
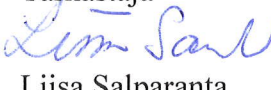
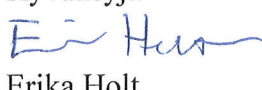




Juotoslaastien erottuminen ja tunkeutuvuus betoniterästangon ja ankkurointireiän väliin

Kirjoittaja: Hannele Kuosa

Luottamuksellisuus: julkinen

Raportin nimi Juotoslaastien erottuminen ja tunkeutuvuus betoniterästangon ja ankkurointireiän väliin		
Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot Liikennevirasto, STUK, Helsingin kaupunki, Tampereen kaupunki	Asiakkaan viite	
Projektin nimi Betonitekniset taitorakennetutkimukset 2011	Projektin numero/lyhytnimi 74817 / BTS2011	
Raportin laatija Hannele Kuosa	Sivujen/liitesivujen lukumäärä 14 + 3	
Avainsanat betoni, ankkurointi, laasti, betoniterästanko	Raportin numero VTT-R-01840-12	
Tiivistelmä <p>Tutkimus on Betonitekniisten taitorakennetutkimusten alaprojekti. Se toteutettiin vuonna 2011 - 12. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää valittujen betoniterästankojen ankkurointilaastien käyttäytymistä pääosin tarkoitusta varten kehitettyjä standardoimattomia laboratorio-kokeita käyttäen. Tutkimus ei anna tietoa siitä, täyttääkö ankkurointiaine standardin [SFS-EN 1504-6] toiminnalliset vaatimukset.</p> <p>Tutkimuksessa selvitettiin ankkurointia simuloivin laboratorioskokein, miten betoniterästankojen ankkurointi onnistuu sekä tutkittiin kokeellisesti laastien työstettävyyttä, tilavuudenmuutos-, erottumis- ja vedenerottumiskäyttäytyminen. Lisäksi määritettiin laastien kuiva-aineiden rakeisuus.</p> <p>Ankkuroinnit onnistuivat yleisesti hyvin. Tutkitut laastit olivat kuitenkin monelta osin toisistaan poikkeavia. Erityisesti niiden viskositeettiominaisuudet olivat erilaisia. Lisäksi selviä eroja oli mm. sitoutumis- ja kovettumisnopeuksissa sekä alkuvaiheen tilavuudenmuutoksessa. Vedenerottumisessa ja myös muussa erottumisessa erot olivat vähäisempiä.</p> <p>Käytännön betoniterästankojen ankkurointityössä sekä valitun laastin käyttäytyminen että olosuhteet tulee tuntea hyvin ja ottaa tarkoin huomioon jotta ankkurointi onnistuisi parhaalla mahdollisella tavalla. Tuote-esitteessä annettua suurinta vesimäärää ei saa ylittää vaikka esimerkiksi laastin juoksevuus arvioitaisiin subjektiivisesti liian pieneksi. Sen sijaan tulee valita kulloinkin kaikilta ominaisuuksiltaan soveltuva laasti ja työmenetelmät.</p>		
Luottamuksellisuus	julkinen	
Espoo, 5.3.2012 Laatija  Hannele Kuosa Tutkija	Tarkastaja  Liisa Salparanta Tutkija	Hyväksyjä  Erika Holt Erikoistutkija
VTT:n yhteystiedot VTT, PL 1000, 02044 VTT, puh. 020 722 111 (vaihe), fax 020 722 7002		
Jakelu (asiakkaat ja VTT) Tilaajat VTT Kirjaamo		
<p style="text-align: center;"><i>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</i></p>		

Alkusanat

Tutkimus toteutettiin vuonna 2011 - 12. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää valittujen betoniterästankojen ankkurointilaastien käyttäytymistä pääsoin tarkoitusta varten kehitettyjä standardoimattomia laboratoriokeiteita käyttäen.

Tämä tutkimus ei anna tietoa siitä, täyttääkö ankkurointiaine standardin [SFS-EN 1504-6] toiminnalliset vaatimukset.

Tutkimus on Betoniteknisten taitorakennetutkimusten alaprojekti, jonka rahoittivat Liikennevirasto, Helsingin kaupunki, Tampereen kaupunki ja Säteilyturvakeskus. Tutkimukseen valittujen tuotteiden toimittamisesta tutkimukseen vastasivat tuotteiden edustajat.

Tutkimuksen johtoryhmään kuuluivat:

- Ossi Räsänen, liikennevirasto
- Jouko Lämsä, Liikennevirasto
- Mauno Alaluusua, Liikennevirasto
- Jari Louhivirta, Säteilyturvakeskus
- Risto Parkkila, Liikennevirasto/VR Track Oy
- Timo Rytönen, Helsingin kaupunki
- Petri Kantola, Tampereen kaupunki

Espoo, 5.3.2012

Hannele Kuosa

Sisällysluettelo

Alkusanat.....	2
1 Johdanto.....	4
2 Tavoite ja tutkimusperiaatteet.....	4
3 Laastit ja tutkimukset	5
3.1 Laastit	5
3.2 Tutkimukset.....	5
4 Massojen valmistus, massatiedot ja koetulokset	6
4.1 Massojen valmistus ja massatiedot.....	6
4.2 Koetulokset	7
5 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	11
Lähdeviitteet	13

1 Johdanto

Betoniterästankojen ankkuroinneissa käytetään ankkurointiaineita, jotka ovat standardin SFS-EN 1504-6 mukaan ”hydraulisiin sideaineisiin tai synteettisiin hartseihin tai näiden seokseen perustuvia aineita, jotka asennetaan notkeudeltaan nestemäisenä tai pastana harjaterästen juottamiseksi sementtibetonirakenteisiin”. [SFS-EN 1504]

Soveltuva ankkurointireiän halkaisija on suhteessa ankkurointiaineen ominaisuuksiin ja betoniterästangon halkaisijaan. Tyypillisesti reiän halkaisijan tulisi olla sementtipohjaista laastia käytettäessä 7 – 15 mm betoniterästangon halkaisijaa suurempi [SILKO 2.261]. Esimerkiksi Ø16 mm betoniterästankoa käytettäessä reiän tulisi olla kooltaan noin 30 mm.

Jos rakenteeseen ei voida porata halkaisijaltaan suuria reikiä, on etu, jos ankkurointi onnistuu vaikka betoniterästangon ja reiän välinen rako jää suhteellisen pieneksi.

Laastin ominaisuudet kuten työstettävyysominaisuudet ja kuiva-aineksen suurin raekoko sekä rakeisuus vaikuttavat siihen, kuinka suuri betoniterästanko voi olla suhteessa reiän halkaisijaan. Ankkuroinnin onnistumisen takaamiseksi huomiota tulee kiinnittää laastin osa-aineiden riittävän tehokkaaseen sekoittamiseen sekä työstettävyyssäikään. Betoniterästangon tartuntaa voi heikentävää myös juotoslaastin erottuminen tai kutistuminen. Laastin paisumisesta on etua, koska se voi parantaa tartuntaa. Kaupallisten laastien käyttöohjeita tulee noudattaa tarkoin ja esimerkiksi suurinta vesimäärää ei saa ylittää.

Tässä tutkimuksessa hankittiin tietoa tilaajan valitsemien laastien toiminnasta betoniterästankojen ankkurointiaineina pääosin tarkoitusta varten kehitettyjä standardoimattomia laboratoriokokeita käyttäen.

Standardi [SFS-EN 1504-6] määrittelee mm. toimivuutta koskevat vaatimukset ankkurointiaineille, joita käytetään betoniterästankojen ankkurointiin. Tämä tutkimus ei anna tietoa siitä täyttääkö ankkurointiaine standardin [SFS-EN 1504-6] toiminnalliset vaatimukset.

2 Tavoite ja tutkimusperiaatteet

Tavoitteena oli selvittää ankkurointia simuloivin laboratoriokokein, miten betoniterästankojen ankkurointi onnistuu valittuja kaupallisia laasteja käyttäen. Tavoitteena oli myös tutkia laboratoriokokein tutkimuksiin valittujen laastikoostumusten työstettävyys-, tilavuudenmuutos-, erottumis- ja vedenerottumiskäyttäytymistä. Lisäksi määritettiin laastien kuiva-aineiden rakeisuus.

Tutkimukseen valittiin tilaajan toimesta kuusi kaupallista laastituotetta, joiden katsottiin soveltuvan betoniterästankojen ankkurointiin.

Tutkimusta varten kehitettiin erityiset suhteellisen yksinkertaiset koemenetelmät, joilla halutut laastien ominaisuudet pystyttiin pääpiirteissään selvittämään. Menetelmät eivät olleet eurooppalaisen standardoinnin mukaisia menetelmiä. Tutkimus ei anna tietoa siitä, täyttyvätkö ankkurointiaineelle standardissa [SFS-

EN 1504-6] esitetyt toiminnalliset vaatimukset. Sementtipohjaisten tuotteiden toiminnalliset ominaisuudet ovat siirtymä ulosvetokokeessa ja kloridi-ionipitoisuus. [SFS-EN 1881, SFS-EN 1015-17]

3 Laastit ja tutkimukset

3.1 Laastit

Tutkimuksen valittiin 7 laastikoostumusta, jotka olivat joko eri tuotteita tai laastin vesimäärä oli erilainen.

3.2 Tutkimukset

Tutkimuksen laboratoriokokeet on esitetty Taulukossa 1. Standardoimattomien laboratoriokokeiden tarkempi kuvaus ja valokuvia kokeiden suorittamisesta on esitetty Liitteessä 1.

Massan valmistumisen jälkeen aloitettiin välittömästi vedenerottumis- ja tilavuudenmuutoskoe (pystysuuntainen akryyliputki). Heti sen jälkeen tehtiin betoniterästankojen tunkeutumiskoe (kalteva pahviputki). Pääsääntöisesti tunkeutumiskoe tehtiin ensin käyttäen betoniterästankoa Ø16 mm, seuraavaksi käyttäen betoniterästankoa Ø20 mm ja viimeiseksi käyttäen betoniterästankoa Ø12 mm. Lopuksi määritettiin laastin juoksevuus. Juoksevuuskokeen tekoajankohdaksi kirjattiin aika, joka oli kulunut laastin sekoittamisen aloittamisesta. Joissakin tapauksissa juoksevuus mitattiin lisäksi myös myöhempänä ajankohtana. Alkuvaiheen (0 – 3 h) tilavuudenmuutos määritettiin myös 1000 ml:n mittalasissa. Tätä koetta varten valmistettiin erillinen annos laastia. Kuivatuoitteiden rakeisuudet määritettiin standardin [SFS-EN 12192-1:2002] mukaisesti, mutta tätä tulosta ei esitetä tässä raportoinnissa.

Taulukko 1. Laboratoriokokeet.

Koe	Standardi	Kuvaus
Vedenerottuminen	Soveltaen SFS-EN 445 (kohta 4.5)	Akryyliputki: Øsisä30 mm; pituus n. 1000 mm (täyttö n. 970 mm:iin asti), pystysuorassa, ei betoniteräätankoa sisällä, täyttö heti massan valmistumisen jälkeen, mitataan erottuvan veden määrää (korkeutta putkessa), tuloksena 15 min - 2 h aikana erottunut vesimäärä [til.-%] (ks. Liite 1)
Tilavuudenmuutos	Soveltaen SFS-EN 445 (kohta 4.5)	Akryyliputki: Øsisä 30 mm; pituus n. 1000 mm (täyttö n. 970 mm:iin asti), pystysuorassa, ei betoniteräätankoa sisällä, täyttö heti massan valmistumisen jälkeen, mitataan laastin korkeutta (ei sisällä erottunutta vettä), tuloksena alkuvaiheen (15 min - 2 h) tilavuudenmuutos [til.-%] (ks. Liite 1)
Betoniteräätankojen (Ø 12 mm, Ø 16 mm ja Ø 20 mm) tunkeutuminen 'ankkurointireikään' Ø _{sisä} 30 mm	Soveltaen SFS-EN 445 (kohta 4.4)	<ul style="list-style-type: none"> Täytetään pahviputki (Øsisä 30 mm, pituus 500 mm, seinämän paksuus 3 mm, esikostutettu: 10 sekuntia lämpötilaltaan n. 13 oC vettä putkessa) osin laastilla (suppilo apuna), minkä jälkeen putki asetetaan kaltevuuteen 30°. Välittömästi tämän jälkeen putkeen työnnetään betoniteräätanko sen keskelle (apuna ohjurit). Kaikkiaan kolme tankokokoa, ensimmäiseen putkeen tanko Ø 16 mm ja jos Ø 16 mm:n tangon työntäminen putkeen onnistuu, toiseen putkeen Ø 20 mm ja kolmanteen Ø 12 mm. Laastin kovettumisen jälkeen pahviputki laitetaan noin 1 vuorokaudeksi veteen, minkä jälkeen pahvi poistetaan ja arvioidaan ankkuroinnin onnistuminen (betoniteräätangon tunkeutumissyvyys, laastin tiivistyminen, onkalot, huokokset).
Juoksevuudesta (suppilomenetelmä) ja massan lämpötila	SFS-EN 445 (kohta 4.3)	Laastin juoksevuus, mitattuna aikana [s], joka kuluu, kun 1 litra laastia valuu suppilosta (Ø _{aliosa} 10 mm). Samanaikaisesti mitataan massan lämpötila. Mittausjankoa kirjataan.
Alkuvaiheen tilavuudenmuutos mittalasisissa (1000 ml; h345 mm)	-	Laasti kaadetaan välittömästi sekoittamisen jälkeen mittalasiin. Laastin pinnan korkeusaema mitataan tämän jälkeen ajankohtina 15 min, 30 min, 45 min, 1 h, 2 h ja 3 h. Tuloksena laastin alkuvaiheen tilavuudenmuutos: paisuminen (+)/painuminen (-) [til.-%]
Rakeisuus	SFS-EN 12192-1:2002	Määritetään seulomalla kuivatuotteen rakeisuus. Seulakoot: 0,063 - 0,125 - 0,250 - 0,5 - 1 - 2 mm.

4 Massojen valmistus, massatiedot ja koetulokset

4.1 Massojen valmistus ja massatiedot

Laastimassat sekoitettiin käyttäen sekoitinta Hobart (astian koko 10 litraa; Kuva 1). Sekoituksen kulku on esitetty Taulukossa 2. Jos massan notkeutta jouduttiin kasvattamaan, oli sekoitusaika hieman pidempi kuin Taulukossa 2 esitetty (massat n:o 4 ja 7).

Kunkin valmistetun annoksen kuivatuotemäärä oli 10,4 kg. Tiedot valmistetuista massoista ja käytetyistä vesimääristä on esitetty Taulukossa 3.

Mittalasisissa tehtyyn tilavuudenmuutoskokeeseen valmistettiin erillinen laastiannos. Kuivatuotemäärä oli 3,0 kg ja sekoitus tehtiin käyttäen pientä laastisekoitinta (Hobart). Muutoin sekoitus tehtiin samoin kuin isomman annoksen sekoitus suuremmalla sekoittimella oli tehty.

Taulukko 2. Tiedot laastien sekoittamisesta.

Toimenpide	Aika [min]	Teho
Suurin osa vedestä sekoitusastiaan	0	1
Kuivatuotteen lisäys	0 - 1	1
Alkusekoitus	1 - 2	1
Loput vedestä	2 - 3	2
Kaavinta	3 - 4	0
Lisäsekoitus	4 - 5	2
Loppusekoitus (tehokas)	5 - 6	3 (= suurin teho)



Kuva 1. Laastit sekoitettiin käyttäen sekoitinta Hobart. Annoskoko oli noin 5 litraa (10,4 kg kuivatuotetta + valittu vesimäärä).

Taulukko 3. Valmistetut massat ja niiden vesimäärät.

N:o & annos	Vesimäärä [p.-%]
1	14,0
2	13,0
3	25,0
4	15,4
5	18,8
6a ¹⁾	12,0
6b ²⁾	12,0
7	13,3

1) Annoksella 6a testattiin betoniterästankokokoko Ø16.
2) Annoksella 6b testattiin betoniterästankokokoot Ø20 mm ja 12 mm.

4.2 Koetulokset

Taulukoissa 5 on esitetty pystysuuntaista akryyliputkea käyttäen saadut tulokset vedenerottumisesta ja tilavuudenmuutoksesta.

Taulukossa 4 on esitetty myös tulokset betoniterästankojen tunkeutumisesta ´ankkurointireikään´ (kalteva pahviputki). Kokeiden tekojärjestys oli: I) tanko Ø16 mm; II) tanko Ø20 mm ja III) tanko Ø12 mm. Massan n:o 6 tulokset vastaavat kahta annosta, joista ensimmäinen vastaa tankoa Ø16 mm.

Taulukossa 4 on esitetty myös juoksevuuskokeen tulokset ja kokeen tekohetkellä mitatut massojen lämpötilat sekä mittalasisissa tehdyn tilavuudenmuutoskokeen

tulokset. Taulukossa 4 on esitetty lisäksi joitakin massojen valmistuksen yhteydessä tehtyjä huomioita.

Taulukossa 5 on esitetty silmämääräiset havainnot laastien tiivistymisestä ´ankkurointireikiin´ eli pahviputkiin. Kuvassa 2 on valokuvat ankkuroinneista pahviputkien poistamisen jälkeen (yläpuoliset pinnat). Kuvassa 3 on esitetty betoniterästankojen tunkeutumissyvyudet graafisesti. Kuvassa 4 on esitetty valokuvia laastien pinnoista sekä kaltevassa asennossa olleiden pahviputkien että pystysuuntaisten akryyliputkien osalta tapauksissa, joissa laasti/putki-rajapinnalla oli havaittavissa ilmahuokosia.

Kuvassa 5 on esitetty kuivatuotteiden rakeisuudet. Numeeriset arvot on esitetty Liitteessä 2.



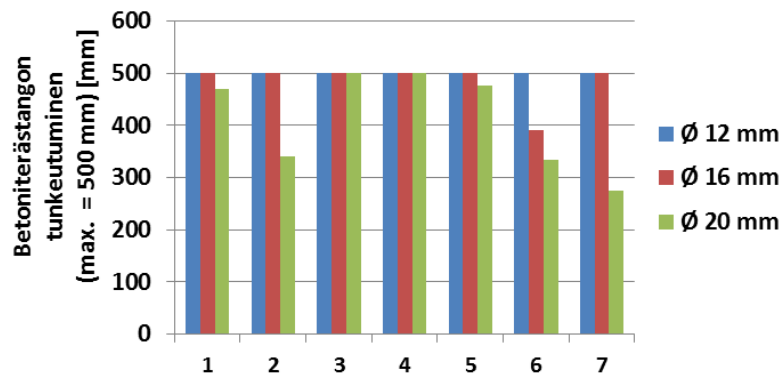
Kuva 2. Betoniterästankojen ´ankkuroinnit´ pahviputkien poistamisen jälkeen (yläpuoliset pinnat). Laastin n:o 2 osalta myös akryyliputkeen ankkuroitu betoniterästanko.

Taulukko 4. Betoniterästankojen tunkeutuminen, juoksevuus ja massan lämpötila, paisunta ja vedenerottuminen akryyliputkessa ja tilavuudenmuutos mittalasisissa sekä kokeissa tehtyjä huomioita.

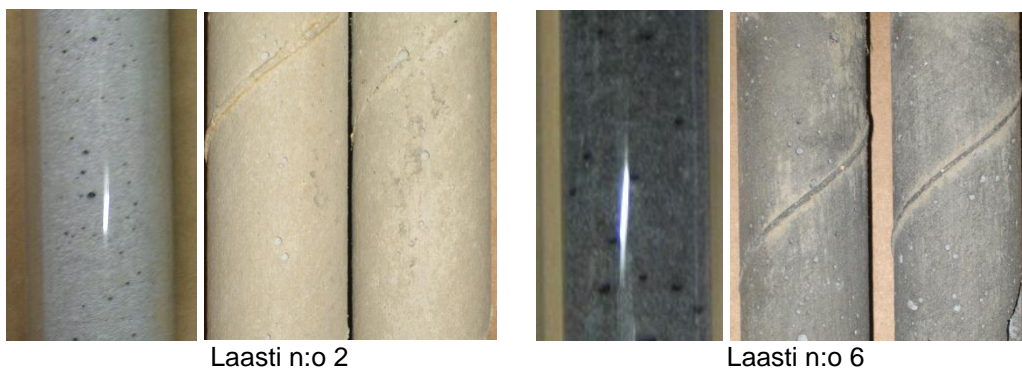
No & annos	Betoniterästankojen tunkeutuminen [mm]			Juoksevuuskoe (suppilo, alaosa Ø10 mm)			Akryyliputki (laasti h970 mm; Ø 30 mm)		1000 ml:n mittalasi (laasti h345 mm)	Huomioita
	Ø 12 mm	Ø 16 mm	Ø 20 mm	Aika sekoittamisen aloittamisesta [min]	Aika [s]	Lämpötila [°C]	Paisunta (n. 3 h) [til.-%]	Vedenerottuminen [til.-%]		
1	500	500	470	16/40	234/342	26,5/25,5	n. +0,80	0,0	ei määritetty	Ei havaittu erottumista sekoitusastiasa. Hyvä tiivistävyys.
2	500	500	340	23	440	22,6	0	0,0	-1,3 (painui) ¹⁾	Sekoitusastiassa havaittavissa pientä erottumista. 20 mm tanko ei tunkeutunut kokonaan 500 mm pitkään pärylputkeen, mutta tunkeutui 500 mm pitkään akryyliputkeen. Putkissa yläpinnalla huokosia (ks. valokuvat). 1) Mittalasi (1000 ml) hallennut ajankohtana 24 h, mikä viittaa siihen, että laasti paisui sen alkusitoutumisen (> 3 h) jälkeen.
3	500	500	500	10/30	87/125	21,2/21,7	-0,5 (painui)	<0,05	-0,6 (painui)	Sekoitusastiassa havaittavissa erottumista.
4	500	500	500	27	ei mennyt läpi	26,5	-0,9 (painui)	0,0	-0,8 (painui)	-
5	500	500	476	10/30	58/76	24,7/24,6	n. +0,4	0,1	+0,7	Sekoitusastiassa ei havaittu erottumista, vaikka massa oli suhteellisen juoksevaa
6a	-	390	-	12	ei mennyt läpi	28	-0,1 (painui)	0,0	-1,3 (painui)	Putkissa yläpinnalla huokosia (ks. valokuvat). Tuote-esiteessä annettu ilmapiroisuus: 3 - 5 %
6b	500	-	335	14	kovettunutta	-	-	-	-	Massa ei ollut juoksevaa. Kevyt tiivistys (koputtelu), jotta saatiin putkiin.
7	500	500	275	16	ei mennyt läpi	28,3	0	0,0	0,0	

Taulukko 5. Ankkurointien onnistumisen silmämääräinen arviointi. 'Ankkurointi-reiän' pinta eli putki/laasti-rajapinta.

N:o & annos	'Ankkurointireiän' pinta eli putki/laasti-rajapinta. Silmämääräinen arviointi.		
	Ø 12 mm	Ø 16 mm	Ø 20 mm
1	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia
2	hyvin tiivistynyt, yläpuolisessa pinnassa huokosia	hyvin tiivistynyt, yläpuolisessa pinnassa huokosia (ks. Kuva 4)	hyvin tiivistynyt, yläpuolisessa pinnassa huokosia (ks. Kuva 4)
3	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia
4	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia
5	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia
6a		yläpuolisessa pinnassa huokosia	
6b	hyvin tiivistynyt, yläpuolisessa pinnassa huokosia		hyvin tiivistynyt, yläpuolisessa pinnassa huokosia (ks. Kuva 4)
7	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia	hyvin tiivistynyt, ei huokosia



Kuva 3. Betoniterästagongojen tunkeutuminen. Kokeiden tekojärjestys oli: I) tanko Ø16 mm; II) tanko Ø20 mm ja III) tanko Ø12 mm. Massan n:o 6 tulokset vastaavat kahta annosta, joista ensimmäinen vastaa tankoa Ø16 mm.



Kuva 4. Pystysuoriin akryyliputkiin ja kalteviin (30°) pahviputkiin valetuissa laasteissa laasti/putki-rajapinnalla havaittuja ilmahuokosia. (pahviputkien yläpuoliset pinnat). Putkien sisähalkaisija oli 30 mm.

5 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Seuraavassa ankkurointikokeen eli betoniterästankojen tunkeutumisen osalta arviointi perustuu tapaukseen, jossa Ø16 mm betoniterästanko työnnettiin kaltevuudessa 30° olleeseen pahviputkeen, jonka sisähalkaisija oli Ø30 mm ja pituus 500 mm. Putkeen oli tätä ennen kaadettu ankkurointilaastia (putki pystyssä).

Betoniterästankojen (Ø16 mm) ankkurointi valittuja kaupallisia laasteja käyttäen onnistui pääosin hyvin (pahviputki Ø30 mm; pituus 500 mm) eli tulos oli 500 mm/500 mm.

Yhden laastin tapauksessa (n:o 6) tulos jäi vaillinaiseksi (390 mm/500 mm). Tämän laasti oli suhteellisen jäykkää ja lisäksi se jäykistyi ja kovettui erittäin nopeasti. Laastin nopean jäykistymisen takia tunkeutumista kaikilla kolmella betoniterästankokoolla ei ehditty testata ensimmäisellä valmistetulla annoksella (6a), minkä vuoksi valmistettiin toinen annos (6b).

Käytännössä laastin suurinta sallittua vesimäärää ei saa ylittää, jotta laastin lujuus- ja tartuntaominaisuudet eivät vaarannu. Sen sijaan esimerkiksi ankkurointireiän täyttötekniikka voidaan valita laastin viskositeettiominaisuuksien mukaisesti. Käytännössä pienimmällä sallitulla tai suhteellisen pienellä vesimäärällä huonosti juoksevan ja tiivistyvän massan pumppaaminen ankkurointireikään sen pohjalta alkaen todennäköisesti tekee sen käytön mahdolliseksi.

Kokeessa, jossa tutkittiin raudoitustangon tunkeutumista ankkurointireikään, tutkittujen laastien väliset erot ilmenivät erityisesti paksuimmalla tutkitulla tankokoolla, Ø20 mm. Betoniterästangon Ø20 mm ja putken välinen rako oli erittäin pieni (5 mm). Tulee kuitenkin huomata, että tähän tulokseen vaikutti mahdollisesti myös se, onnistuttiinko tanko työntämään ohjaimien avulla täysin keskelle kaltevaa pahviputkea. Tulosta Ø20 mm raudoitustangolle voidaankin pitää vain suuntaa antavana.

Tutkituilla laasteilla erottuminen ja vedenerottuminen eivät muodostuneet suureksi ongelmaksi. Vedenerottumista pystysuuntaisessa akryyliputkessa (laastikorkeus n. 970 mm) ei yleensä ollut havaittavissa tai se oli vähäistä (<0,1 %; <1 mm). Tosin kaksi massaa erottui ajan kuluessa sekoitusastiassa eli kiviainesrakeet painuivat jossain määrin alaspäin, mikä pienensi astian pohjalla olevan laastin työstettävyyttä. Sekoitusastiassa erottunutta massaa ei tulisi käyttää ilman homogenisointia. Vähäinenkin vedenerottuminen ja mahdollisesti myös kiviaineksen erottuminen voi vaikuttaa raudoitustangon ulosvetokokeessa saatavaan tulokseen. Siirtymä ulosvetokokeessa on varsinainen ankkurointiaineen toiminnallinen ominaisuus [SFS-EN 1504-6].

Yleisesti massan juoksevuuden ja erottumistaipumuksen välillä ei ole välttämättä yhteyttä. Myös hyvin juokseva ja tiivistyvä massa voi olla täysin stabiilia. Kysymys on siitä, miten massan koostumus kuten lisäaineet ja käytettyjen kuiva-ainesten hienous ja rakeisuus on optimoitu sekä juoksevuuden ja tiivistyvyyden että myös erottumattomuuden osalta. Käytännössä oleellista on, että massan juoksevuutta ei kasvateta lisäämällä siihen vettä yli ohjeellisen suurimman sallitun

määrän. Tämä voi lisätä herkästi ja selvästi erottumista, pienentää lujuutta ja heikentää ankkuroinnin tartuntaa.

Vaikka juoksevuuskokeessa saatu tulos eli aika, joka kului tietyn massamäärän valumiseen suppilosta, oli joissakin tapauksissa suhteellisen pitkä, ei tämä välttämättä tarkoittanut sitä, että ankkurointi olisi ollut vaikeaa. Ankkuroinnin onnistumisessa vaikuttavat kaikki massan tiivistyvyys- ja viskositeettiominaisuudet sekä rakeisuus. Työstöaika ja sekoittamisen jälkeen tapahtuvat viskositeettimuutokset vaikuttavat myös.

Tässä tutkimuksessa kokeet tehtiin laboratoriossa noin +20 °C:n lämpötilassa ja sekoitusveden lämpötila oli kaikissa tapauksissa noin +15 °C. Myös ympäristön ja massan lämpötila vaikuttavat massojen viskositeettiominaisuuksiin ja niiden muuttumiseen, mikä tulee käytännössä ottaa huomioon.

Laastin pieni suurin raekoko ja pieni karkean aineksen (esim. $d > 0,250 - 0,5$ mm) osuus ja voi olla eduksi betoniterästankojen tunkeutumisessa erityisesti silloin, kun tangon koko on suuri suhteessa reiän kokoon. Betoniterästankojen tunkeutumiseen vaikuttavat kuitenkin myös laastin viskositeettiominaisuudet ja sitoutumisnopeus.

Ainoastaan kahden massan (n:o 1 ja n:o 5) osalta oli havaittavissa selvä alkuvaiheen paisuminen pystysuuntaisessa akryyliputkessa (h970 mm), johon massa kaadettiin heti sekoittamisen jälkeen. Koska muiden osalta paisumista ei havaittu, tehtiin vastaava koe myös käyttäen 1000 ml:n mittalasia. Koetta ei kuitenkaan tehty laastille n:o 1, joka oli paisunut selvästi. Myös mittalasisissa paisumista havaittiin vain laastin n:o 5 osalta, joka oli paisunut myös akryyliputkessa. Muiden massojen osalta alkuvaiheen tilavuudenmuutosta ei havaittu (tulos 0,0 %) tai mittalasisissa (h345 mm) havaittiin laastipinnan painumista (0,6 - 1,3 % eli 2,1 - 4,5 mm). Yhden laastin osalta mittalasi oli haljenneena ajankohtana 24 h, mikä viittaa siihen, että laasti paisui kovettuneena alkuvaihetta myöhemmässä vaiheessa. Kaikkiaan jo sitoutuneen ja kovettuneen laastin paisumista ei voi havaita käytetyllä alkuvaiheen mittalasi menetelmällä. Alkuvaiheen paisumisesta voi olla hyötyä vain, jos ankkurointi ehditään tehdä ennen kuin paisuminen on päättynyt.

Yleisesti tutkimuksessa ankkuroinnit onnistuivat hyvin. Tutkitut laastit olivat kuitenkin monelta osin toisistaan poikkeavia. Erityisesti niiden reologiset ominaisuudet olivat erilaisia. Reologiaa ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa varsinaisesti tutkittu (reometrillä). Lisäksi selviä eroja oli mm. sitoutumis- ja kovettumisnopeuksissa sekä alkuvaiheen tilavuudenmuutoksessa. Myöskään alkutai loppusitoutumisaikaan ei varsinaisesti mitattu, mutta siitä saatiin kuitenkin likimääräinen käsitys. Kaikkien laastien seulakoon 2 mm läpäisy oli noin 100 %. Vedenerottumisessa ja myös muussa erottumisessa erot olivat vähäisempiä. Käytännön betoniterästankojen ankkurointityössä sekä valitun laastin käyttäytyminen että olosuhteet tulee tuntea hyvin ja ottaa tarkoin huomioon jotta ankkurointi onnistuisi parhaalla mahdollisella tavalla. Tuote-esitteessä annettua suurinta vesimäärää ei saa ylittää vaikka esimerkiksi laastin juoksevuus arvioitaisiin subjektiivisesti liian pieneksi. Sen sijaan tulee valita kulloinkin kaikilta ominaisuuksiltaan soveltuva laasti ja työmenetelmät.

Lähdeviitteet

SFS-EN 445. 2008. Ankkurijänteiden injektointilaasti. Testausmenetelmät. 14 p.

SFS-EN 1015-17. 2000. Muurauslaastien testimenetelmiä. Osa 17: tuoreen laastin vesiliukoisen kloridipitoisuuden määrittäminen. 7 s.

SFS-EN 1504-6. 2006. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Osa 6: betoniterästangon ankkurointi. 17 s.

SFS-EN 1881. 2007. Products and systems for the protection and repair of concrete structures. Test methods. Testing of anchoring products by the pull-out method. 8 p.

SFS-EN 14117. 2005. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Testausmenetelmät. Sementtipohjaisen injektointilaastin viskositeetin määrittäminen. 7 s.

SFS-EN 12192-1. 2002. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Rakeisuuden luokittelu. Osa 1: menetelmä esivalmisteisten laastien kuiva-aineksille. 8 s.

Standardoimattomien kokeiden kuvaus

Vedenerottuminen ja tilavuudenmuutos pystysuuntaista akryyliputkea käyttäen

Veden- erottuminen	Soveltaan SFS-EN 445 (kohta 4.5) Ks. alla olevat kuvat.	<ul style="list-style-type: none"> • Akryyliputki: $\varnothing_{\text{sisä}} 30$ mm; pituus n. 1000 mm (täyttö n. 970 mm:iin asti), pystysuorassa, ei betoniterästankoa sisällä • Täyttö heti massan valmistumisen jälkeen. • Mitataan erottuvan veden määrää (korkeutta putkessa). • Tuloksena 15 min - 2 h aikana erottunut vesimäärä [til.-%]
Tilavuuden- muutos	Soveltaan SFS-EN 445 (kohta 4.5) Ks. alla olevat kuvat.	<ul style="list-style-type: none"> • Akryyliputki: $\varnothing_{\text{sisä}} 30$ mm; pituus n. 1000 mm (täyttö n. 970 mm:iin asti), pystysuorassa, ei betoniterästankoa sisällä. • Täyttö heti massan valmistumisen jälkeen. • Mitataan laastin korkeutta (ei sisällä erottunutta vettä). • Tuloksena alkuvaiheen (15 min - 2 h) tilavuudenmuutos [til.-%]



A



B



C

Vedenerottumisen ja tilavuudenmuutoksen mittaaminen.

A) Laastin kaataminen akryyliputkeen.

B) Akryyliputket telineessä (yksi tyhjä ja kaksi laastilla täytettyä putkea)

C) Tilavuudenmuutoksen ja vedenerottumisen mittaaminen: merkitään laastipinnan korkeus heti putken täyttämisen jälkeen (viiva). Veden haihtuminen estetty muovitulpalla. Seurataan laastin tilavuuden muuttumista ja vedenerottumista.

Betoniterästankojen tunkeutuminen ´ankkurointireikään´

Betoniterästankojen (Ø12 mm, Ø16 mm ja Ø20 mm) tunkeutuminen ´ankkurointireikään´ Ø_{sisä}30 mm

Soveltaen SFS-EN 445 (kohta 4.4)

- Kostutetaan pahviputki (Ø_{sisä} 30 mm, pituus 500 mm, seinämän paksuus 3 mm) pitämällä putkessa 10 sekuntia lämpötilaltaan n. 13 °C vettä,
- Täytetään pahviputki osin laastilla (suppilo apuna), minkä jälkeen putki asetetaan kaltevuuteen 30°.
- Välittömästi tämän jälkeen putkeen työnnetään betoniterästanko sen keskelle (apuna ohjurit).
- Kaikkiaan kolme tankokokoa, ensimmäiseen putkeen tanko Ø16 mm ja jos Ø16 mm:n tangon työntäminen putkeen onnistuu, toiseen putkeen Ø20 mm ja kolmanteen Ø12 mm
- Laastin kovettumisen jälkeen pahviputki laitetaan noin 1 vuorokaudeksi veteen, minkä jälkeen pahvi poistetaan ja arvioidaan ankkuroinnin onnistuminen: betoniterästangon tunkeutumissyvyys, laastin tiivistyminen, onkalot, huokokset.



A



B



C



D

A) Esikostutetut pahviputket kaltevuudessa 30°.

B) Betoniterästangon työntäminen (tasaisesti) laastilla täytettyyn pahviputkeen.

C) Ylimääräinen laasti pursuaa putkesta ulos.

D) Betoniterästangot Ø16 mm, Ø20 mm ja Ø12 mm putkiin työnnettyinä.

Alkuvaiheen tilavuudenmuutos mittalasisissa

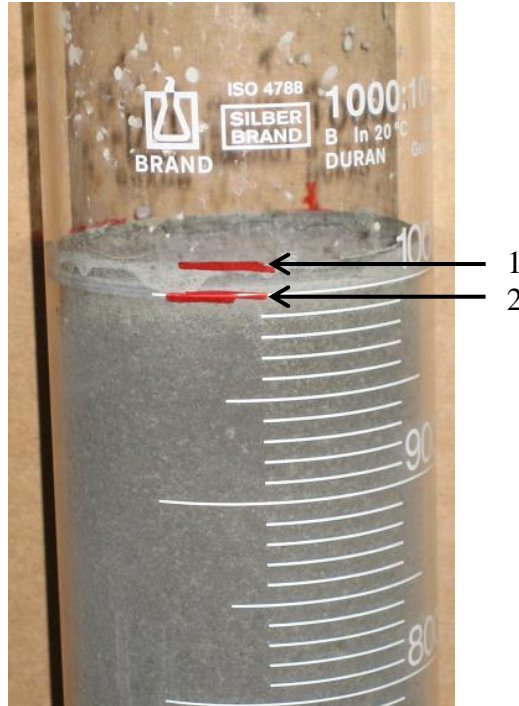
Alkuvaiheen tilavuudenmuutos mittalasisissa

Mittalasi:
1000 ml; h345 mm

- Laasti kaadetaan välittömästi sekoittamisen jälkeen mittalasiin.
- Laastipinnan korkeusasema mitataan tämän jälkeen ajankohtina 15 min, 30 min, 45 min, 1 h, 2 h ja 3 h.
- Tuloksena laastin alkuvaiheen tilavuudenmuutos: paisuminen (+)/painuminen (-) [til.-%]
- Menetelmällä ei saada tietoa siitä, paisuuko laasti myöhemmin eli 3 tunnin alkuvaiheen jälkeen.



A



B

A) Laasti 1000 ml:n mittalasisissa.

B) Laastipinnan korkeusaseman mittaaminen:

1) ajankohtana $t = 0$ h

2) ajankohtana $t = 3$ h