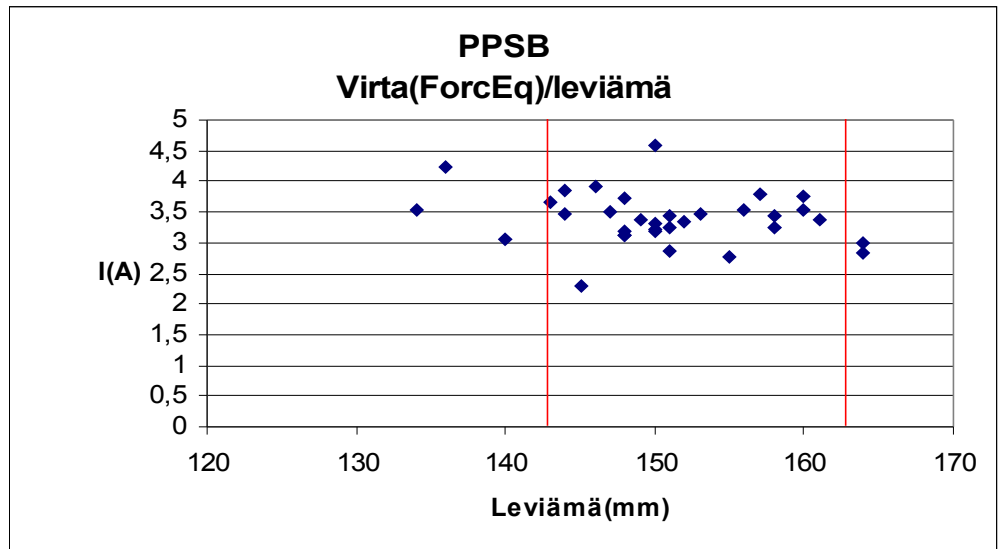
Kuvasta 10 todetaan, että läpäisyprosentin kasvaessa ForcEq-laitteen suurin virta kasvaa. Tästä poikkeavat arvot ovat ruiskurep-näytteet (33,1 ja 32,9) sekä yksi lentotuhkaversioiden näyte (33,3). Ruiskurep poikkeaa tuloksista, koska se on reseptin mukaisesti karkeampaa. Lentotuhkaversioihin otettiin lentotuhkaa jokaiseen eri lentotuhka-astiasta, joten PSB:n lentotuhkaversioiden eroavuudet toisistaan johtunevat siitä. Tuotannon näytteiden läpäisyprosenttien kasvaessa myös niiden ForcEq-laitteen suurin virta kasvaa.

ForcEq-laitteen tulokset pakkaspystysaumabetonille verrattuna muihin menetelmiin on esitetty kuvissa 11 - 13.



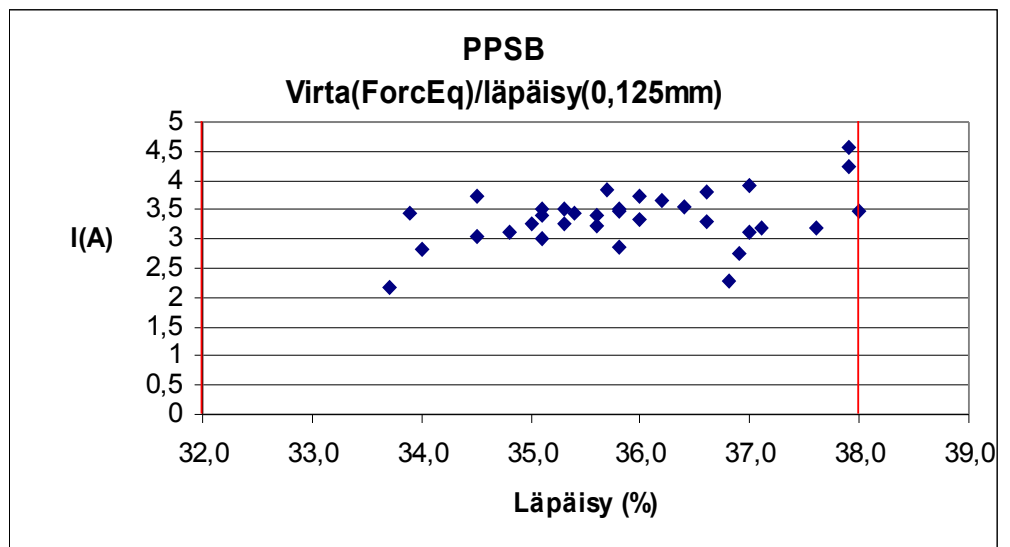
Kuva 11. ForcEq-laitteen suurin vastus suhteessa vedenpidätyskykyyn

Kuvan 11 mukaan vastuksen suuruus ei ole riippuvainen vedenpidätyskyvystä. Samalla vedenpidätysarvolla mitattiin erisuuruisia ForcEq-laitteen sähkövirtojen huippuja.



Kuva 12. ForcEq-laitteen suurin vastus suhteessa leviämään

Verrattaessa virtaa ja leviämää havaittiin, että tulokset poikkeavat paljon toisistaan (kuva 12). Kuvan mukaan leviämän kasvaessa virta pienenee lievästi. Tuloksien poikkeamat ovat kuitenkin niin suuria, että näiden tulosten perusteella menetelmiä ei voi verrata luotettavasti toisiinsa.



Kuva 13. ForcEq-laitteen suurin vastus suhteessa 0,125 mm seulan läpäisyyn

Läpäisyprosentin kasvaessa myös ForcEq-laitteen mittaama virta kasvaa (kuva 13). Tämän mukaan läpäisyprosenttia voidaan verrata ForcEq-laitteen mittaamaan virtaan.

Tarkasteltaessa kummankin tuotteen kuvaajia todettiin, että ainoa menetelmä, mitä voidaan verrata hyvin ForcEq-laitteen virtaan, on 0,125 mm:n seulan läpäisyprosentti. Leviämän ja ForcEq-laitteen tulokset poikkeavuudet olivat liian suuria, joten tuloksia voidaan verrata vain suuntaantavasti. Verrattaessa vedenpidätyskykyä ForcEq-laitteen virtaan, tulokset vaihtelivat paljon.

4.3 Tuotantonäyte-erien poikkeavat tulokset

Joillakin tuotannon näytesarjojen näytteillä oli laadunvalvonnan raja-arvoista poikkeavia tuloksia. Näistä näytteistä tarkasteltiin kaikkia laadunvalvonnan menetelmillä saatuja tuloksia poikkeavien arvojen syiden selvittämiseksi.

4.3.1 Pystysaumabetoni ja pakkaspystysaumabetoni

Jos näytteen tulos oli poikkeava tai tulos ylitti raja-arvot jonkin laadunvalvontamenetelmän osalta, tarkasteltiin myös muiden laadunvalvonnan menetelmien tuloksia. Liitteessä 3 on esitetty pystysaumabetonin ja pakkaspystysaumabetonin mittaustulokset kaikille menetelmille. Taulukkoon 7 on poimittu pystysaumabetonin tuotantosarjat, joissa on näyte, jolla on ainakin yksi raja-arvoista poikkeava tulos. Näytteet, joissa vain leviämä poikkeaa raja-arvoista, on jätetty taulukosta pois.

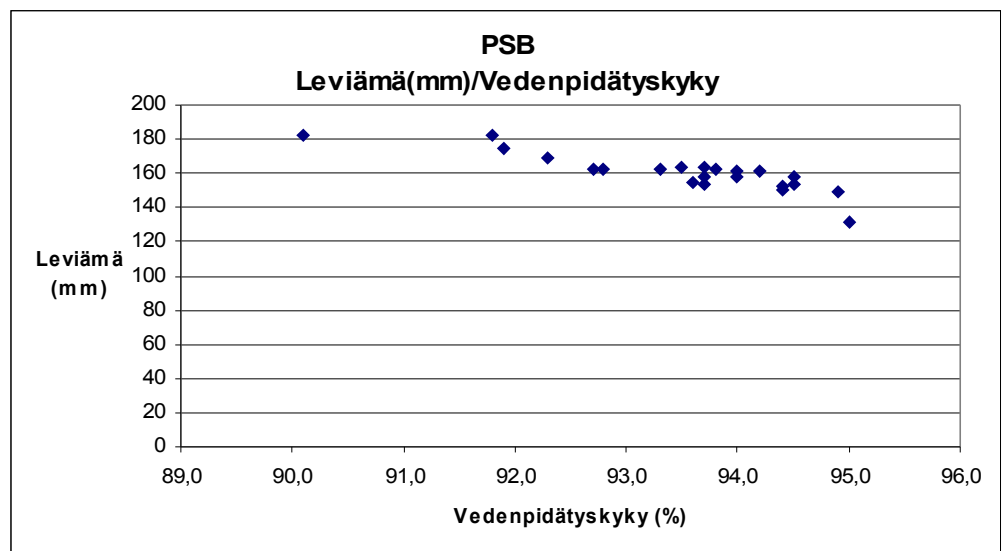
Taulukko 7. Kooste pystysaumabetonin poikkeavista tuloksista

Päivämäärä	Säkin nro	Vedenpidätyskyky (%)	I(A) (ForcEq)	Leviämä (mm)	Läpäisy-% (0,125 mm:n seula)
4.11.2008	1	94,0	3,34	161	36,8
4.11.2008	30	94,5	3,68	158	38,1
7.11.2008	1	93,8	3,01	162	34,2
7.11.2008	30	92,7	3,26	162	35,9
7.11.2008	51v	94,9	3,88	149	38,1
14.11.2008	1	90,1	2,68	182	35,2
17.11.2008	1	91,9	3,17	175	35,8
17.11.2008	30	91,8	3,04	182	36,0
17.11.2008	36v	92,3	3,04	169	36,4
Ref. ilman lisäaineita		88,0	2,98	178	35,4
Raja-arvot		92 - 95		143 - 163	35 - 39

Vedenpidätyskyvyn raja-arvot ovat pystysaumabetonille 92 – 95 % ja 0,125 mm:n seulan läpäisyn raja-arvot ovat 35 – 39 %. Leviämän hyvät arvot ovat 143 – 163 mm.

Tuotantosarjan 7.11.2008 ensimmäisen näytteen läpäisyprosentti jää hieman (0,8 %) raja-arvojen alapuolelle. Tämän näytteen muut arvot ovat kuitenkin kohdallaan.

Tuotantosarjan 14.11.2008 – 17.11.2008 kolmen ensimmäisen näytteen vedenpidätyskyvyn arvot ovat hieman alle raja-arvon. Näiden näytteiden 0,125 mm:n seulan läpäisy oli raja-arvojen alaosassa, joten näyte oli karkeampaa kuin muut näytteet. Tuotteen karkeus vaikuttaa vedenpidätyskykyyn alentavasti. Liian pienet vedenpidätyskyvyn arvot saattavat johtua myös siitä, että näiden näytteiden lisäaineannostus ei ole oikein. Lisäaineita saattaa olla liian vähän tässä sarjassa. Tätä voidaan perustella vertaamalla tämän sarjan tuloksia lisäaineettomaan referenssinäytteeseen. Lisäaineettoman näytteen vedenpidätyskyky oli hyvin pieni 88,0 %, ja leviämä taas oli suuri (178 mm). Kuvasta 14 nähdään, että vedenpidätyskyvyn kasvaessa leviämä pienenee. Koska tämän tuotantosarjan näytteiden arvot noudattivat näitä asioita (leviämä suuri ja vedenpidätyskyky pieni), niin niiden perusteella näytesarjassa saattoi olla liian vähän lisäaineita.



Kuva 14. Pystysaumabetonin leviämä suhteessa vedenpidätyskykyyn

Taulukkoon 8 on koottu pakkaspystysaumabetonin näytesarjat, joissa on ainakin yksi näyte, jossa on poikkeava tulos vedenpidätyskyvyssä tai 0,125 mm:n seulan läpäisyssä. Poikkeava tulos on merkitty taulukkoon punaisella.

Taulukko 8. Kooste pakkaspystysaumabetonin poikkeavista tuloksista

Päivämäärä	Säkin nro	Vedenpidätyskyky (%)	I(A) (ForcEq)	Leviämä (mm)	Läpäisy-% (0,125 mm:n seula)
27.10.2008	1	93,0	2,18	ei tulosta	33,7
27.10.2008	30	95,3	3,39	149	35,6
27.10.2008	60	93,3	3,84	144	35,7
24.11.2008	1	93,6	3,55	134	36,4
24.11.2008	30	95,0	3,67	143	36,2
24.11.2008	60	93,6	2,28	145	36,8
24.11.2008	90	94,1	3,19	148	37,1
Raja-arvot		89 - 94		143 - 163	32 - 38

Pakkaspystysaumabetonilla poikkeavat tulokset ylittävät vedenpidätyskyvyn raja-arvon. Pakkaspystysaumabetonilla vedenpidätyskyvyn raja-arvot ovat 89 – 94 % ja seulan 0,125 mm läpäisyn raja-arvot ovat 32 – 38 %. Leviämän hyvät arvot ovat 143 – 163 mm.

Näytesarjoista oli kolme näytettä, joiden vedenpidätyskyky oli suuri, mutta seulonnan tulos ja leviämän arvo olivat hyviä. Suuri vedenpidätyskyvyn arvo saattaa johtua siitä, että lisäaineita on saattanut jostain syystä olla näissä näytteissä liikaa, varsinkin kun näiden näytteiden 0,125 mm:n seulan läpäisyprosentit ovat raja-arvojen keskiarvoa hieman suurempia.

4.3.2 Lisänäytteet

Tuotantonäytteiden lisäksi tutkittiin lisänäytteitä:

- erikoishiekasta valmistettu pystysaumabetoni (5 kpl)
- ruiskurep (2 kpl)
- lisäaineeton pystysaumabetoni (1 kpl)
- lentotuhkallinen pystysaumabetoni (2 kpl)
- lisäaineeton lentotuhkallinen pystysaumabetoni (1 kpl)

Taulukossa 9 on esitetty erikoishiekan tulokset.

Taulukko 9. Erikoishiekasta valmistetun pystysaumabetoninäytteiden tulokset

Päivämäärä	Säkin nro	Vedenpidätyskyky (%)	I(A) (ForcEq)	Leviämä (mm)	Läpäisy-% (0,125 mm:n seula)
10.9.2008	13	93,6	3,46	155	36,9
10.9.2008	17	93,7	3,79	158	37,4
10.9.2008	18	95,0	4,17	132	40,9
10.9.2008	22	94,4	3,91	152	38,2
10.9.2008	25	94,5	3,79	154	36,7
Raja-arvot		92 - 95		143 - 163	35 - 39

Taulukon 9 mukaan keskellä tuotantoerää oli näyte (säkki numero 18), jonka läpäisy ylitti raja-arvon reilusti. Näytteen hienouden vuoksi myös muut arvot poikkesivat raja-arvoista. Vedenpidätyskyvyn arvo oli aivan raja-arvojen ylärajalla. ForcEq-laitteen suurimman vastuksen arvo on tällä näytteellä myös suurempi kuin muilla sarjan näytteillä. Tämän näytteen leviämäkin poikkeaa huomattavasti muista näytesarjan leviämästä. Leviämä jää paljon pienemmäksi kuin muilla näytteillä. Muiden erikoishiekasta valmistettujen pystysaumabetoninäytteiden arvot eivät poikenneet tuotannon pystysaumabetonista.

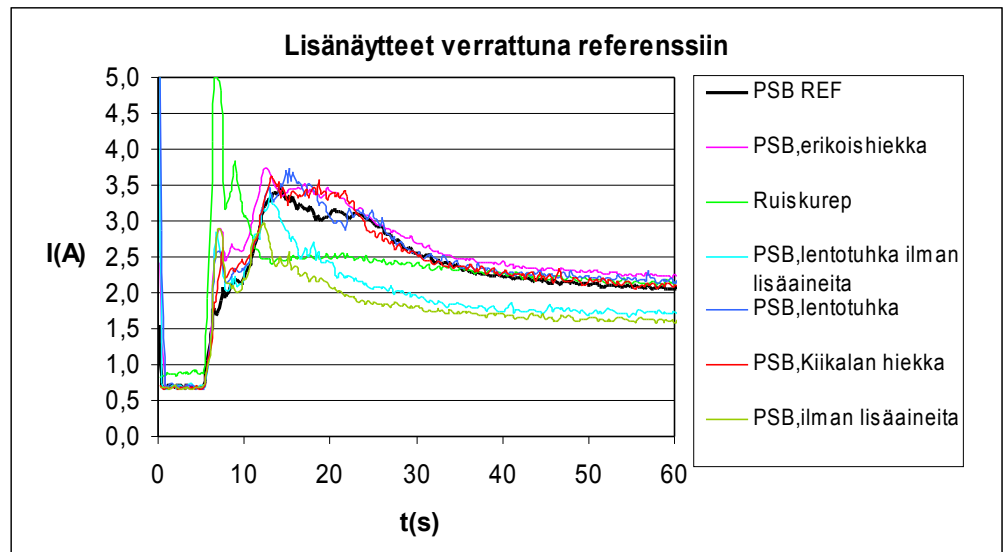
Taulukossa 10 on esitetty lisänäytteiden tulokset.

Taulukko 10. Lisänäytteiden tulokset

Päivämäärä	Säkin nro	Vedenpidätyskyky (%)	I(A) (ForcEq)	Leviämä (mm)	Läpäisy-% (0,125 mm:n seula)
17.11.2008	Ruiskurep 5ssk	94,6	4,07	154	33,1
17.11.2008	Ruiskurep 6ssk	94,7	3,71	149	32,9
25.11.2008	Lt 1 (lisäaineeton)	89,5	3,48	173	35,9
25.11.2008	Lt 2	93,3	3,81	153	36,2
25.11.2008	Lt 3	92,2	3,83	153	33,3
25.11.2008	Kiikalan hiekka	93,0	3,64	160	39,3
25.11.2008	lisäaineeton PSB	88,0	2,98	178	35,4
Raja-arvot		92 - 95		143 - 163	35 - 39

Taulukon 10 mukaan ruiskurep on karkeampaa kuin pystysaumabetoni. Muutoin arvot ovat laatuvaatimuksien mukaisia. Lisäaineeton lentotuhkaversio sekä normaali pohja ilman lisäaineita antoivat pienet vedenpidätyskyvyn arvot, minkä perusteella todettiin lisäaineiden vaikutusta pystysaumabetoniin. Vedenpidätyskyky on hieman alhaisempi normaalilla pohjalla olevalla pystysaumabetonilla kuin lentotuhkaversiolla. Toinen lentotuhkaversioista oli hieman karkea, mutta toinen näytteistä oli hyvä, mikä johtuu todennäköisesti siitä, että lentotuhkat olivat eri astioista. Vaikka näytteiden läpäisy poikkesikin toisistaan lähes 3 prosenttiyksikköä, niin ForcEq-laitteen suurin vastus oli lähes sama ja leviämä täsmälleen sama. Vedenpidätyskyvyssä oli eroa noin prosentin verran. Kiikalan hiekasta tehdyn version läpäisy ylitti hieman raja-arvot. Muuten sen arvot olivat hyviä.

Lisänäytteiden ForcEq-laitteen tuloksien keskiarvokuvaaja verrattiin referenssinäytteiden keskiarvokuvaajaan (kuva 15).



Kuva 15. Lisänäytteiden ForcEq-laitteen kuvaajat verrattuna referenssiin

Kuvasta 15 todetaan, että ruiskurepin ForcEq-laitteen virta kasvaa heti veden lisäyksen jälkeen suureksi, mutta pienenee nopeammin kuin referenssinäytteen. Erikoishiekasta ja Kiikalan hiekasta valmistetut pystysaumabetoninäytteet sekä lentotuhkaversiot ovat kaikki hyvin lähellä referenssikäyriä. Lisäaineeton lentotuhkaversio sekä lisäaineeton pystysaumabetoni antavat paljon pienemmän virran kuin PSB:n referenssinäytteiden keskiarvokuvaaja. Niiden loppuvirta myös jää pienemmäksi kuin muiden mitatut virrat. Tästä voidaan päätellä, että lisäaineet vaikuttavat pystysaumabetonin sitkeyteen.

4.4 Tarkkuus ja systemaattisen virheen merkitsevyys

Tarkkuuteen vaikuttaa systemaattisen virheen ja satunnaisen virheen esiintyminen. Menetelmien tarkkuutta tutkittiin vertaamalla tuotannonäytteiden tuloksia referenssinäytteiden tuloksiin. Menetelmien tarkkuutta eli systemaattista virheen merkitsevyyttä ForcEq-laitteelle ja laadunvalvonnan menetelmille verrattiin t-testillä. Tarkkuus ilmoitettiin tarkkuusprosentteina.

Tarkkuus-% laskettiin kaavalla 3.

$$\text{Tarkkuus - \%} = \frac{100(X - \mu)}{\mu}, \quad (3)$$

missä X = tuotannon näytteiden sarjan keskiarvo

μ = referenssimateriaalin tulosten keskiarvo

Systemaattisen virheen merkitsevyyttä tutkittiin kaavan 4 avulla.

$$t = \frac{|\bar{x} - \mu|\sqrt{n}}{s}, \quad (4)$$

missä \bar{x} = tuotannon näytteiden sarjan keskiarvo

μ = referenssimateriaalin tulosten keskiarvo

s = tuotannon näytteiden sarjan keskihajonta

n = tuotannon näytteiden määrä sarjassa

4.4.1 Tarkkuus

Kullekin menetelmälle laskettiin tuotantonäytesarjojen keskiarvot, joita verrattiin sitten referenssisarjan keskiarvoon tarkkuusprosentin selvittämiseksi. Mitä lähempänä luku on referenssisarjan keskiarvoa, sitä parempi on tarkkuusprosentti. Laadunvalvonnan raja-arvot ovat erilaisia kullakin menetelmällä. Referenssimateriaalin sijoittuminen raja-arvojen sisälle vaikuttaa tarkkuusprosentin raja-arvoihin, jotka ovat erisuuret negatiivisella ja positiivisella puolella. Tarkkuusprosentit pystysaumabetonille ovat taulukossa 11 ja pakkaspystysaumabetonille taulukossa 12.

Taulukko 11. Pystysaumabetonin tarkkuus-%

Päivämäärä	Tarkkuus-%			
	Vedenpidätyskyky	Leviämä	Läpäisy (0,125 mm seula)	ForcEq
22.10.2008	0,24	-0,06	1,95	0,77
27.10.2008	1,05	-4,21	0,77	-3,94
4.11.2008	1,24	-1,91	3,4	-1,13
7.11.2008	0,75	-3,03	-0,42	-4,69
14.11–17.11.2008	-1,69	8,86	-1,02	-15,99
Keskiarvo	0,32	-0,07	0,94	-5,00
Referenssien keskiarvo	93,1	162,6	36,2	3,55
Raja-arvot (min/max)	-1,2/2,0	-12,1/0,3	-3,3/7,7	ei raja-arvoja

Vedenpidätyskyvyn tarkkuus oli hyvä, sillä tuotantonäytesarjojen tarkkuusprosentit jäivät raja-arvojen sisälle yhtä tulosta (-1,69) lukuun ottamatta. Tuotantosarjan 14.11 – 17.11.2008 vedenpidätyskyvyn tarkkuusprosentti alitti raja-arvon 0,49 %.

Leviämän tuotantosarjojen tarkkuusprosentteista lähes kaikki olivat raja-arvojen sisällä. Ainoastaan tuotantosarjan (14.11 – 17.11.2008) arvo ylitti raja-arvot reilusti. Raja-arvon ylitys oli 8,56 %. Tästä huolimatta on menetelmän tarkkuus hyvä.

Seulan 0,125 mm läpäisyn tarkkuusprosentit olivat raja-arvojen sisällä. Seulan 0,125 mm läpäisyn tarkkuus oli hyvä.

ForcEq-laitteen virran raja-arvoja ei tiedetä. Laitteen virran tarkkuusprosentit vaihtelivat suuresti. Pääosin tuotantosarjojen virtojen tarkkuusprosentit olivat negatiivisia verrattuna referenssien keskiarvoon. Ainakin yhden tuotantosarjan (14.11 – 17.11.2008) tarkkuusprosentti poikkesi reilusti referenssien keskiarvosta. Muiden tuotantosarjojen tarkkuusprosentit olivat

melko lähellä toisiaan. Niiden perusteella ForcEq-laitteen tarkkuus olisi melko hyvä.

Taulukko 12. Pakkaspystysaumabetonin tarkkuus-%

Päivämäärä	Tarkkuus-%			
	Vedenpidätyskyky	Leviämä	Läpäisy (0,125 mm seula)	ForcEq
27.10.2008	1,81	-3,24	-5,75	-16,44
12.11.2008	-1,76	4,85	-4,31	-20,48
14.11.2008	-1,14	-4,23	-4,18	-15,16
18.11–19.11.2008	0,24	-2,08	0	-15,76
24.11.2008	2,03	-5,88	-1,28	-15,49
1.12–2.12.2008	-1,5	-2,51	-2,59	-3,46
5.12.2008	-0,11	-1,81	-5,57	-12,27
9.12–12.12.2008	0,76	3,17	-2,59	-0,48
17.12.2008	0,68	3,2	-5,32	-3,3
Keskiarvo	0,11	-0,95	-3,51	-11,43
Referenssien keskiarvo	92,2	151,4	37,1	3,75
Raja-arvot (min/max)	-3,5/2,0	-5,5/7,7	-13,7/2,4	ei raja-arvoja

Taulukon 12 tulosten mukaan vedenpidätyskyky olisi pakkaspystysaumabetonilla mitattaessa tarkka menetelmä. Tuotantosarjojen tarkkuusprosentit ovat kaikki laskettujen raja-arvojen sisällä yhtä arvoa lukuun ottamatta. Tuotantosarjan 24.11.2008 vedenpidätyskyvyn arvo ylittää raja-arvon 0,03 %. Raja-arvon ylitys on hyvin pieni, joten menetelmä on tarkka.

Tuotantosarjojen tarkkuusprosentit leviämälle ovat lähes kaikki raja-arvojen sisällä. Yhden tuotantosarjan (24.11.2008) leviämä jää raja-arvon -5,5 % alle 0,38 %. Tuotantosarja on sama, missä oli raja-arvot ylittävä tulos vedenpidätyskyvyssä. Tässä tuotantosarjassa on ollut jotain poikkeavaa, eikä raja-arvon ylitys johdu menetelmästä, joten leviämän tarkkuus on hyvä.

Seulan 0,125 mm läpäisyn osalta jokaisen tuotantosarjan tarkkuusprosentti on raja-arvojen sisällä. Seulan 0,125 mm läpäisy on tarkka menetelmä.

ForcEq-laitteella mitatut tulokset tuotantosarjoille poikkeavat paljon referenssien arvosta. Suurin osa tarkkuusprosentteista on suuruudeltaan suunnilleen -12 – -20 %, kolmen tuotantosarjan tarkkuusprosentteja lukuun ottamatta. Näiden perusteella menetelmä olisi melko toistettava, mutta kun raja-arvoja ei tunneta, ei taulukon 12 tulosten perusteella voida määrittää ForcEq-laitteen tarkkuutta.

4.4.2 Systemaattisen virheen merkitsevyys

Systemaattisen virheen merkitsevyyttä tutkittiin t-testillä laskemalla kullekin tuotantonäytesarjalle kullakin menetelmällä oma t-arvo kaavalla 4. Tätä arvoa verrattiin t-taulukko-arvoon. Jos t-laskettu on pienempi kuin t-taulukko, niin menetelmässä ei ole merkitsevää systemaattista virhettä. Näytesarjat, joissa oli vähintään neljä näytettä, otettiin käsittelyyn laskettaessa systemaattisen virheen merkitsevyyttä. Jos tuotantonäytesarjassa oli enemmän näytteitä kuin neljä, niin neljännen jälkeiset näytteet jätettiin pois. Taulukoissa 13 ja 14 ovat PSB:n ja PPSB:n t-laskettu-arvot kullekin menetelmälle sekä t-taulukko-arvo. Taulukkoon on merkitty nuolilla, ovatko menetelmien t-lasketut suurempia vai pienempiä kuin t-taulukot. Täydelliset taulukot ovat liitteessä 4.

Taulukko 13. PSB:n t-testien tulokset kullekin menetelmälle

Päivämäärä	ForcEq-laite		Vedenpidätys- kyky		Seulan 0,125 mm läpäisy		Leviämä		t-taulukko
	t-laskettu		t-laskettu		t-laskettu		t-laskettu		
10.9.2008	2,39	<	4,35	>	2,35	<	2,67	<	2,78
22.10.2008	0,26	<	1,17	<	2,41	<	0,35	<	3,18
27.10.2008	1,39	<	6,53	>	0,93	<	2,86	<	3,18
4.11.2008	0,24	<	4,60	<	1,89	<	2,07	<	12,71
7.11.2008	0,64	<	1,10	<	0,14	<	1,14	<	4,30
14.11– 17.11.2008	5,38	>	3,23	>	1,48	<	4,59	>	3,18

Taulukko 14. PPSB:n t-testien tulokset kullekin menetelmälle

Päivämäärä	ForcEq-laite		Vedenpidätys- kyky		Seulan 0,125 mm läpäisy		Leviämä		t-taulukko
	t-laskettu		t-laskettu		t-laskettu		t-laskettu		
27.10.2008	1,25	<	2,31	<	3,37	<	2,40	<	4,30
12.11.2008	6,06	>	7,00	>	2,58	<	2,38	<	3,18
14.11.2008	4,55	<	0,78	<	1,48	<	1,28	<	12,71
18.11– 19.11.2008	4,70	>	0,36	<	0,00	<	2,04	<	3,18
24.11.2008	1,85	<	5,68	>	2,36	<	2,95	<	3,18
1.12– 2.12.2008	0,73	<	4,38	>	2,13	<	1,26	<	2,78
5.12.2008	4,23	<	0,40	<	14,22	>	2,27	<	4,30
9.12– 12.12.2008	0,08	<	4,34	>	1,88	<	2,85	>	2,78
17.12.2008	0,97	<	1,56	<	2,94	<	1,40	<	3,18

Taulukoiden 13 ja 14 tuloksien mukaan ForcEq-laitteen t-laskettu on lähes kaikilla tuotantonäytesarjoilla pienempi kuin t-taulukko. Taulukon tulosten perusteella menetelmässä ei ole merkitsevää systemaattista virhettä.

Vedenpidätyskyvyn t-laskettu on PSB:n ja PPSB:n tuotantonäytesarjoilla osalla suurempi ja osalla pienempi kuin t-taulukko. Yli puolet tuotantonäytesarjojen t-lasketuista on pienempiä kuin t-taulukko. Tulosten perusteella menetelmässä ei ole paljoa merkitsevää systemaattista virhettä.

Seulan 0,125 mm läpäisyn t-lasketuista yhtä lukuun ottamatta kaikki ovat pienempiä kuin t-taulukko. Joten seulan 0,125 mm läpäisyssä ei ole merkitsevää systemaattista virhettä.

Leviämän t-laskettua ja t-taulukkoa verrattaessa havaitaan, että lukuun ottamatta kahden näytesarjan tuloksia ovat kaikki t-lasketut pienempiä kuin t-taulukko. Tämän mukaan leviämän mittaamisessa ei ole merkitsevää systemaattista virhettä.

4.5 Toistettavuus ja täsmällisyys

Toistettavuudella tarkoitetaan tulosten läheisyyttä eli niiden hajontaa. Toistettavuus määritettiin ForcEq-laitteelle, vedenpidätyskyvyille, seulonnalle sekä leviämälle. Määrittäminen tehtiin referenssinäytteiden avulla, sillä toistettavuutta määritettäessä tulee olla useampi rinnakkaisnäyte. Toistettavuutta tarkasteltiin keskihajonnan, varianssin ja suhteellisen keskihajonnan avulla. Tuloksista pääteltiin, kuinka toistettavia menetelmät ovat. Suhteellinen keskihajonta, RSD, laskettiin keskihajontojen ja keskiarvojen avulla (kaava 5).

$$RSD = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (5)$$

Toistettavuus on yksi osio, jolla voidaan määrittää täsmällisyyttä. Mittaustulokset suoritettiin lyhyen ajan sisällä, joten toistettavuus kuvaa täsmällisyyttä. Täsmällisyydellä tarkoitetaan satunnaisvaihtelua eli satunnaisvirhettä, joten se liittyy tulosten väliseen hajontaan.

Taulukoissa 15 - 18 on esitetty kaikille menetelmille niiden keskihajonnat, varianssit ja suhteelliset keskihajonnat. Taulukossa 15 ovat ForcEq-laitteen tulokset sekä pystysaumabetonin että pakkaspystysaumabetonin referenssinäytteille.

Taulukko 15. ForcEq-laitteen tulokset toistettavuuden tutkimiseen

	Ref.1 I(A)	Ref.2 I(A)	Ref.3 I(A)	Ref.4 I(A)	Ref.5 I(A)	KA I(A)	s I(A)	s ² I(A)	RSD
PSB	3,08	3,43	3,58	3,77	3,89	3,55	0,32	0,10	8,91
PPSB	3,77	3,85	3,69	3,72	3,74	3,75	0,06	0,0037	1,63

Taulukon 15 mukaan pystysaumabetonin tulokset vaihtelivat melko paljon toisistaan. Suhteellisen keskihajonnan arvo oli suuri. PSB:n keskiarvo oli hyvä, mutta sarjan suurin ja pienin arvo poikkeavat liikaa keskiarvosta. Varianssin suuntaa-antavat raja-arvot ovat 0 – 0,05 A, joten varianssi ylittää raja-arvon pystysaumabetonin osalta. Pakkaspystysaumabetonin tulokset olivat paljon pienempiä kuin pystysaumabetonin. Pieniin arvoihin on saattanut vaikuttaa aine, joka alentaa jäätymispistettä. Tulosten perusteella menetelmä on melko toistettava.

Taulukossa 16 ovat pystysaumabetonin ja pakkaspystysaumabetonin referenssinäytteiden leviämien tulokset.

Taulukko 16. Leviämän tulokset toistettavuuden tutkimiseen

	Ref.1 (mm)	Ref.2 (mm)	Ref.3 (mm)	Ref.4 (mm)	Ref.5 (mm)	KA (mm)	s (mm)	s ² (mm)	RSD
PSB	165	164	160	161	163	162,6	2,07	4,30	1,28
PPSB	153	150	152	152	150	151,4	1,34	1,80	0,89

Taulukon 16 mukaan pystysaumabetonin leviämän varianssi on melko suuri. Suurin ja pienin arvo eivät kuitenkaan poikkea toisistaan millimetreissä kuin 5 mm. Pakkaspystysaumabetonilla varianssi on pienempi kuin pystysaumabetonilla, ja pakkaspystysaumabetonin suurin ja pienin arvo eroavat toisistaan vain 3 mm. Suuntaa-antavat raja-arvot leviämän varianssiksi ovat 0 – 5. mm, joten sekä PSB että PPSB olivat tältä osin raja-arvojen sisällä. Suhteellisen varianssin arvot olivat hyviä. Tulosten perusteella menetelmä on toistettava.

Taulukossa 17 ovat 0,125 mm:n seulan läpäisyn tulokset pystysaumabetonin ja pakkaspystysaumabetonin referenssinäytteille.

Taulukko 17. Seulan 0,125 mm läpäisyn tulokset toistettavuuden tutkimiseen

	Ref.1 (%)	Ref.2 (%)	Ref.3 (%)	Ref.4 (%)	Ref.5 (%)	KA (%)	s (%)	s ² (%)	RSD
PSB	36,3	36,5	36,3	35,9	36,1	36,22	0,23	0,05	0,63
PPSB	36,3	37,4	37,8	37,0	37,0	37,1	0,56	0,31	1,50

Taulukon 17 mukaan sekä pystysaumabetonin että pakkaspystysaumabetonin keskihajonta, varianssi ja suhteellinen keskihajonta ovat melko pieniä arvoja. Varianssin suuntaa-antavat raja-arvot ovat 0 – 1 %, sekä PSB:n että PPSB:n varianssi on raja-arvojen sisällä. Tulosten perusteella menetelmä on toistettava.

Taulukossa 18 ovat vedenpidätyskyvyn tulokset pystysaumabetonin ja pakkaspystysaumabetonin referenssinäytteille.

Taulukko 18. Vedenpidätyskyvyn tulokset toistettavuuden tutkimiseen

	Ref.1 (%)	Ref.2 (%)	Ref.3 (%)	Ref.4 (%)	Ref.5 (%)	KA (%)	s (%)	s ² (%)	RSD
PSB	93,2	92,9	93,6	92,9	92,9	93,1	0,31	0,10	0,33
PPSB	91,8	92,4	92,1	92,1	92,6	92,2	0,31	0,095	0,33

Pystysaumabetonin ja pakkaspystysaumabetonin keskihajonta, varianssi ja suhteellinen keskihajonta ovat hyviä (taulukko 18). Vedenpidätyskyvylle varianssin suuntaa-antavat raja-arvot ovat 0 – 3 %. PSB ja PPSB ovat varianssin raja-arvojen sisällä. Kummallakin tuotteella kaikki arvot ovat pieniä, joten vedenpidätyskyky on toistettava menetelmä.

ForcEq-laitteelle ja leviämälle saatiin toistettavia tuloksia, joten menetelmät ovat täsmällisiä. Seulan 0,125 mm läpäisy sekä vedenpidätyskyky olivat hyvin toistettavia. Näiden seulonnan ja vedenpidätyksen tulosten perusteella kyseiset menetelmät ovat täsmällisiä.

5 YHTEENVETO

Työssä oli tarkoituksena tutkia ForcEq-laitteen soveltuvuutta kuivabetonin tutkimiseen, varsinkin pumppausominaisuuksien osalta. Työssä vertailtiin ForcEq-laitetta laadunvalvonnan menetelmiin, joita olivat vedenpidätyskyky, seulonta sekä leviämä. Näytteenä käytettiin pystysaumabetonia ja pakkaspystysaumabetonia, mitkä olivat Ojakkalan tehtaan tuotannosta. Näiden näytteiden lisäksi oli muutama lisänäyte sekä laboratoriossa valmistetut referenssinäytteet.

ForcEq-laitteen referenssinäytteiden mittaustulokset eivät poikenneet toisistaan kovinkaan paljon, joten menetelmä oli melko täsmällinen. Pakkaspystysaumabetonilla saatiin toistettavampia tuloksia kuin pystysaumabetonilla. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että pakkaspystysaumabetonissa on ainetta, joka alentaa jäätymispistettä. Pääasiassa tuotantonäytesarjojen kuvaajat poikkesivat toisistaan korkeuden osalta. Kuvaajien korkeuden avulla todettiin laitteen käyttämän sähkövirran suuruus eli näytemassa antaman vastuksen suuruus. Kuvaajat olivat useimmiten samanmuotoisia, korkeuden vaihtelusta huolimatta.

Verrattaessa laadunvalvonnan menetelmiä ForcEq-laitteen virran arvoihin todettiin, että parhaiten ForcEq-laitteen virran suuruuteen voidaan verrata 0,125 mm:n seulan läpäisyprosenttia sekä leviämää. ForcEq-laitteen virta kasvoi kun 0,125 mm:n seulan läpäisyprosentti kasvoi. Leviämän kasvaessa taas ForcEq-laitteen suurin mittaama virta pieneni. Vedenpidätyskyvyn ja ForcEq-laitteen virran välillä ei todettu selkeää yhtenevyyttä. Vedenpidätyskyvyn sama arvo antoi useita eri arvoja virralle eli massan aiheuttamalle vastukselle.

Raja-arvoja ylittäviä tai alittavia tuloksia oli melko vähän. Pääosin näytteissä, joissa oli poikkeava arvo yhdessä laadunvalvonnan menetelmässä, oli myös muissa menetelmissä poikkeavia tuloksia. Tulosten perusteella vedenpidätyskyvyn kasvaessa leviämä pienenee ja 0,125 mm:n seulan läpäisy kasvaa.

Lisänäytteitä tutkittaessa havaittiin, että lisäaineet vaikuttavat pystysaumabetonin sitkeyteen. Lisäaineettoman pystysaumabetonin ForcEq-laitteen virta oli lähes koko mittauksen ajan pienempi kuin muilla näytteillä. Erikoishiekasta valmistetun PSB:n, lentotuhkaversioiden ja

Kiikalan hiekasta valmistetun PSB:n arvot eivät poikenneet merkittävästi tuotannon reseptin mukaisesta PSB:stä. Ruiskurepin arvot poikkesivat lisänäytteistä eniten referenssinäytteiden arvoista. Poikkeavuus saattoi aiheuttaa ruiskurepin sisältämistä kuiduista.

Tarkkuusprosenttien mukaan vedenpidätyskyky, leviämä ja seulonta olivat tarkkoja menetelmiä. ForcEq-laitteelle ei ole määritetty raja-arvoja, joten sen tarkkuusprosenttien perusteella ei voida määritellä menetelmän tarkkuutta, vaikka tuotantonäytesarjojen tarkkuusprosentit olivat lähellä toisiaan. Lähes kaikkien PSB:n sekä PPSB:n tuotantonäytesarjojen arvot jäivät reilusti referenssiarvon alle. Laadunvalvonnan menetelmissä sekä ForcEq-laitteella mitattaessa ei ollut merkitsevää systemaattista virhettä.

Seulonta ja vedenpidätyskyky olivat toistettavia menetelmiä. Samoin ForcEq-laitteelle ja leviämälle saatiin toistettavat tulokset. Kaikki menetelmät olivat siis täsmällisiä.

ForcEq-laitteella saadaan selvitettyä tuotteen hienoutta ja lisäaineiden määrää. Laitteella saadaan pumpattavuudesta samaa tietoa kuin seulonnalla ja leviämällä. ForcEq-laitteella saadaan tuloksia joita voidaan mahdollisesti verrata pumpattavuuteen, koska betonin pumpattavuutta voidaan mitata myös virran avulla. Lisämittauksien ja koepumppauksien avulla saataisiin lisää tietoa laitteen yhteydestä laadunvalvonnan menetelmien tuloksiin sekä pumpattavuuteen.

VIITELUETTELO

- [1] maxit, *maxit yritysesittely*. [verkkodokumentti, viitattu 9.2.2009]. Saatavissa: www.maxit.fi.
- [2] maxit, *Tuotekansio*. [verkkodokumentti, viitattu 12.2.2009]. Saatavissa: www.maxit.fi.
- [3] *Betonirakenteiden ympäristövaikutukset*. Jyväskylä: Rakennustuoteteollisuus RTT ry. 1998.
- [4] Palomäki, Eero, *Rakennusmateriaalit ja terveys*. Tampere: Työterveyslaitos. 1993.
- [5] *Betoninormit 2004 by 50*. Jyväskylä: Suomen Betoniyhdistys r.y. 2004.
- [6] Uusitalo, Jukka ym. *Betonityöt*. Jyväskylä: Rakennustieto Oy. 2002.
- [7] maxit, *Pystysaumabetoni, esite*. [verkkodokumentti, viitattu 25.1.2009]. Saatavissa: www.maxit.fi.
- [8] maxit, *Pystysaumabetoni, tuotekortti*. [verkkodokumentti, viitattu 4.2.2009]. Saatavissa: www.maxit.fi.
- [9] maxit, *Pakkaspystysaumabetoni, tuotekortti*. [verkkodokumentti, viitattu 4.2.2009]. Saatavissa www.maxit.fi.
- [10] *Laadunvalvonnan käsikirja, Ojakkalan kuivatuotetehdas*.
- [11] Cementsa Research Ab, *About the company*. [verkkodokumentti, viitattu 27.1.2009]. Saatavissa: www.cementaresearch.se.
- [12] Cementsa Research Ab, *ForcEq Users Manual*. ForcEq-laitteen käyttöohje. Versio 2008-05-01.

FORCEQ-LAITTEEN KÄYTTÖOHJE

Sekoitin S on tuotteille, joiden raekoko on enintään 1 mm, ja sekoitin B tuotteille, joiden raekoko on enimmillään 4 mm.

Sekoitettavan tuotteen tilavuus ei saa olla yli 1,5 litraa.

Mittauksen suorittaminen:

Säädöt-välilehdeltä voidaan muuttaa ajoasetuksia. Kohdasta "vaihtoehtoja" voidaan valita joko Floor tai Concrete, sen mukaan mitä tuotetta mitataan. Valinnan jälkeen painetaan "soimita lista". Uudesta ikkunasta valitaan haluttu vaihtoehto, tarkistetaan ajo-ohjelman tiedot ja painetaan "Sulje". Tämän jälkeen voidaan aloittaa mittaukset.

Ajoa varten valitaan "operaattori", esim. omat nimikirjaimet. Kohtaan "projekti" kirjoitetaan työn nimi tai voidaan mitata aikaisempaan projektiin valitsemalla se listasta. Kohtaan "mittauksen nimi" kirjoitetaan mitattavan näytteen nimi. Seuraavaan ruutuun (Mittauksen kuvaus) voidaan kuvailla mittausta, jos haluaa lisätä jotain täsmennyksiä tai huomautuksia.

Katso, että laite on päällä. Punnitse vesi mitta-astiaan. Kaada vesi laitteen vesikulhoon ylhäälle. Paina laitteen nappia "water in". Laita mitta-astia letkun alle ja paina nappia "water out". Punnitse uudestaan vesi, ja lisää vesimäärään siitä hävinnyt määrä. Kaada vesi taas laitteen vesikulhoon ja paina "water in" -nappia, varmista, että vesikulho on tyhjä.

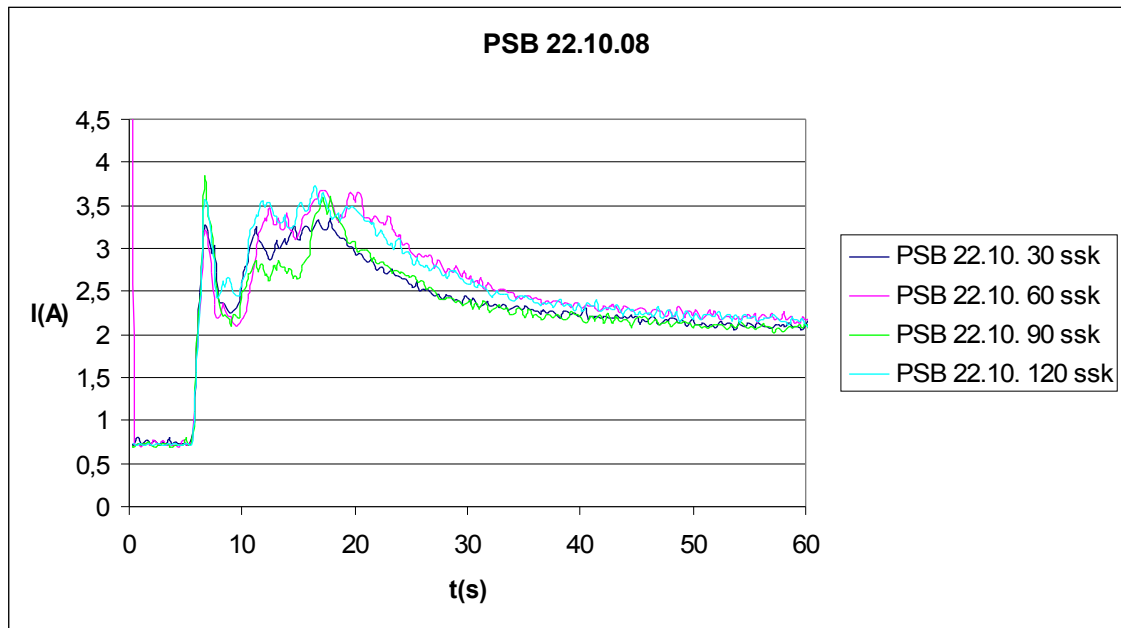
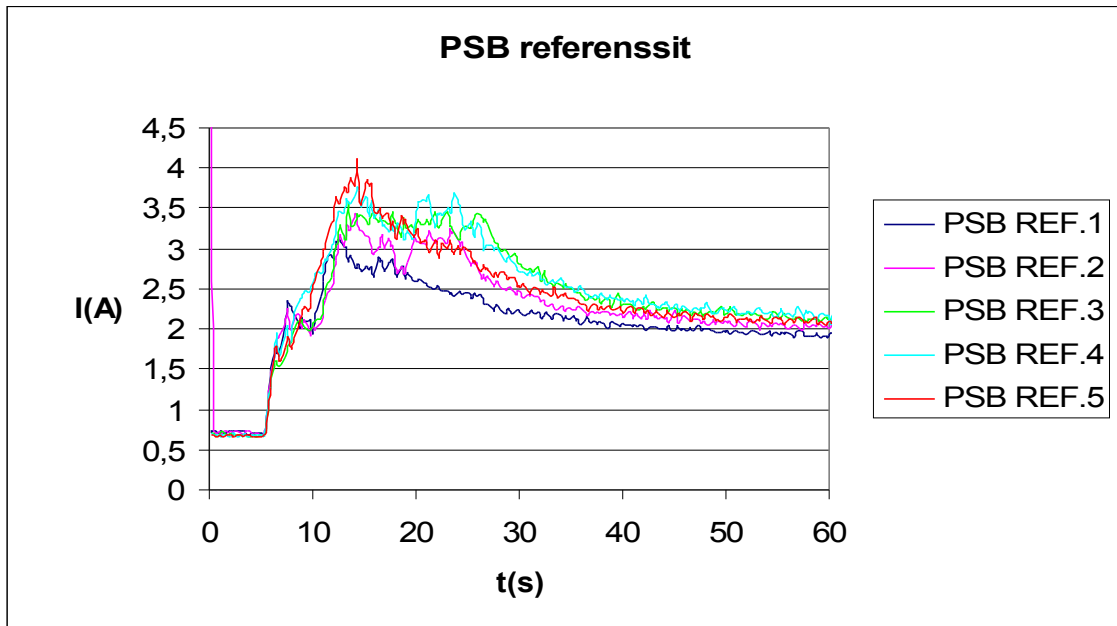
Laita sekoittaja sekoituskulhoon ja punnitse sekoituskulhoon tarvittava määrä tutkittavaa ainetta. Aseta muovinen rengas sekoittajan varteen. Aseta kulho paikalleen laitteeseen niin, että kulhon pohjassa olevat kolme nappulaa osuvat koloihinsa. Kulhossa olevan merkin ja sekoittajan pyörimisstopparin tulee olla kohti laitteen käyttäjää. Nosta sekoittajaa ylöspäin ja kiristä se kiinni merkatusta kohdasta kiristysavaimella. Merkatun kohdan tulee olla kohti käyttäjää. Muista ottaa kiristysavain pois. Kiinnitä sekoituskulho paikalleen haoilla.

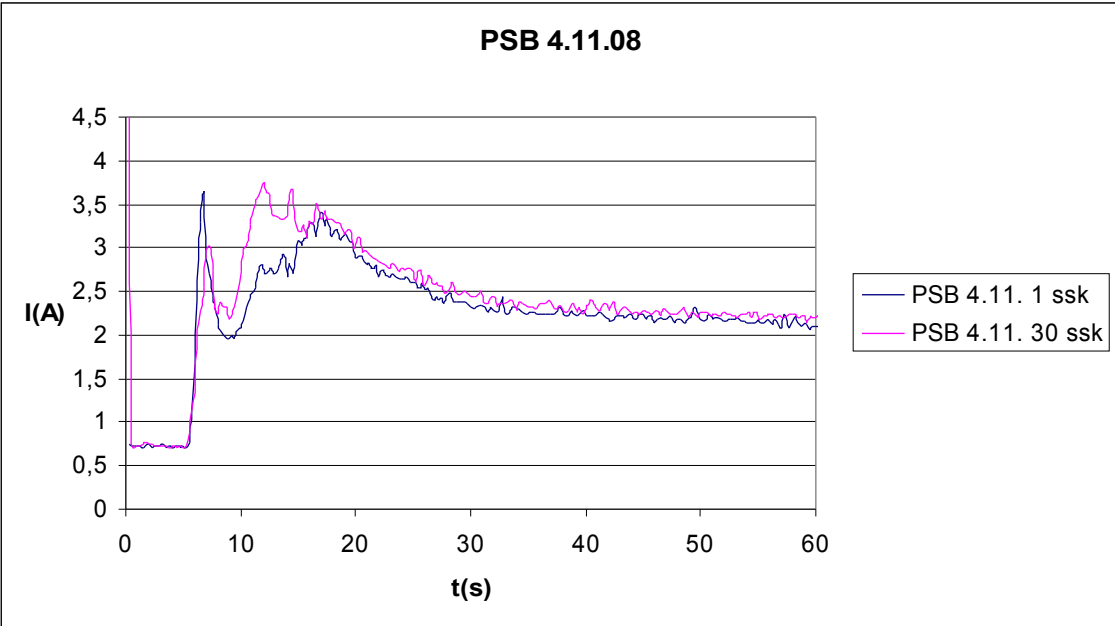
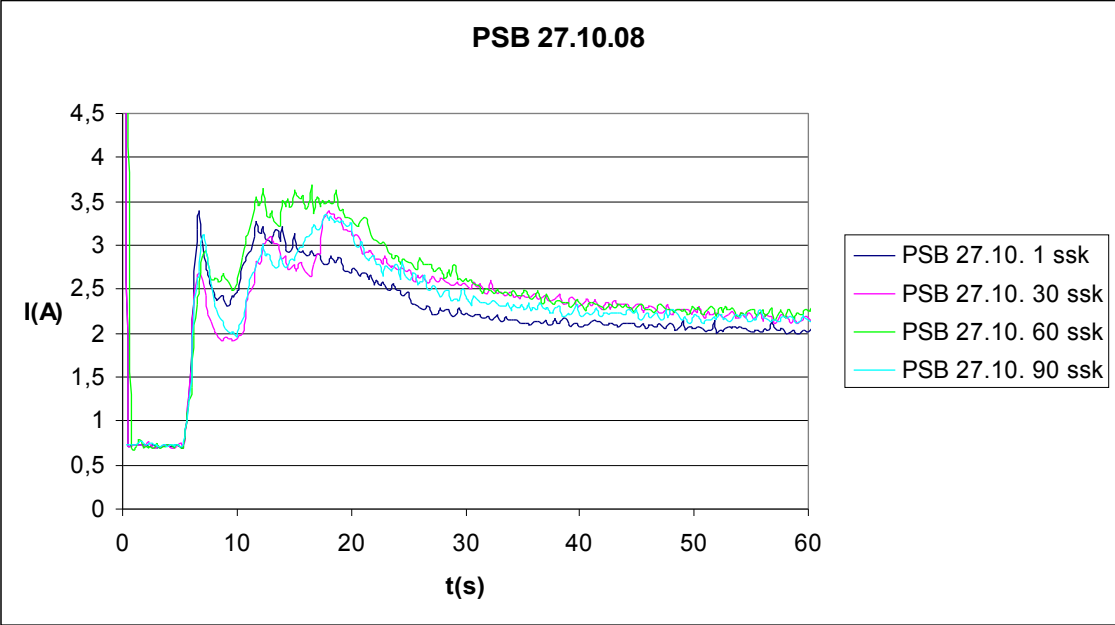
Aseta muovinen kansi sekoitusastian päälle ja lukitse se paikoilleen. Sekoittajan varteen pujotettu muovinen rengas tulee kannen päälle. Aseta vesiletku kannen metalliseen putkeen.

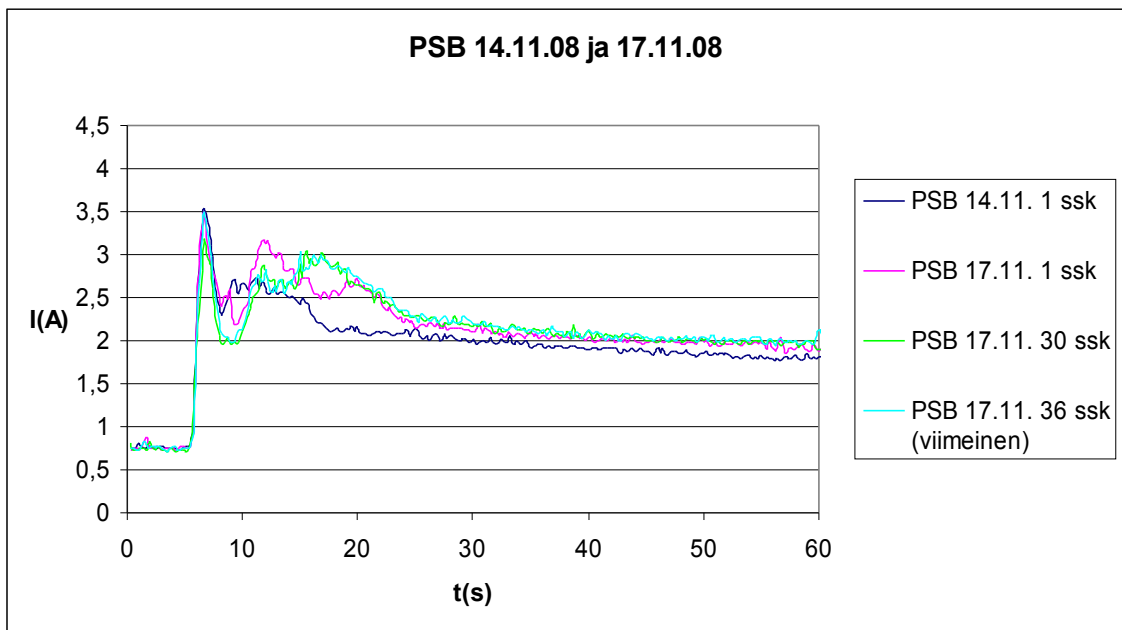
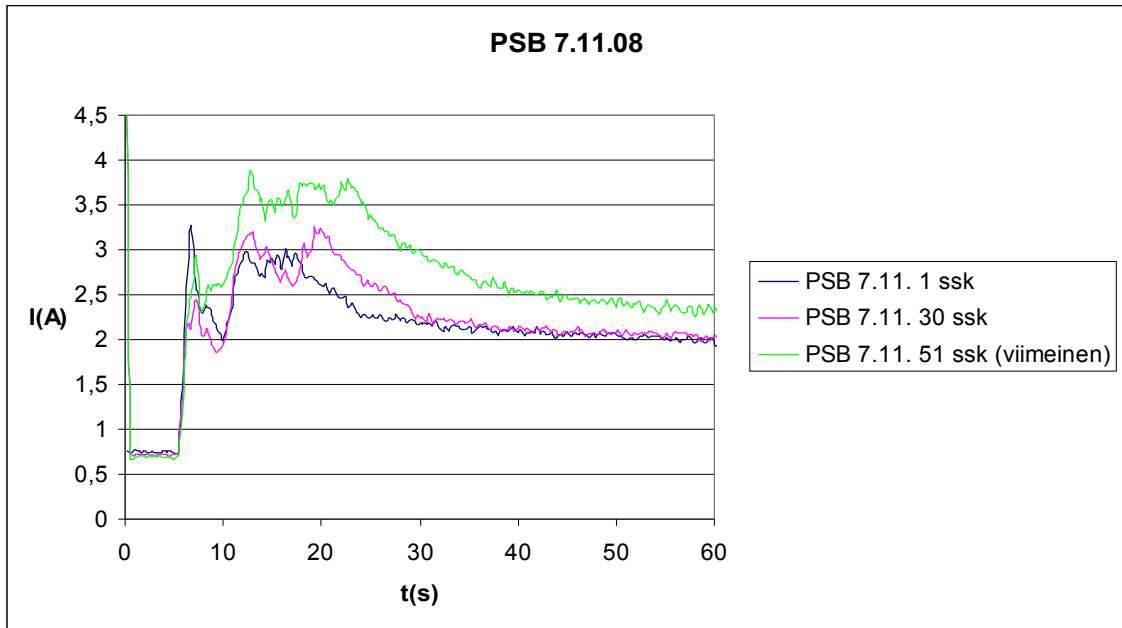
Paina tietokoneen näytöltä kohtaa "aloittaa" ja sen jälkeen paina laitteesta "start". Mittauksen aikana kuvaaja piirtyy tietokoneen näytölle. Mittauksen voi pysäyttää kesken painamalla "lopettaa".

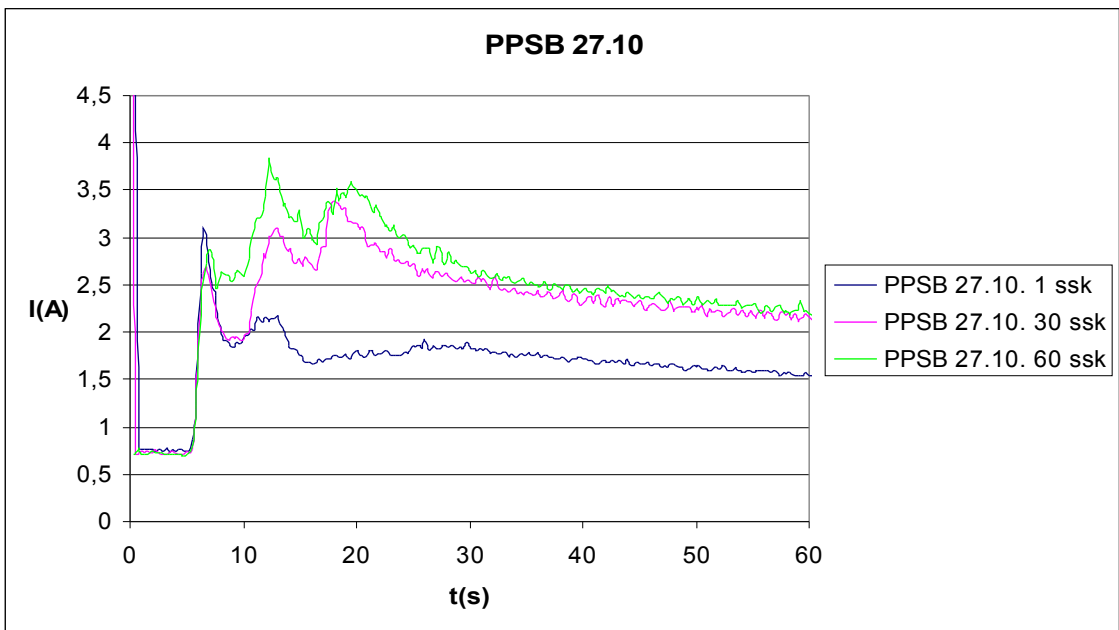
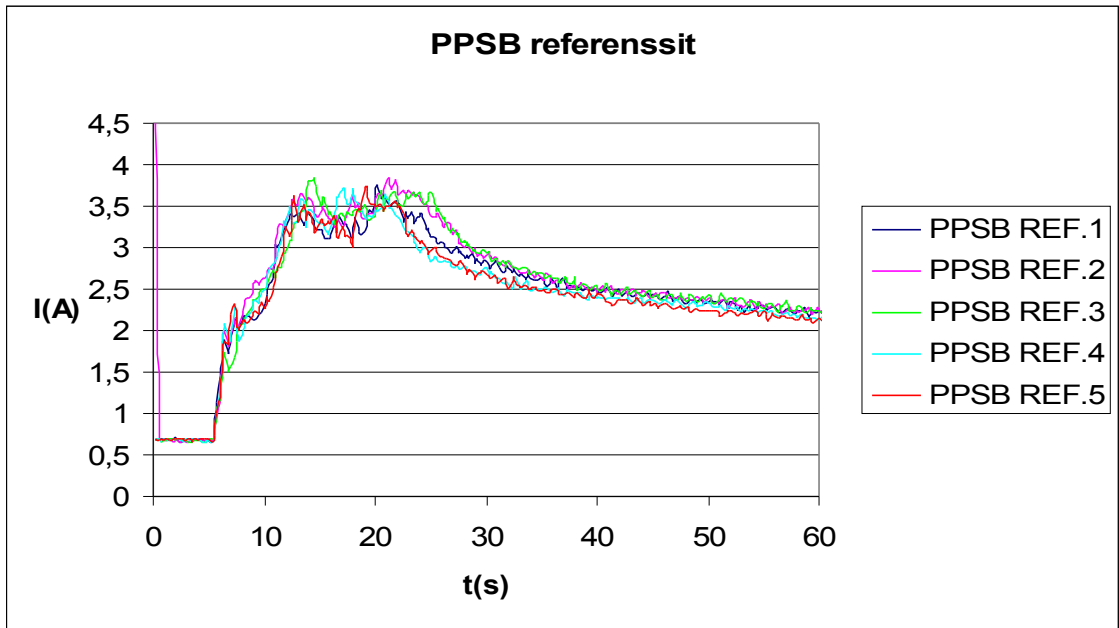
Vanhoja mittauksia -välilehdeltä voidaan tarkastella saatuja tuloksia. Sieltä voidaan valita useampia kuvaajia samaan kuvaan. Halutut mittaukset valitaan merkkamalla ne listasta ja kohdasta "Exceeliin" saadaan siirrettyä valitut mittaukset Exceeliin, jonka jälkeen tulokset voidaan tallentaa muistitikulle jatkokäsittelyä varten.

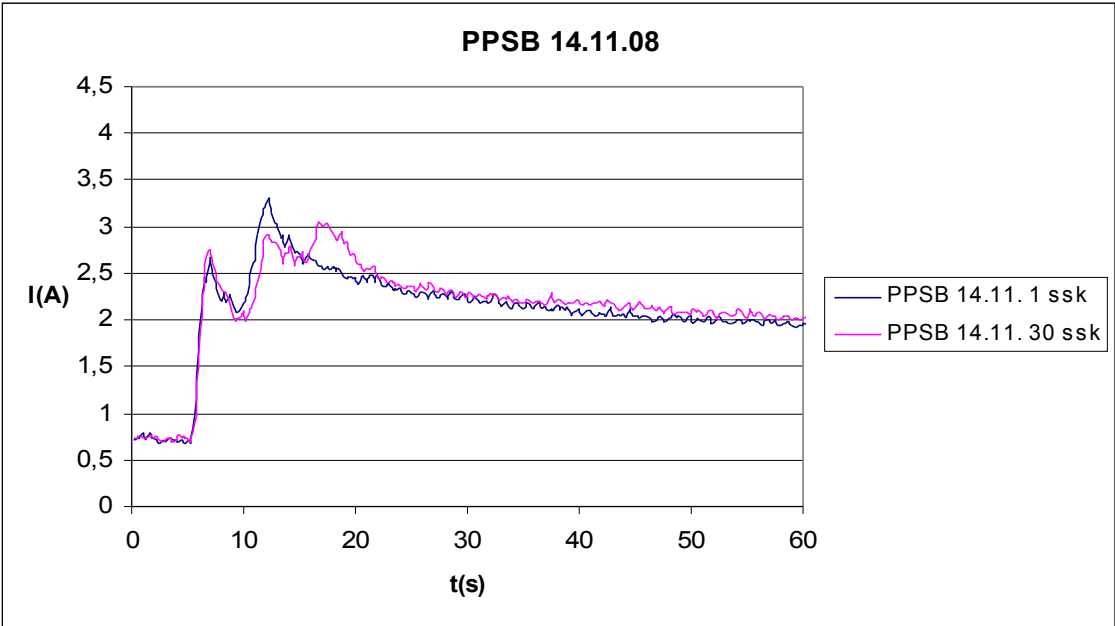
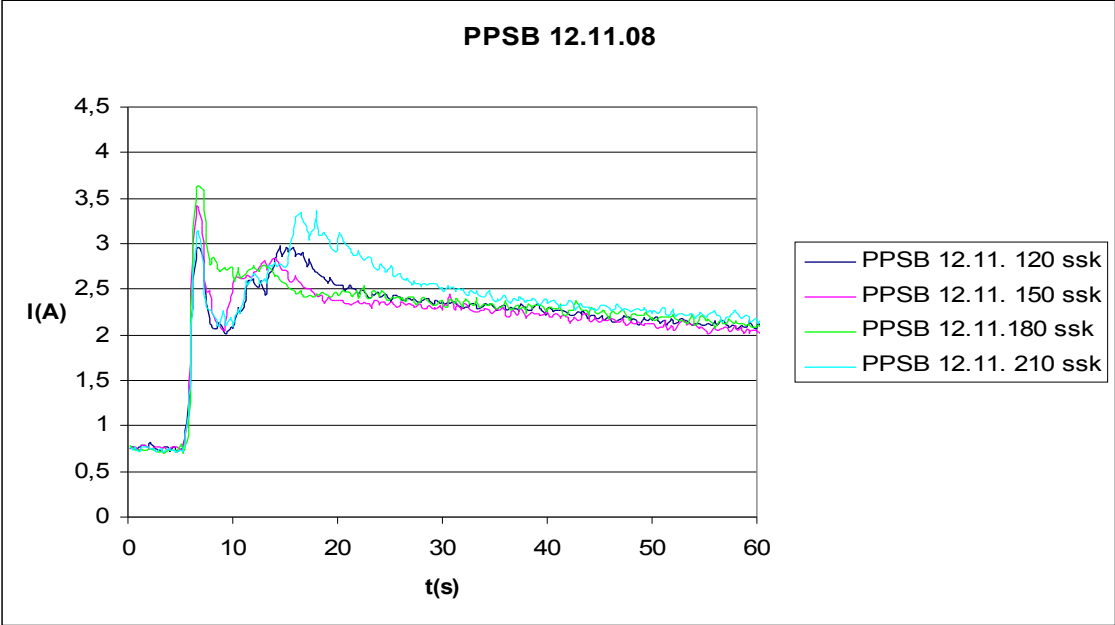
FORCEQ-LAITTEEN KUVAAJAT KAIKILLE NÄYTTEILLE

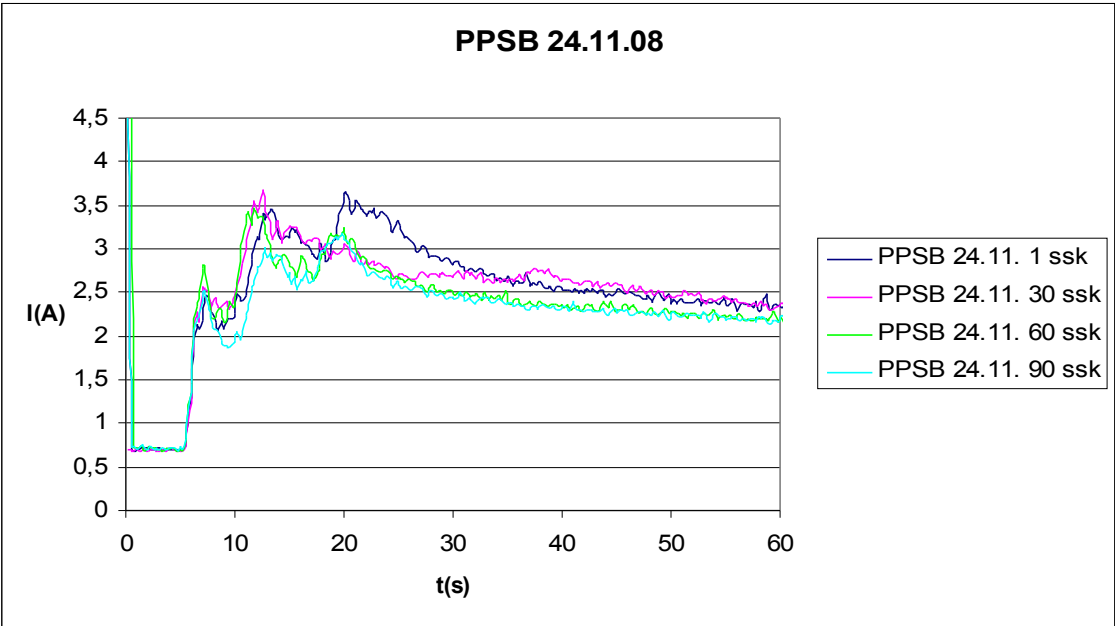
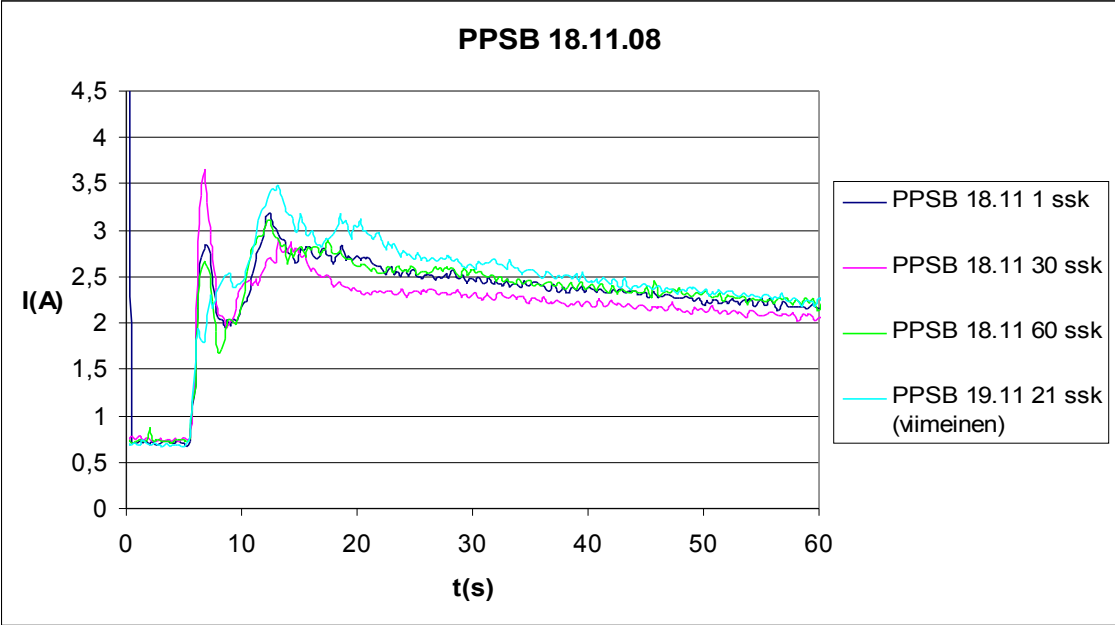


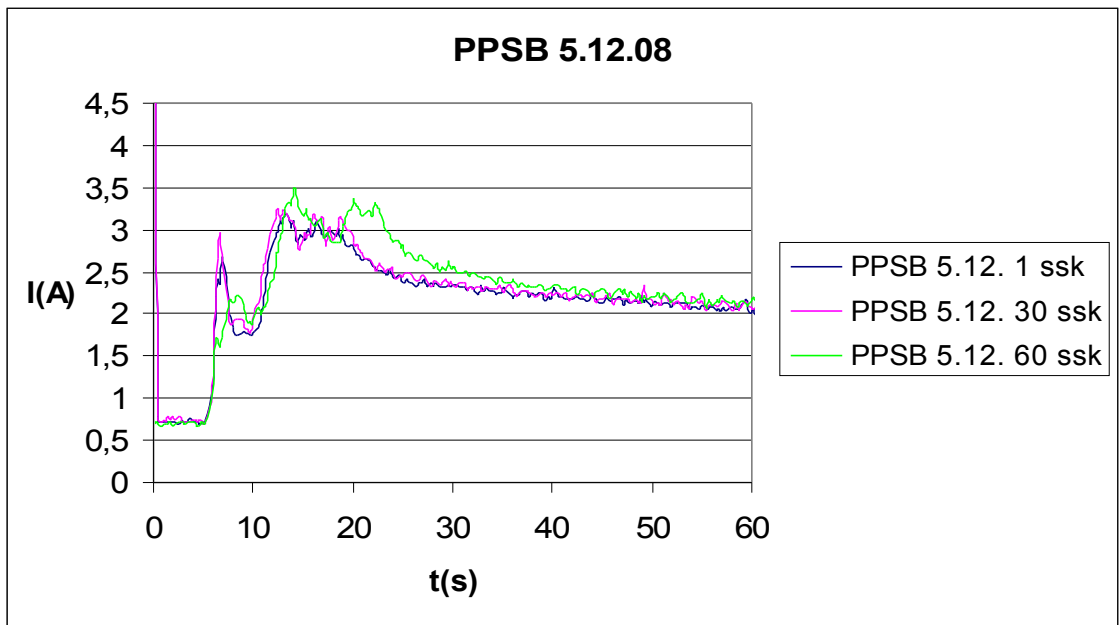
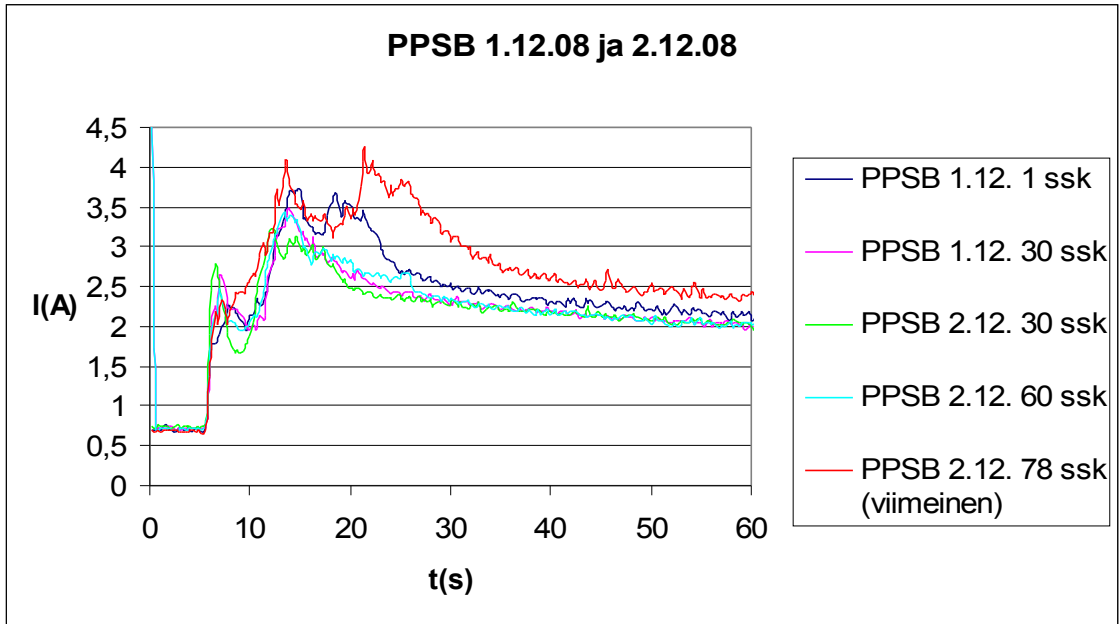


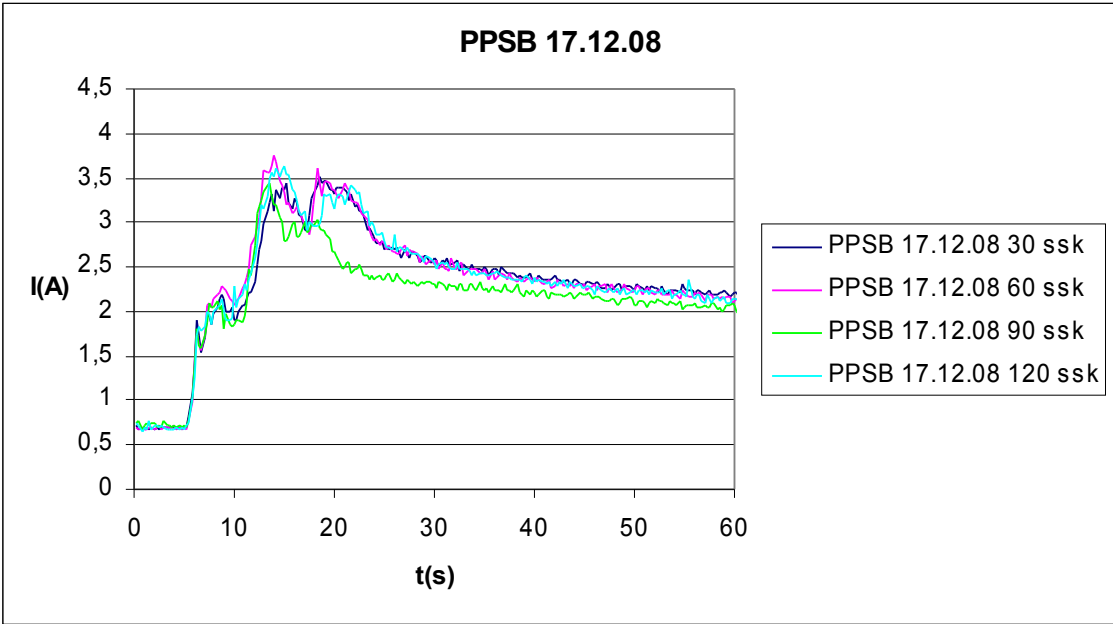
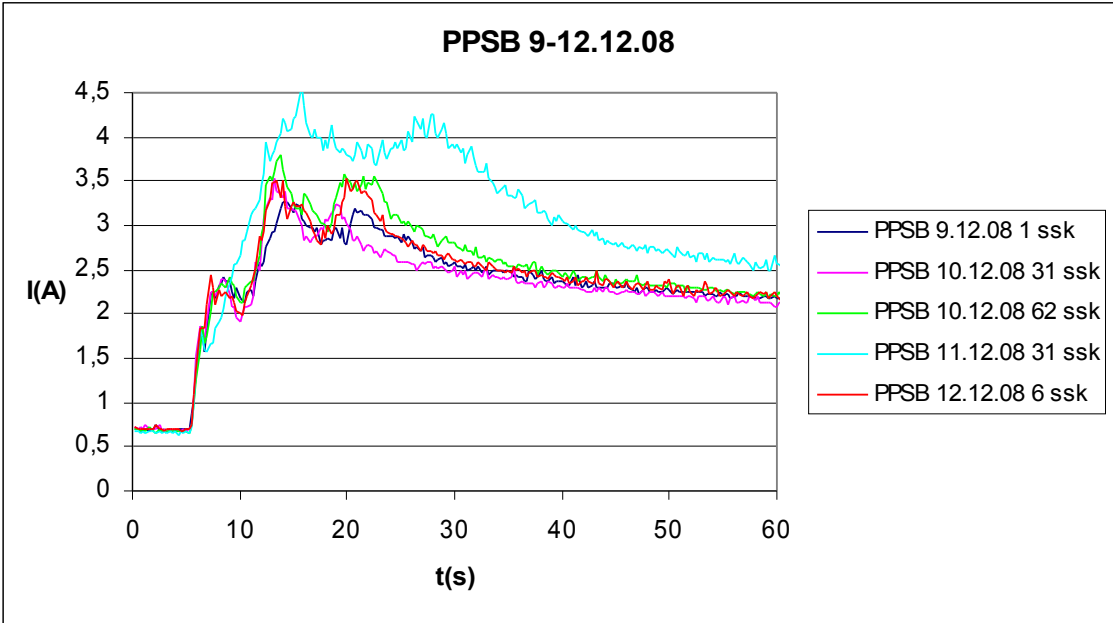


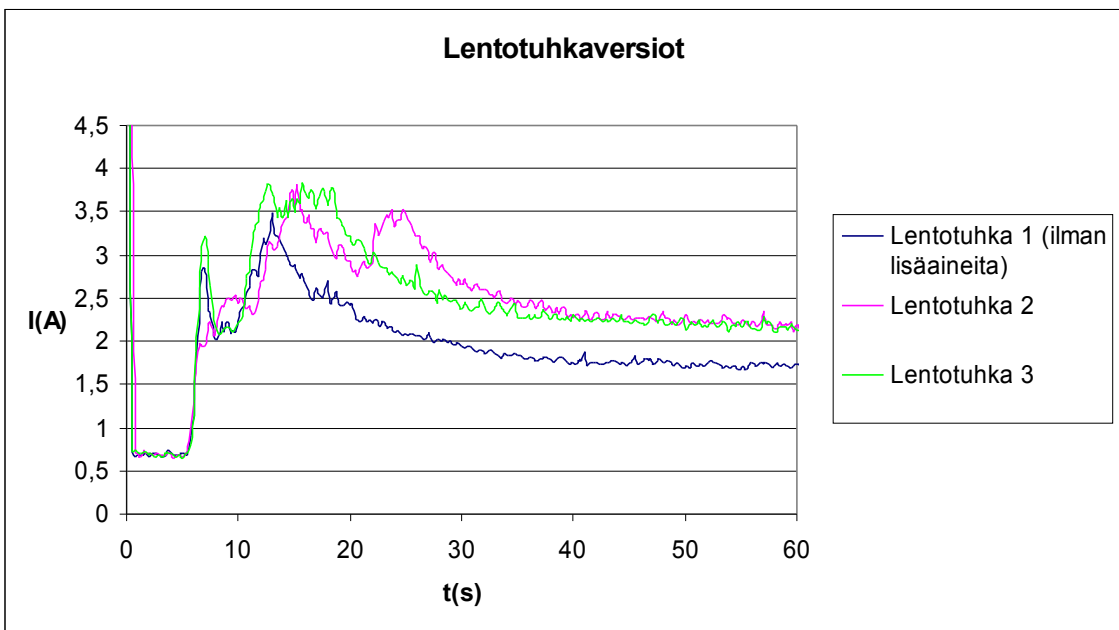
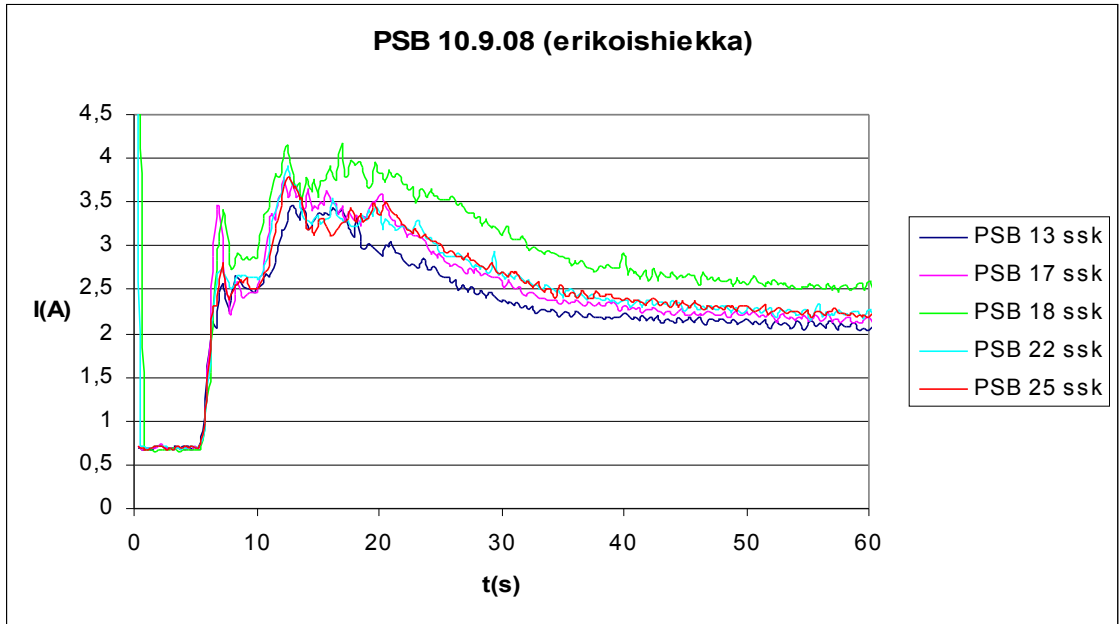


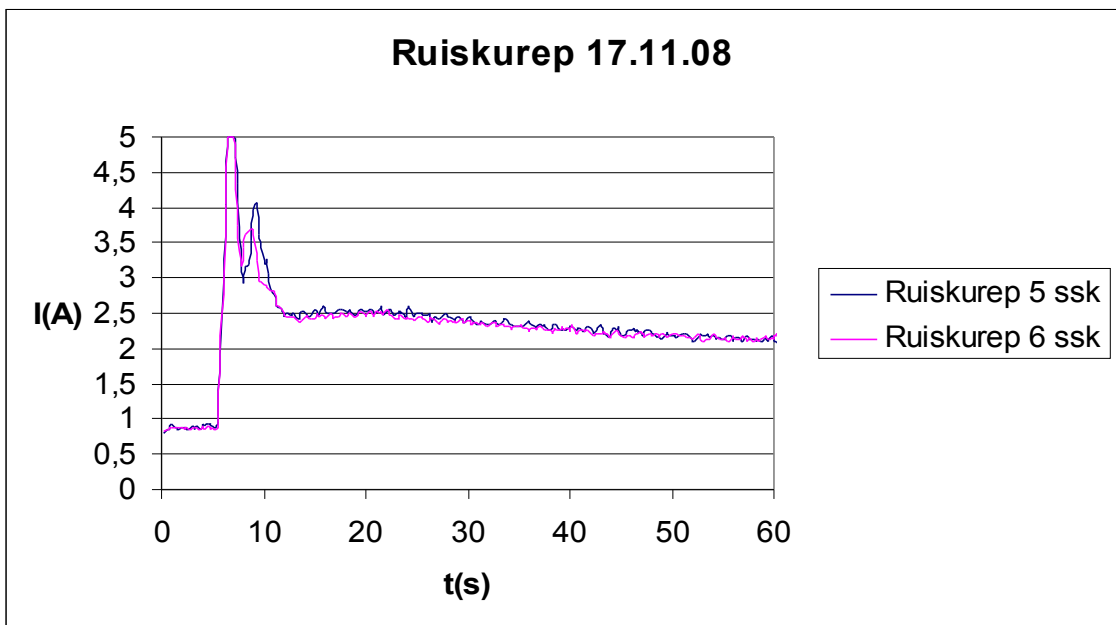
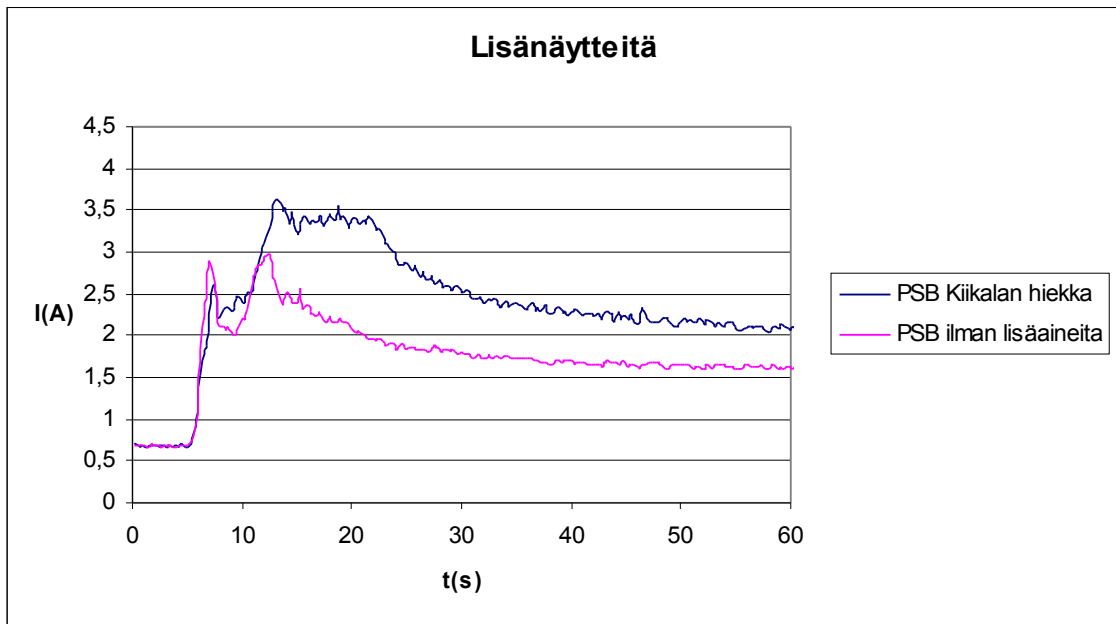












PYSTYSAUMABETONIN JA PAKKASPYSTYSAUMABETONIN TULOKSET KAIKILLE MENETELMILLE

Taulukko. Pystysaumabetonin tulokset

Päivämäärä	Säkin numero	Vedenpidätyskyky (%)	I(A) (ForcEq)	Suurimman vastuksen aika (s)	Leviämä (mm)	Läpäisy (0,125 mm:n seula)
10.9.2008	13	93,6	3,46	13	155	36,9
10.9.2008	17	93,7	3,79	12,25	158	37,4
10.9.2008	18	95,0	4,17	17	132	40,9
10.9.2008	22	94,4	3,91	12,5	152	38,2
10.9.2008	25	94,5	3,79	12,5	154	36,7
22.10.2008	30	93,3	3,27	16,5	162	36,3
22.10.2008	60	92,8	3,68	17	162	37,2
22.10.2008	90	93,5	3,62	17,75	163	36,6
22.10.2008	120	93,7	3,74	16,5	163	37,6
27.10.2008	1	93,7	3,27	11,75	154	36,4
27.10.2008	60	94,4	3,39	18	150	36,8
27.10.2008	90	94,0	3,7	16,5	158	35,7
27.10.2008	120	94,2	3,28	19,25	161	37,1
4.11.2008	1	94,0	3,34	17,5	161	36,8
4.11.2008	30	94,5	3,75	12	158	38,1
7.11.2008	1	93,8	3,01	16,25	162	34,2
7.11.2008	30	92,7	3,26	19,25	162	35,9
7.11.2008	51 (viimeinen)	94,9	3,88	12,75	149	38,1
14.11.2008	1	90,1	2,68	11,75	182	35,2
17.11.2008	1	91,9	3,17	11,75	175	35,8
17.11.2008	30	91,8	3,04	15,5	182	36,0
17.11.2008	36 (viimeinen)	92,3	3,04	15	169	36,4
17.11.2008	Ruiskurep 5ssk	94,6	4,07	9,25	154	33,1
17.11.2008	Ruiskurep 6ssk	94,7	3,71	9	149	32,9
25.11.2008	Lentotuhka 1 (lisäaineeton)	89,5	3,48	13	173	35,9
25.11.2008	Lentotuhka 2	93,3	3,81	15,25	153	36,2
25.11.2008	Lentotuhka 3	92,2	3,83	15,75	153	33,3
25.11.2008	Kiikalan hiekka	93,0	3,64	13,25	160	39,3
25.11.2008	PSB (lisäaineeton)	88,0	2,98	12,5	178	35,4
8.12.2008	Referenssi 1	93,2	3,08	12,5	165	36,3
8.12.2008	Referenssi 2	92,9	3,43	14	164	36,5
8.12.2008	Referenssi 3	93,6	3,58	13,5	160	36,3
8.12.2008	Referenssi 4	92,9	3,77	14,25	161	35,9
8.12.2008	Referenssi 5	92,9	3,89	13,75	163	36,1
Raja-arvot		92 - 95			143 - 163	35 - 39

Taulukko. Pakkaspystysaumabetonin tulokset kaikille menetelmille

Päivämäärä	Säkin numero	Vedenpidätyskyky (%)	I(A) (ForcEq)	Suurimman vastuksen aika (s)	Leviämä (mm)	Läpäisy (0,125 mm:n seula)
27.10.2008	1	93,0	2,18	13		33,7
27.10.2008	30	95,3	3,39	18	149	35,6
27.10.2008	60	93,3	3,84	12,25	144	35,7
12.11.2008	120	90,1	2,99	14,5	164	35,1
12.11.2008	150	90,4	2,84	14,25	164	34,0
12.11.2008	180	90,6	2,77	12 ja 13	155	36,9
12.11.2008	210	91,2	3,34	16,5	152	36,0
14.11.2008	1	89,8	3,31	12,25	150	36,6
14.11.2008	30	92,5	3,06	16,75	140	34,5
18.11.2008	1	90,8	3,19	12,5	150	37,6
18.11.2008	30	92,1	2,87	14,25	151	35,8
18.11.2008	60	93,3	3,11	12,25	148	37,0
19.11.2008	21 (viimeinen)	93,5	3,48	13,25	144	38,0
24.11.2008	1	93,6	3,55	21,25	134	36,4
24.11.2008	30	95,0	3,67	12,5	143	36,2
24.11.2008	60	93,6	2,28	12,25	145	36,8
24.11.2008	90	94,1	3,19	19,75	148	37,1
1.12.2008	1	90,8	3,74	14,75	148	36,0
1.12.2008	30	89,9	3,48	14	153	35,8
2.12.2008	30	91,8	3,22	12,25	150	35,6
2.12.2008	60	91,1	3,43	13,5	151	35,4
2.12.2008	78 (viimeinen)	90,5	4,25	21,5	136	37,9
5.12.2008	1	91,9	3,13	13,5	148	34,8
5.12.2008	30	91,8	3,25	12,5	151	35,0
5.12.2008	60	92,6	3,5	14,25	147	35,3
9.12.2008	1	93,3	3,25	15,25	158	35,3
10.12.2008	31	92,8	3,53	13,25	160	35,8
10.12.2008	62	92,8	3,8	13,75	157	36,6
11.12.2008	31	92,4	4,58	15,75	150	37,9
12.12.2008	6	93,2	3,52	14	156	35,1
17.12.2008	30	93,6	3,39	14,75	161	35,1
17.12.2008	60	92,6	3,75	14	160	34,5
17.12.2008	90	91,8	3,45	13,5	158	33,9
17.12.2008	120	93,3	3,93	15	146	37,0
8.12.2008	Referenssi 1	91,8	3,77	20,25	153	36,3
8.12.2008	Referenssi 2	92,4	3,85	21,25	150	37,4
8.12.2008	Referenssi 3	92,1	3,69	20,5	152	37,8
8.12.2008	Referenssi 4	92,1	3,72	18	152	37,0
8.12.2008	Referenssi 5	92,6	3,74	19	150	37
Raja-arvot		89 - 94			143 - 163	32 - 38

T-TESTIEN TAULUKOT KAIKILLE MENETELMILLE KUMMALLAKIN TUOTTEELLA**Taulukko. Pystysaumabetonin tuloksia ForcEq-laitteelle**

Päivämäärä	Näyte1 (A)	Näyte2 (A)	Näyte3 (A)	Näyte4 (A)	Näyte5 (A)	KA (A)	s (A)	t- laskettu		t- taulukko
10.9.2008	3,46	3,79	4,17	3,91	3,79	3,82	0,256	2,39	<	2,78
22.10.2008	3,27	3,68	3,62	3,74		3,58	0,211	0,26	<	3,18
27.10.2008	3,27	3,39	3,7	3,28		3,41	0,201	1,39	<	3,18
4.11.2008	3,34	3,68				3,51	0,240	0,24	<	12,71
7.11.2008	3,01	3,26	3,88			3,38	0,448	0,64	<	4,30
14.11– 17.11.2008	2,68	3,17	3,04	3,04		2,98	0,211	5,38	>	3,18
Referenssi	3,08	3,43	3,58	3,77	3,89	3,55	0,316	0,00		2,57

Taulukko. Pakkaspystysaumabetonin tuloksia ForcEq-laitteelle

Päivämäärä	Näyte1 (A)	Näyte2 (A)	Näyte3 (A)	Näyte4 (A)	Näyte5 (A)	KA (A)	s (A)	t- laskettu		t- taulukko
27.10.2008	2,18	3,39	3,84			3,14	0,859	1,25	<	4,30
12.11.2008	2,99	2,84	2,77	3,34		2,99	0,254	6,06	>	3,18
14.11.2008	3,31	3,06				3,19	0,177	4,55	<	12,71
18.11– 19.11.2008	3,19	2,87	3,11	3,48		3,16	0,252	4,70	>	3,18
24.11.2008	3,55	3,67	2,28	3,19		3,17	0,629	1,85	<	3,18
1.12-2.12.2008	3,74	3,48	3,22	3,43	4,25	3,62	0,396	0,73	<	2,78
5.12.2008	3,13	3,25	3,5			3,29	0,189	4,23	<	4,30
9.12– 12.12.2008	3,25	3,53	3,8	4,58	3,52	3,74	0,510	0,08	<	2,78
17.12.2008	3,39	3,75	3,45	3,93		3,63	0,255	0,97	<	3,18
Referenssi	3,77	3,85	3,69	3,72	3,74	3,75	0,061	0,00		2,57

Taulukko. Pystysaumabetonin tuloksia vedenpidätyskyvylle

Päivämäärä	Näyte1 (%)	Näyte2 (%)	Näyte3 (%)	Näyte4 (%)	Näyte5 (%)	KA (%)	s (%)	t- laskettu		t- taulukko
10.9.2008	93,6	93,7	95	94,4	94,5	94,24	0,586	4,35	>	2,78
22.10.2008	93,3	92,8	93,5	93,7		93,33	0,386	1,17	<	3,18
27.10.2008	93,7	94,4	94	94,2		94,08	0,299	6,53	>	3,18
4.11.2008	94	94,5				94,25	0,354	4,60	<	12,71
7.11.2008	93,8	92,7	94,9			93,80	1,100	1,10	<	4,30
14.11– 17.11.2008	90,1	91,9	91,8	92,3		91,53	0,974	3,23	>	3,18
Referenssi	93,2	92,9	93,6	92,9	92,9	93,10	0,308	0,00		2,57

Taulukko. Pakkaspystysaumabetonin tulokset vedenpidätyskyvylle

Päivämäärä	Näyte1 (%)	Näyte2 (%)	Näyte3 (%)	Näyte4 (%)	Näyte5 (%)	KA (%)	s (%)	t-laskettu		t-taulukko
27.10.2008	93,0	95,3	93,3			93,87	1,250	2,31	<	4,30
12.11.2008	90,1	90,4	90,6	91,2		90,58	0,465	7,00	>	3,18
14.11.2008	89,8	92,5				91,15	1,909	0,78	<	12,71
18.11– 19.11.2008	90,8	92,1	93,3	93,5		92,43	1,247	0,36	<	3,18
24.11.2008	93,6	95,0	93,6	94,1		94,08	0,660	5,68	>	3,18
1.12–2.12.2008	90,8	89,9	91,8	91,1	90,5	90,82	0,705	4,38	>	2,78
5.12.2008	91,9	91,8	92,6			92,10	0,436	0,40	<	4,30
9.12– 12.12.2008	93,3	92,8	92,8	92,4	93,2	92,90	0,361	4,34	>	2,78
17.12.2008	93,6	92,6	91,8	93,3		92,83	0,802	1,56	<	3,18
Referenssi	91,8	92,4	92,1	92,1	92,6	92,20	0,308	0,00		2,57

Taulukko. Pystysaumabetonin tulokset 0,125 mm:n seulan läpäisylle

Päivämäärä	Näyte1 (%)	Näyte2 (%)	Näyte3 (%)	Näyte4 (%)	Näyte5 (%)	KA (%)	s (%)	t-laskettu		t-taulukko
10.9.2008	36,9	37,4	40,9	38,2	36,7	38,02	1,711	2,35	<	2,78
22.10.2008	36,3	37,2	36,6	37,6		36,93	0,585	2,41	<	3,18
27.10.2008	36,4	36,8	35,7	37,1		36,50	0,606	0,93	<	3,18
4.11.2008	36,8	38,1				37,45	0,919	1,89	<	12,71
7.11.2008	34,2	35,9	38,1			36,07	1,955	0,14	<	4,30
14.11– 17.11.2008	35,2	35,8	36	36,4		35,85	0,500	1,48	<	3,18
Referenssi	36,3	36,5	36,3	35,9	36,1	36,22	0,228	0,00		2,57

Taulukko. Pakkaspystysaumabetonin tulokset 0,125 mm:n seulan läpäisylle

Päivämäärä	Näyte1 (%)	Näyte2 (%)	Näyte3 (%)	Näyte4 (%)	Näyte5 (%)	KA (%)	s (%)	t-laskettu		t-taulukko
27.10.2008	33,7	35,6	35,6			34,97	1,097	3,37	<	4,30
12.11.2008	35,1	34,0	36,9	36,0		35,50	1,241	2,58	<	3,18
14.11.2008	36,6	34,5				35,55	1,485	1,48	<	12,71
18.11– 19.11.2008	37,6	35,8	37,0	38,0		37,10	0,959	0,00	<	3,18
24.11.2008	36,4	36,2	36,8	37,1		36,63	0,403	2,36	<	3,18
1.12–2.12.2008	36,0	35,8	35,6	35,4	37,9	36,14	1,009	2,13	<	2,78
5.12.2008	34,8	35,0	35,3			35,03	0,252	14,22	>	4,30
9.12– 12.12.2008	35,3	35,8	36,6	37,9	35,1	36,14	1,141	1,88	<	2,78
17.12.2008	35,1	34,5	33,9	37,0		35,13	1,343	2,94	<	3,18
Referenssi	36,3	37,4	37,8	37,0	37,0	37,10	0,557	0,00		2,57

Taulukko. Pystysaumabetonin tulokset leviämälle

Päivämäärä	Näyte1 (mm)	Näyte2 (mm)	Näyte3 (mm)	Näyte4 (mm)	Näyte5 (mm)	KA (mm)	s (mm)	t- laskettu		t- taulukko
10.9.2008	155	158	132	152	154	150,20	10,402	2,67	<	2,78
22.10.2008	162	162	163	163		162,50	0,577	0,35	<	3,18
27.10.2008	154	150	158	161		155,75	4,787	2,86	<	3,18
4.11.2008	161	158				159,50	2,121	2,07	<	12,71
7.11.2008	162	162	149			157,67	7,506	1,14	<	4,30
14.11– 17.11.2008	182	175	182	169		177,00	6,272	4,59	>	3,18
Referenssi	165	164	160	161	163	162,60	2,074	0,00		2,57

Taulukko. Pakkaspystysaumabetonin tulokset leviämälle

Päivämäärä	Näyte1 (mm)	Näyte2 (mm)	Näyte3 (mm)	Näyte4 (mm)	Näyte5 (mm)	KA (mm)	s (mm)	t- laskettu		t- taulukko
27.10.2008		149	144			146,50	3,536	2,40	<	4,30
12.11.2008	164	164	155	152		158,75	6,185	2,38	<	3,18
14.11.2008	150	140				145,00	7,071	1,28	<	12,71
18.11– 19.11.2008	150	151	148	144		148,25	3,096	2,04	<	3,18
24.11.2008	134	143	145	148		142,50	6,028	2,95	<	3,18
1.12– 2.12.2008	148	153	150	151	136	147,60	6,731	1,26	<	2,78
5.12.2008	148	151	147			148,67	2,082	2,27	<	4,30
9.12– 12.12.2008	158	160	157	150	156	156,20	3,768	2,85	>	2,78
17.12.2008	161	160	158	146		156,25	6,946	1,40	<	3,18
Referenssi	153	150	152	152	150	151,40	1,342	0,00		2,57