



Kyösti Laukkanen, Rainer Laaksonen

Kerrosstabilointien kehitysprojekti INFRA-STABIL

Projektin yhteenveto

Tiehallinnon selvityksiä 47/2007

Kyösti Laukkanen, Rainer Laaksonen

Kerrosstabilointien kehitysprojekti INFRA-STABIL

Projektin yhteenveto

Tiehallinnon selvityksiä 47/2007

Kannen kuva: Matti Juola, Andament Oy

ISSN 1457-9871
ISBN 978-951-803-966-5
TIEH 3201073

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)
ISSN 1459-1553
ISBN 978-951-803-967-2
TIEH 3201073-v

Edita Prima Oy
Helsinki 2008

Julkaisua myy/saatavana:
asiakaspalvelu.prima@edita.fi
Faksi 020 450 2470
Puhelin 020 450 011



Painotuote

Tiehallinto
Tietekniikka
Opastinsilta 12A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihde 0204 22 11

Kyösti Laukkanen, Rainer Laaksonen: Kerrosstabilointien kehitysprojekti INFRA-STABIL. Projektin yhteenveto. Helsinki 2007. Tiehallinto, Tietekniikka. Tiehallinnon selvityksiä 47/2007. 23 s. + liitt. 1 s. ISSN 1457-9871, ISBN 978-951-803-966-5, TIEH 3201073.

Asiasanat: tie, kantava kerros, koerakenteet, koetiet, komposiitti, masuunihiekka, rakenteen parantaminen, remix, sementtistabilointi, stabilointi, vaahtobitumi, käyttöikä, tuotehyväksyntä

TIIVISTELMÄ

INFRA-teknologiaohjelman projekti ”Tien kerrosstabiloinnin käyttöikä ja tuotehyväksyntä – Infra-Stabil” toteutettiin v. 2004-07. Tämä yhteenvetoraportti sisältää sen keskeiset tulokset.

Tutkimus koostui kolmesta osaprojektista:

- Bitumia sisältävien kerrosstabilointien kehittämistutkimus,
- Kerrosstabilointien täysmittakaavakoeket,
- Stabilointien käyttöiän arvioiminen ja tuotehyväksynnän kehittäminen.

Projektin tulokset esitetään kuudessa raportissa, jotka on julkaistu Tiehallinnon internet-sivulla osoitteessa: www.tiehallinto.fi. Projektin yhteenvetoraportti on julkaistu sekä paperimonisteenä että internet-sivulla suomen- ja englanninkielisenä versiona.

Stabilointi tehdään Suomessa yleensä käyttäen paikalta saatavaa materiaalia ja tämä asettaa huomattavia rajoituksia tarkkojen koostumusreseptien noudattamiselle. Onnistunut stabilointitulos edellyttää kuitenkin, että stabilointimenetelmät valintaan käyttökohteen mukaan, työn ennakkosuunnitteluun varataan riittävästi aikaa, massan koostumus pysyy ohjealueella ja että stabiloitava kerros tiivistetään hyvin.

Projektin keskeisiä tuloksia olivat:

- stabilointien ohjeellisia koostumuksia kehitettiin rakeisuuden ja sideainepitoisuuden osalta,
- vaahtobitumistabiloinnissa tulee yleensä käyttää tartuketta,
- kehitettiin stabilointien näytteenvalmistus- ja suhteitusohjeita,
- kehitettiin stabilointien tutkimusmenetelmiä,
- todettiin tiivistämisen ensisijainen merkitys stabiloinnin laadun kannalta sekä laboratoriossa että työmaalla,
- todettiin, että jäädytys-sulatusrasituksen määrä vaikuttaa merkittävästi stabiloitujen kerrosten jäykkyyden ja deformaatiokestävyyden säilymiseen,
- tuotettiin tutkimusaineisto stabilointien laatuvaatimusten tarkistamisen perusteeksi,
- kerättiin referenssiaineisto stabilointien mahdollisia tuotehyväksyntätutkimuksia varten,
- kehitettiin stabilointien käyttöiän arviointimenettelyjä.

Projektin keskeiset tulokset vietiin rakentamisohjeisiin samaan aikaan kuin tutkimusprojekti valmistui.

Kyösti Laukkanen, Rainer Laaksonen: Base course stabilization development project INFRA-STABIL. Summary report. Helsinki 2007. Finnish National Road Administration. FINNRA Report 47/2007. 23 p. + app. 1 p. ISSN 1457-9871, ISBN 978-951-803-966-5, TIEH 3201073.

Key words: base course, trial, composite, blast furnace slag, remix, cement, stabilization, foam bitumen, service life, product approval

ABSTRACT

The project "Service life and product approval of base course stabilizations – Infra-Stabil" was carried out during 2004-2007. This Summary report includes its essential results.

The study consisted of three parts:

- Development of bituminous base course stabilization
- Full scale trials with stabilized road bases
- Development of base course stabilization service life evaluation and product approval.

The results of the project are shown in six different reports, which have been published on the internet site of the Finnish Road Administration: www.tiehallinto.fi. The Summary report has been published both as a paper publication and on the internet in English and in Finnish.

In Finland base course stabilization is usually made using existing raw material from the construction site and this will set definite limitations for following exact recipes of mix composition. However, a successful stabilization result requires that the stabilization method is chosen based on the properties and conditions of the road, also assuming enough time has been allowed for preliminary planning, the mix composition stays in the defined area and that the stabilization course is compacted properly.

The essential results of the project were:

- changing the mix compositions (gradation and binder content),
- identifying that anti-stripping agent must usually be used in a foam stabilization mixture,
- changing methods in specimen preparation and mix design,
- changing test methods,
- confirming the dominating effect of compacting to quality both in the laboratory and on site,
- identifying that the number of freeze-thaw cycles has a significant effect on the stiffness modulus and consistency of deformation resistance,
- producing research material for the basis of the requirements readjustment for stabilizations,
- obtaining reference data for possible product approval studies of stabilizations,
- developing service life evaluation methods for stabilizations.

The essential results of the project were taken into account in the construction specifications at the same time as the research project was completed.

ESIPUHE

Tutkimus on osa INFRA-teknologiaohjelman projektista "Tien kerrosstabiloinnin käyttöikä ja tuotehyväksyntä" (Infra-Stabil). Tutkimuksen rahoittajat olivat Tekes, Tiehallinto, Destia, Andament Oy, Lemminkäinen Oyj, NCC Roads Oy, Skanska Asfaltti Oy, Valtatie Oy, Rautaruukki Oyj ja Finnsementti Oy. Projektin johtoryhmään kuuluivat:

Lars Forstén	Lemminkäinen Oyj, pj.
Tom Warras 31.8.2005 asti	TEKES
Osmo Rasimus 1.9.2005 – 31.5.2006	TEKES
Ilkka Jussila 1.9.2006 alkaen	TEKES
Harto Rätty 28.2.2006 asti	Infra-teknologiaohjelma
Kari Lehtonen	Tiehallinto
Teuvo Kasari	Destia
Seppo Määttänen	Lemminkäinen Oyj
Harri Ahola	Skanska Asfaltti Oy
Jukka Juola	Andament Oy
Alpo Mänttari 31.12.2005 asti	NCC Roads Oy
Petri Järvensivu 1.1.2006 alkaen	NCC Roads Oy
Sami Horttanainen	Valtatie Oy
Marko Mäkikyry	Rautaruukki Oyj
Pia Rämö	Finnsementti Oy

Lisäksi tutkimusta ohjaavaan laajennettuun johtoryhmään kuuluivat seuraavat henkilöt:

Arvo Lähde	Tiehallinto, Vaasan tiepiiri
Mats Reihe 31.12.2006 asti	Tiehallinto
Tuomo Kallionpää	Tiehallinto
Katri Eskola	Tiehallinto
Taina Rantanen 30.4.2005 asti	Ins.tsto A-Tie Oy
Laura Apilo 31.8.2005 asti	VTT
Heikki Kukko 1.9.2005 alkaen	VTT
Rainer Laaksonen	VTT
Kyösti Laukkanen	VTT

Projektin johtoryhmä asetti työn tutkimusmenetelmäteknisiä asioita ohjaamaan pienryhmän, johon kuuluivat:

Lars Forstén	Lemminkäinen Oyj
Ilmo Hyyppä 30.4.2006 asti	TKK
Ville Alatyppö 1.5.2006 alkaen	TKK
Rainer Laaksonen	VTT
Kyösti Laukkanen	VTT

Tutkimusraportin ovat laatineet dipl.ins. Kyösti Laukkanen ja dipl.ins. Rainer Laaksonen VTT:sta.

Helsingissä joulukuussa 2007

Tiehallinto
Tietekniikka

Sisältö

1	YLEISTÄ	9
2	TUTKIMUSTULOKSET	11
	2.1 Bitumia sisältävien kerrosstabilointien kehittäminen	11
	2.2 Täysmittakaavakokeet	13
	2.3 Stabilointien käyttöiän arvioiminen ja tuotehyväksynnän kehittäminen	15
	2.4 Tutkimustulosten hyödyntäminen	16
3	MENETELMIEN ARVIOINTI	17
	3.1 Suhteitusmenetelmät	17
	3.2 Laboratoriokoemenetelmät	17
	3.3 Kenttämittausmenetelmät	18
	3.4 Käyttöiän arviointimenetelmät	18
	3.5 Tuotehyväksyntämenetelmät	19
4	SUOSITUKSET	20
5	KIRJALLISUUSVIITTEET	22
6	LIITTEET	23

1 YLEISTÄ

INFRA-teknologiaohjelman projekti ”Tien kerrosstabiloinnin käyttöikä ja tuotehyväksyntä – Infra-Stabil” toteutettiin v. 2004-07. Tämä yhteenvetoraportti sisältää sen keskeiset tulokset.

Kerrosstabilointi on tierakenteen parantamismenetelmä, jossa tien jakava tai kantava kerros tai kantavan kerroksen yläosa sidotaan bitumilla, sementillä tai masuunihiekalla tai niiden yhdistelmällä. Stabilointia tehdään sekä uusia teitä rakennettaessa että vanhoja teitä peruskorjattaessa. Yleensä kantavan kerroksen stabilointi kohdistuu vanhan tien rakenteen parantamiseen ja menetelmässä käytetään tielinjan vanhaa materiaalia. Stabiloinnin vaihtoehtoina ovat sitomaton kantava murskekerros tai kantavan kerroksen asfalttibetoni. Stabiloinnilla parannetaan tien kuormituskestävyyttä.

Tutkimuksen tavoitteina oli:

- parantaa hankintamenettelyissä tarvittavia stabilointien käyttöiän arviointimenetelmiä ja tuottaa niissä tarvittavat laboratoriokokeiden parametriarvot,
- parantaa stabilointialan osaamista ja stabilointeihin kohdistuvaa tutkimustietämystä,
- tuottaa menettely uusien stabilointimenetelmien ja –tuotteiden käyttöiän arviointiin ja tuotehyväksyntään,
- selvittää mahdollisuudet yhdenmukaistaa kantavan kerroksen stabilointien tuotehyväksyntämenettely Ruotsin ja mahdollisesti myös Norjan kanssa.

Tutkimus koostui kolmesta osatutkimuksesta:

- Bitumia sisältävien kerrosstabilointien kehittämistutkimus,
- Kerrosstabilointien täysmittakaavakokeet,
- Stabilointien käyttöiän arvioiminen ja tuotehyväksynnän kehittäminen.

Bitumia sisältävien kerrosstabilointien kehittämistutkimuksen avulla pyrittiin luomaan pohja stabilointien käyttöiän kokeellisten arviointimenetelmien kehittämiselle ja parantaa stabilointialan osaamista sekä stabilointeihin kohdistuvaa tutkimustietämystä.

Täysmittakaavakokeessa tutkittiin Tiehallinnon rakentamisasiakirjojen mukaisia kerrosstabilointityyppejä ja haettiin vertailuaineistoa stabilointien käyttöikäselvityksiä ja tuotehyväksyntää varten.

Tutkimuksessa ”Stabilointien käyttöiän arvioiminen ja tuotehyväksynnän kehittäminen” tutkittiin Tiehallinnon työselitysten mukaisia kerrosstabilointityyppejä laboratoriokokein pyrkien kehittämään käyttöiän kokeellista arviointimenetelmää ja keräämään vertailuaineisto tuotehyväksyntätutkimuksia varten.

Tutkimus kohdistui taulukon 1 mukaisten stabilointien tutkimiseen.

Taulukko 1. Tutkitut stabilointityypit.

Stabilointi		Kuvaus
lyhenne	tyyppi	
VBST	Vaahdotbitumi-stabilointi	Bitumistabilointi, jossa lisätty sideaine on vaahdotettu bitumi.
REST	Remix-stabilointi	Remix-menetelmällä tehty bitumistabilointi.
KOST	Komposiitti-stabilointi	Stabilointi, jossa käytetään samassa kerroksessa sekä bitumista että hydraulista lisättyä sideainetta.
MHST	Masuunihiekka-stabilointi	Stabilointi, jossa lisätty sideaine on sementillä aktivoitu masuunihiekka.
SST	Sementti-stabilointi	Stabilointi, jossa lisätty sideaine on sementti.

2 TUTKIMUSTULOKSET

2.1 Bitumia sisältävien kerrosstabilointien kehittäminen

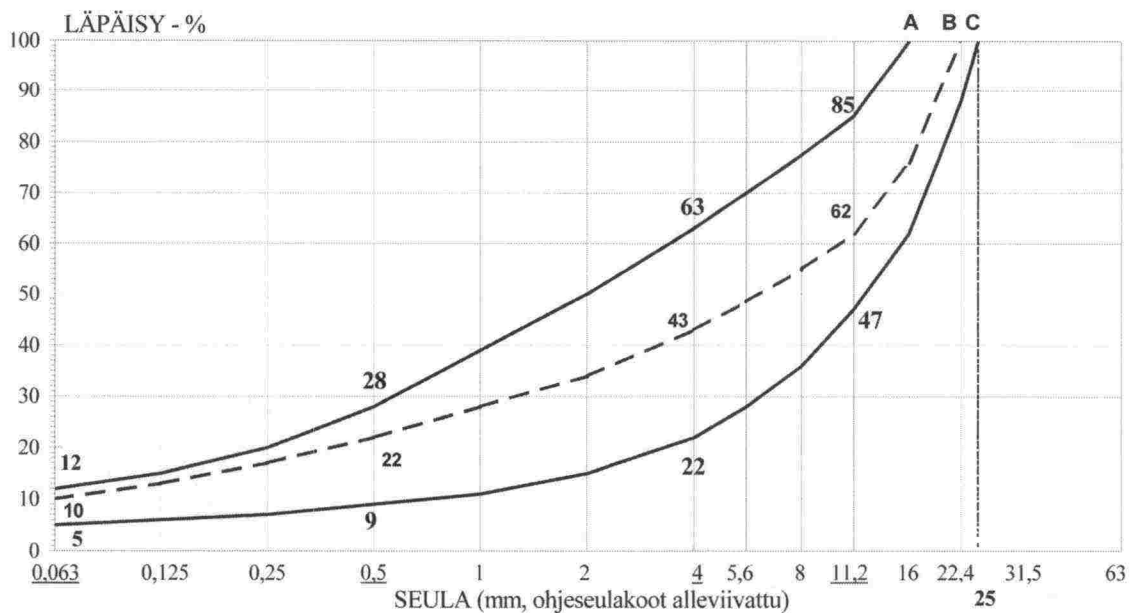
Bitumia sisältävien kerrosstabilointien kehittämistutkimus sisälsi laboratorio-kokeita vaahdotbitumistabilointi-, Remixer-stabilointi- ja komposiittistabilointimassoille. Näiden stabilointityyppien osalta toteutettiin seuraavat tehtävät:

- selvitettiin stabilointien ominaisuudet ja niihin vaikuttavat tekijät kirjallisuuden, aiempien tutkimusten ja laboratoriokeiden avulla pääosin nykyisiä menetelmiä käyttäen,
- selvitettiin stabilointimassoille soveltuvat näyteenvalmistus-, suhteitus- ja tutkimusmenetelmät sekä tarvittaessa kehitettiin niitä,
- luotiin perusta stabilointien käyttöiän arviointimenetelmien kehittämiseksi.

Tutkittujen stabilointimassojen ohjeelliset rakeisuuskäyrät (A-C) on esitetty kuvassa 1.

Laboratoriokeiden perusteella todettiin, että teknisesti paras bitumistabilointitulos saavutetaan, kun

- käytetään suhteistunutta kiviainesta Asfalttinormien 2000 ohjerakeisuuden keskialueelta,
- bitumipitoisuus valitaan siten, että massa on koossapysyvää, mutta ei deformaatioherkkää,
- varmistetaan massan riittävä vedenkestävyys,
- kerros tiivistetään hyvin.



Kuva 1. Valmistettujen stabilointimassojen ohjekäyrät A – C.

Laboratoriokokeiden perusteella todettiin, että teknisesti paras bitumistabilointitulokset saavutetaan, kun

- käytetään suhteistunutta kiviainesta Asfalttinormien 2000 ohjerakeisuuden keskialueelta,
- bitumipitoisuus valitaan siten, että massa on koossapysyvää, mutta ei deformaatioherkkää,
- varmistetaan massan riittävä vedenkestävyys,
- kerros tiivistetään hyvin.

Stabilointien ominaisuuksiin vaikuttavista tekijöistä ovat keskeisiä massan sideainepitoisuus, rakeisuus, tiiveys ja koossapysyvyys. Vesipitoisuus ja kosteusolosuhteet vaikuttavat stabiloinnin ominaisuuksiin sekä näytevalmistuksessa, näytteiden säilytyksen aikana, koestushetkellä että myös tierakenteessa. Tutkimuksen tuloksissa esitetään useista selvityksistä koostuva aineisto näiden parametrien vaikutuksesta massan toiminnallisiin ominaisuuksiin. Erityisesti tulee kiinnittää huomiota stabiloinnin tiivistämiseen sekä laboratoriokokeissa että työmaaolosuhteissa.

Stabilointien käyttöön laboratorio- ja kenttäkokeisiin perustuvan arviointimenetelmän kehittäminen oli osa tutkimuksen keskeistä sisältöä, johon liittyi käyttöön arviointia varten suunniteltujen referenssimateriaalien kehittäminen (esim. mineraaleista kootun referenssitäytejauheen kehitys), referenssistabilointimassojen tutkimusmenetelmien kehitys sekä tutkittujen stabilointityyppien toiminnallisten ominaisuuksien ja niiden koostumusparametrien herkkyyksien selvitys nykyisin menetelmin.

Vaahto-bitumistabilointi

Suhteituskokeiden perusteella valitun tavoitekoostumuksen mukaisella, tartuketta sisältävällä vaahto-bitumistabiloinnilla oli hyvä vedenkestävyys. Sideainepitoisuuden tai tiiveyden aleneminen alle tavoitearvon heikensi vedenkestävyyttä. Jos tartuketta ei käytetty, VBST-massa ei ollut vedenkestävää.

Massan deformaatiokestävyys tavoitekoostumuksella oli hyvä. Massa ei kestänyt deformaatiokokeessa, kun bitumipitoisuus kasvoi 1 %-yksikön yli suhteituksessa valitun tavoitetason tai kun käytettiin pehmeämpää bitumia (B650/900). VBST-massan jäykkyyso-moduulikokeen tulokset olivat huomattavan herkkiä lämpötilan muutokselle.

REST-stabilointi

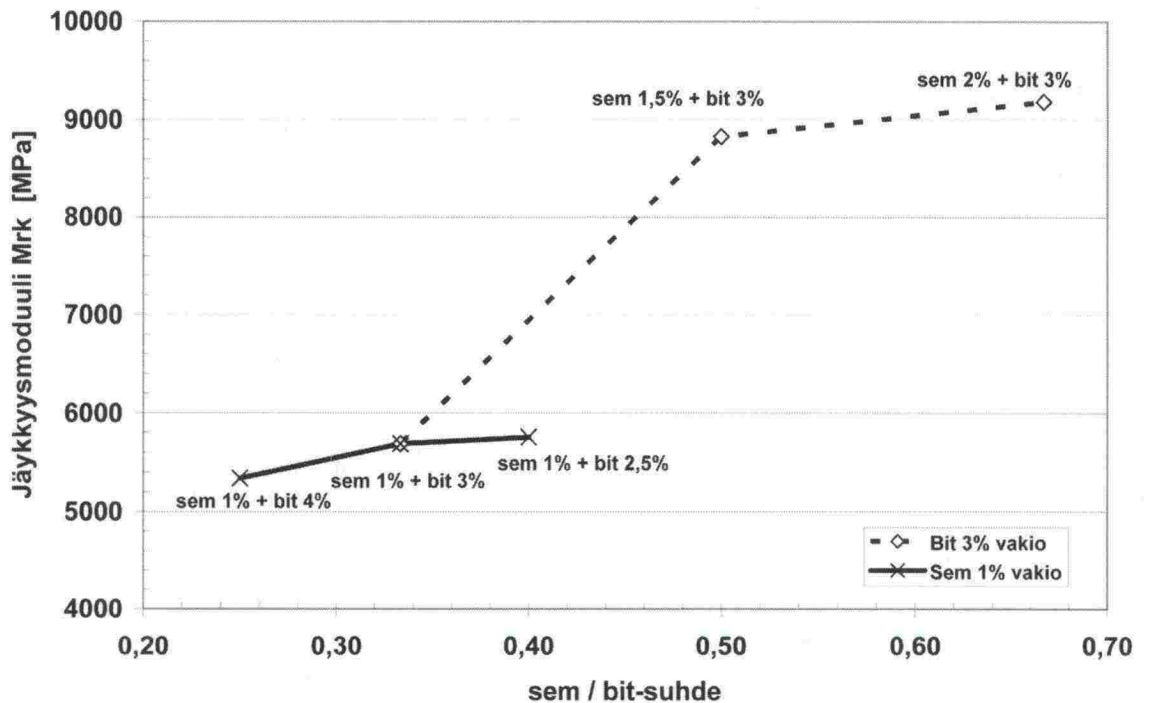
REST-massan vedenkestävyys tutkituilla koostumuksilla oli hyvä. Massa oli helposti tiivistyvää. Tiiveyden aleneminen heikensi erityisesti eniten hienoainesta sisältäneen massan vedenkestävyyttä. Massan pakkasenkestävyys ja suola-pakkasenkestävyys tutkittiin suhteituksessa valitulla tavoitekoostumuksella ja ne todettiin riittäviksi. Lämpötila ja tiiveys vaikuttivat huomattavasti REST-massan jäykkyyso-moduulin tasoon.

REST-massan deformaatiokestävyys oli hyvä käytännön työmaaolosuhteissa käytetyillä bitumipitoisuuksilla. Stabilointiohjeen kokemukseräisen kaavan mukainen bitumipitoisuus oli noin yhden prosenttiyksikön korkeampi ja johti deformaatioherkkiin massoihin. Rouheen vaikutus deformaatioon ei käy selville REST-tuloksista.

Komposiittistabilointi

Komposiittistabiloinnin sementti- ja bitumisideainepitoisuuksien suhdeluku 0,33 todettiin hyväksi suhteituksen lähtökohdaksi. Sementtipitoisuuden muutos vaikuttaa herkästi komposiittistabiloinnin jäykkyyteen. Tutkimuksessa todettiin noin 1 % sementtipitoisuuden soveltuvan hyvin komposiittistabiloinnille, kuva 2. Sementti sitoo massan ylimääräistä vettä ja nopeuttaa massan alkulujuuden kehitystä. Komposiittistabiloinnilla oli erityisen hyvä deformaatiokestävyys ja vähäinen lämpötilaherkkyys.

Komposiittistabilointi täytti vedenkestävyys-, pakkaskestävyys- ja suolapakkaskestävyysvaatimukset ja oli deformaatiokestävyydeltään I-luokkaa. Komposiittistabiloinnin lämpötilaherkkyys oli vähäisempi kuin muilla tutkituilla materiaaleilla.



Kuva 2. KOST-massan jäykkyyshmoduulin riippuvuus sementti / bitumi - suhteesta ja sideainepitoisuuksista, $T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

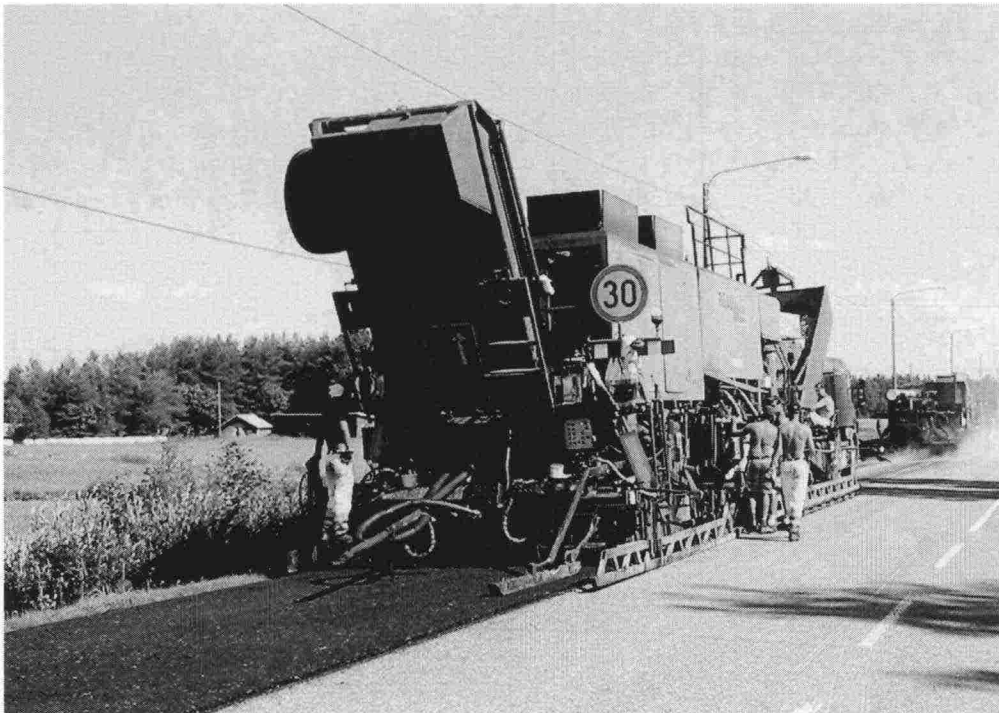
2.2 Täysmittakaavakokeet

Stabilointimenetelmien täysmittakaavakoe toteutettiin projektin aikana Vaasan tiepiirissä Vöyrissä rakenteen parantamishankkeella välillä Kaitsoor-Vöyri (mt 718), [3]. Koetiellä kokeiltiin useilla 100-300 m pituisilla tutkimusosuuksilla seuraavia stabilointityyppejä (suluissa lyhenne ja stabilointisyvyys, mm):

- vaahtobitumistabilointi (VBST 100 ja 150 mm sekä 100 mm kerros 1 % korkeammalla bitumipitoisuudella)
- remixer-stabilointi*) (REST, 100 ja 150 mm)
- komposiittistabilointi (KOST 100 ja 150 mm sekä 100 mm kerros 1 % korkeammalla bitumipitoisuudella)
- masuunihiekkastabilointi (MHST 100 ja 150 mm).

*) Kohteeseen tuotu sekoitusjyrsinnän jälkeen lisärouhetta 40-50 mm.

Näille tehtiin vertailuosuuksiksi sekoitusjyrsintäosuus (ilman sideainelisäystä) ja Tiehallinnon työselityksen mukainen REST-osuus, kuva 3.



Kuva 3. Remix-stabilointityö käynnissä.

Täysmittakaavakokeen toteutus onnistui pääsääntöisesti hyvin. Tutkimuksen tuloksena saatiin materiaalien jäykkyys- ja lujuustietoa todellisen kohteen runko- ja sideaineilla tehdyistä näytteistä. Tulokset ovat käyttökelpoisia referenssistabilointityyppien mitoitusparametrejä käyttöikään liittyvissä mitoituslaskelmissa. Seurannan jatkuessa (vielä tämän tutkimusprojektin jälkeenkin) saadaan lisää tietoa tutkittujen jäykkyys- ja lujuusominaisuuksien muuttumisesta ajassa. Tämä tieto täydentyy myöhemmin muiden pysyvyyteen liittyvien ominaisuuksien vaikutuksilla.

Koska Vöyrin koetiellä ei ollut mahdollista kokeilla sementtistabilointia, haettiin sen osalta täysmittakaavatuloksia aiemmin toteutetuista koerakennushankkeista. Kahdessa sementtistabilointikohteessa kohteessa (vt5 Vehmasmäki - Hiltulanlahti ja vt6 Vuoksenniskan ohitustie) mitatut kantavuudet vaihtelivat merkittävästi kuvaten selvästi bitumisten päällystekerrosten alapuolisen sementtistabiloidun kerroksen tilaa - ehjää tai tiiviisti paikoilleen säröillyttä kerrosta. Olisi suotavaa, että näiden koeosuuksien tilaa seurattaisiin pintamittauksin ja näytteenotoin vielä vuosia (ainakin 10 vuotta), jotta stabilointityyppiin liittyvistä vaurioitumismekanismeista saataisiin yksikäsitteistä tietoa.

Maastonäytteillä tehtyjen laboratorioskokeiden tulosten perusteella voidaan todeta, että tärkein muuttuja ennako- ja seurantakokeiden näytevalmistuksessa on tiiveys ja seuraavaksi tärkein on testaushetken kosteustila. Näytteiden testausiällä on pienempi vaikutus, mutta iän mukana kasvava jäykkyys ja lujuus tulee muistaa koetuloksia hyödynnettäessä. Jälkitiivistymisen varaan ei mitoitusta voida jättää, koska ominaisuuksia parantava jälkitiivistyminen aiheuttaa käytännössä merkittävää urautumista pinnassa.

Laboratoriokokeiden jäykkyyssmoduulitulokset ovat tasoltaan jonkin verran korkeampia kuin takaisinlasketut arvot, jos käytetään vertailukelpoista näytteen tiheyttä ja merkittävästi korkeammat (ylioptimistiset), jos käytetään alan normaalin menettelytavan mukaisesti (yli)tiivistettyjä näytteitä (ICT/CEN -asetuksia ja 100 työkierrosta). Mitoitettaessa rakennetta on käytettävä oikeita, edustavia parametrejä - ylioptimistisilla jäykkyyssarvoilla mitoitus tuottaa selvästi epärealistisia kuormituskertalukuja.

Maastonäytteissä (VBST, KOST) ei tavanomaista korkeamman bitumipitoisuuden lisääminen (+1 %-yks.) vaikuttanut edullisesti mitattuihin suureisiin: jäykkyyteen, lujuuteen tai kantavuuteen. Jäykkyys ja lujuus laskivat bitumin lisäyksen johdosta. Lisäbitumi ei kuitenkaan lisännyt urautumisnopeutta Vöyrissä seuranta-aikana. Lisäbitumin vaikutus voi ilmetä vasta pitempiaikaisessa seurannassa esim. vaurioitumisnopeuden hidastumisena.

Kahden vuoden seurantajakso on riittämätön vertailtaessa rakenteita, joiden oletettu / toivottu käyttöikä on 15 vuotta. Kahdessa vuodessa ei ilman selvää mitoitus-, työ- tai materiaalivirhettä synny yksikäsitteisiä pinnalta mitattavia poikkeamia tai vaurioita. Ensimmäisinä vuosina tehty seuranta kuitenkin kertoo alkuvaiheen nopeammista, esim. tiivistymisen aiheuttamista muutoksista.

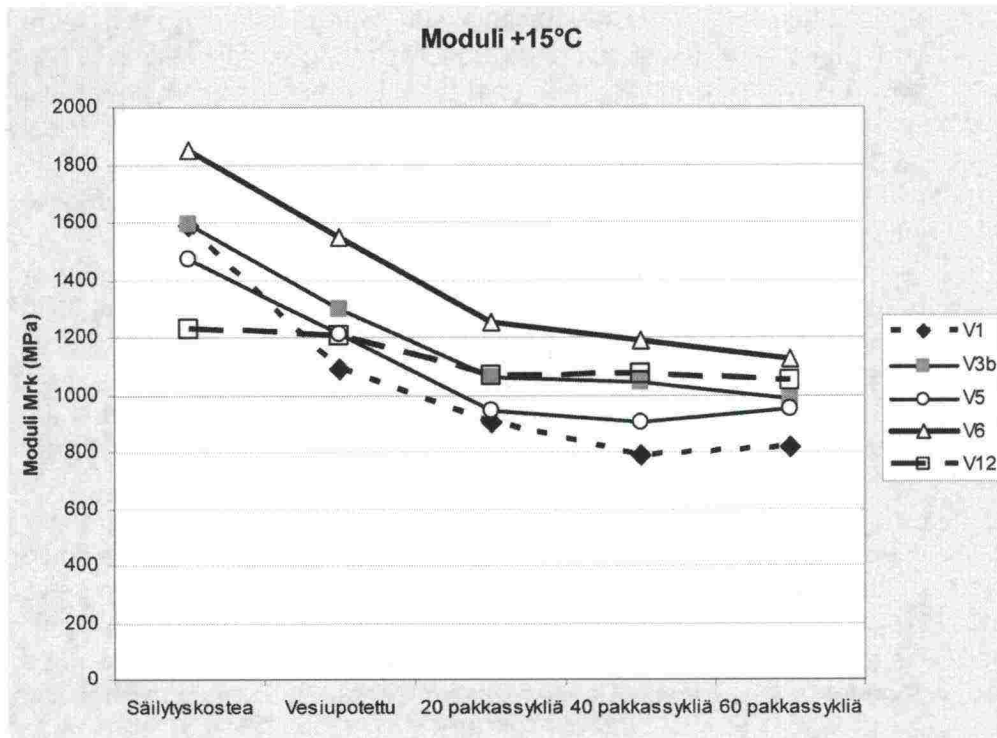
2.3 Stabilointien käyttöiän arvioiminen ja tuotehyväksynnän kehittäminen

Osatutkimuksen tavoitteena oli luoda perusta kerrosstabilointien kokeellisten käyttöiän arviointimenetelmien kehittämiseen ja tuottaa tutkittua käyttöikä-tietoa sekä tuottaa vertailuaineisto neljästä kerrosstabilointityypistä (VBST-, KOST-, MHST- ja SST-referenssimateriaaleista) uusien stabilointituotteiden tuotehyväksyntää varten.

Tutkimuksessa esitetään kaksi tapaa määrittää kokeellisesti stabiloidun materiaalin käyttöikä. Toisessa menetelmässä käyttöikä määritetään kokeellisesti samankaltaisen vertailutuotteen avulla. Toinen menetelmä perustuu mitoitusparametrin (esim. jäykkyyssmoduuli) säilyvyyden kokeelliseen määrittämiseen ja käyttöiän laskemiseen mitoisteknisin keinoin.

Tutkimuksessa tehtiin neljälle referenssistabilointityypille (VBST, KOST, MHST ja SST) koesarjat, joissa määritettiin niiden suola-pakkaskestävyys sekä jäykkyys- ja deformaatio-ominaisuuksien (tai vaihtoehtoisesti lujuusominaisuuksien) riippuvuus pakkasrasituksen määrästä. Aineisto sisältää myös näiden parametrien herkkyytstarkastelun rakeisuuden, bitumipitoisuuden ja tiiviiden muutoksille.

Tutkimuksen tuloksina todettiin, että jäädytys-sulatusrasituksen määrä vaikuttaa merkittävästi stabiloitujen kerrosten jäykkyyden ja deformaatiokestävyyden säilymiseen. Laboratoriossa määritetyt mitoitusparametrit (jäykkyyssmoduuli ja deformaatiokestävyys) tulisi tästä syystä määrittää myös jäädytys-sulatussykliä jälkeen. Yleensä suurin osa muutoksesta tapahtui ensimmäisen 20 jäädytys-sulatussyklin aikana, kuva 4.



Kuva 4. VBST-koostumusten jäykkyysmoduulin riippuvuus kosteustilasta ja pakkasrasituksen määrästä (1-aks. dynaaminen jäykkyysmoduulikoe).

2.4 Tutkimustulosten hyödyntäminen

Tutkimustulosten vienti rakentamiskäyttöön aloitettiin jo INFRA-STABIL-projektin käynnissäoloaikana. Stabilointiohje tarkistettiin työryhmässä, johon kuuluivat stabilointiurakoitsijoiden, sideainetoimittajien, Tiehallinnon ja VTT:n edustajat. Asfalttinormien stabilointeja käsittelevät asiat on siirretty Stabilointiohjeeseen. Stabilointiohjeeseen vietiin suurin osa keskeistä tutkimustuloksista ja se oli valmis julkaistavaksi samoihin aikoihin, kun tutkimusprojekti päättyi.

3 MENETELMIEN ARVIOINTI

3.1 Suhteitusmenetelmät

Tutkimuksen aikana todettiin stabilointimassojen suhteitusmenetelmissä tarkistamistarvetta erityisesti lämpimänä sekoitettavien, rouhetta sisältävien REST-massojen osalta. Niille Stabilointiohjeen 2002 kokemuseräiset kaavat antoivat liian korkeita bitumipitoisuuksia, mikä aiheutti deformaatoriskin.

3.2 Laboratoriokoemenetelmät

EN-tuotestandardin mukainen kantavan kerroksen asfalttibetonin deformaatiokokeen EN 13108:20 määrittäminen on 40 °C eikä siitä ole perusteltua poiketa stabilointien deformaatiokokeissa.

Tutkimuksen toteutusaikana voimassa olleen Stabilointiohjeen suhteitusmenetelmiä on yhtenäistetty ja niiden määrää vähennetty. On kuitenkin tarpeen säilyttää mahdollisuus sekä kokemuseräisen että kokeellisen suhteitusmenetelmän käyttöön stabilointimassojen ennakkokokeissa.

Kun stabilointityötä varten tehdään ennakkokokeita, tulisi selvittää massan tavoiteteiveys, optimivesipitoisuus tiivistämisen kannalta, vedenkestävyys ja sideainepitoisuus. Rakeisuuden tulee olla ohjealueella. Tämän tutkimuksen karkein rakeisuusvaihtoehto C tuotti huonosti tiivistyviä, hauraita massoja. Tämä rakeisuus vastasi Asfalttinormien 2000 stabilointimassojen ohjealueen alarajaa ja siinä todettiin tarkistustarvetta.

Bitumin vaahdottamisen laboratorio-olosuhteissa todettiin onnistuvan sekä vaahdotuslaitteella että avoimessa vaahdotusastiasissa. Ennakkokokeissa todettiin soveltuviksi vaahdotusparametreiksi bitumin lämpötila 170 °C ja vaahdon vesipitoisuus 2,5 %.

VBST-massassa tulee käyttää tartuketta, ellei kokeellisesti osoiteta, että tartuketta ei tarvita. Tartuketarve voidaan osoittaa halkaisuvetolujuuteen perustuvan vedenkestävyysskokeen avulla. Tartuketta voidaan tarvita riippumatta siitä, sisältääkö massa rouhetta vai tehdäänkö se kylmänä tai lämmitettynä. KOST- ja REST-stabiloinneissa ei tarvittu tutkituilla koostumuksilla erikseen lisättävää tartuketta, koska KOST:n sementti vähentää tartuketarvetta ja REST:n emulgaattori toimii myös tartuntaa parantavasti.

VBST-näytteet tulee säilyttää kuivissa olosuhteissa ja KOST-näytteet kosteassa ilmassa koestuksen aloitukseen asti.

Stabilointien testausmenetelmien nykytila Pohjoismaissa selvitettiin kirjallisuusselvityksen avulla. Selvityksessä todettiin, että stabilointien tutkimus- ja suhteitusmenetelmät eivät vielä olleet täysin vakiintuneet. Stabiloinneille käytettyjen suhteitusmenetelmien ongelmana on monelta osin, että tavoitteiden lukuarvoja ei ole kauttaaltaan ohjeistettu ja että vaatimukset vaihtelevat eri stabilointimenetelmien osalta. Useiden muissa maissa käytössä olevien laboratoriokoemenetelmien soveltuvuutta Suomen olosuhteisiin testattiin projektin puitteissa tehdyissä kokeissa.

Nykytilaselvityksen perusteella stabilointimassoilla laboratorionäytteiden valmistuksen keskeisimpiä asioita ovat näytteiden tiivistys ja vanhennus. Kylmämassojen tiivistysmenettelyksi on vakiintumassa periaate, jossa massalle etsitään ensin teoreettinen maksimitiheys ja sen jälkeen varsinaiset vertailunäytteet tiivistetään vain tiettyyn osaan (95...98 %) tästä maksimitiheydestä. Tiiviyden ja tiivistämisen olennainen merkitys sekä laboratorion näytevalmistuksessa että työmaalla tehdyssä stabilointityössä kävi selkeästi ilmi sekä laboratorionäytteiden että täysmittakaavakokeen tuloksista. Näytteiden tavoitettavuuden valinnassa siirryttiin projektin aikana käyttämään kiertotiivistimen käyttöön perustuvaa menetelmää Proctor-kokeen asemasta. Kokeellisesti todettiin myös, että massan optimiskosteus pystyttiin valitsemaan kiertotiivistimen avulla Proctor kokeen asemasta.

Toinen stabilointien ominaisuuksiin olennaisesti vaikuttava tekijä on massan kosteus tiivistyshetkellä. Massan kosteudella on erityisen suuri merkitys työmaalla, koska se vaikuttaa stabiloidun kerroksen tiiveyteen. Kosteus on tärkeä myös laboratorionäytevalmistuksessa, mutta näytteiden tiivistys valittuun tavoitettavuuteen vähentää massan kosteuden vähäisten poikkeamien merkitystä laboratorionäytevalmistuksessa.

Suomessa ja muissa Pohjoismaissa käytettyjen tutkimusmenetelmien osalta kenties suurin ero on massan säilytystavassa ennen mekaanisten ominaisuuksien testauksia. Norjassa ja Ruotsissa on käytössä 7 vuorokauden säilytys 40 °C:ssa, kun Suomessa on päädytty säilytykseen huonelämmössä. INFRA-STABIL-projektissa tehdyissä kokeissa todettiin, että tarvittaessa voidaan bitumistabilointinäytteiden valmistuksen ja koestuksen välistä säilytysaikaa lyhentää lämpökäsittelyllä eli korvata säilytysolosuhte 28 vrk 22 °C:ssa säilytysolosuhteella 7 vrk 40 °C:ssa.

3.3 Kenttämittausmenetelmät

Hyvin harkitulla, toteutetulla ja instrumentoidulla koetiellä voidaan selvittää rakentamistekniikan, materiaalien ja olosuhteiden vaikutusta rakenteen pinnalta mitattaviin kuntomuuttujiin. Hyvin toteutettu ja dokumentoitu koetie tuottaa tärkeää tietoa tien ja tien rakennekerrosten käyttöikästä varten. Käyttöikä arvioitaessa koetiestä saadaan hyötyä vain, jos seurantajakso on useampivuotinen ja jatkuu mahdollisuuksien mukaan vaurioitumisen alkuun asti. Yhden tai kahden vuoden silmämääräinen tarkastelu ei palvele tätä tarkoitusta. Vöyrin koerakenteita ei instrumentoitu kustannussyistä. Koerakenteiden instrumentoinnilla olisi kuitenkin saatavissa olennaisesti nopeammin ja luotettavampaa käyttöikä tietoa kuin pelkästään pintamittauksin ja silmämääräisin havainnoin.

3.4 Käyttöiän arviointimenetelmät

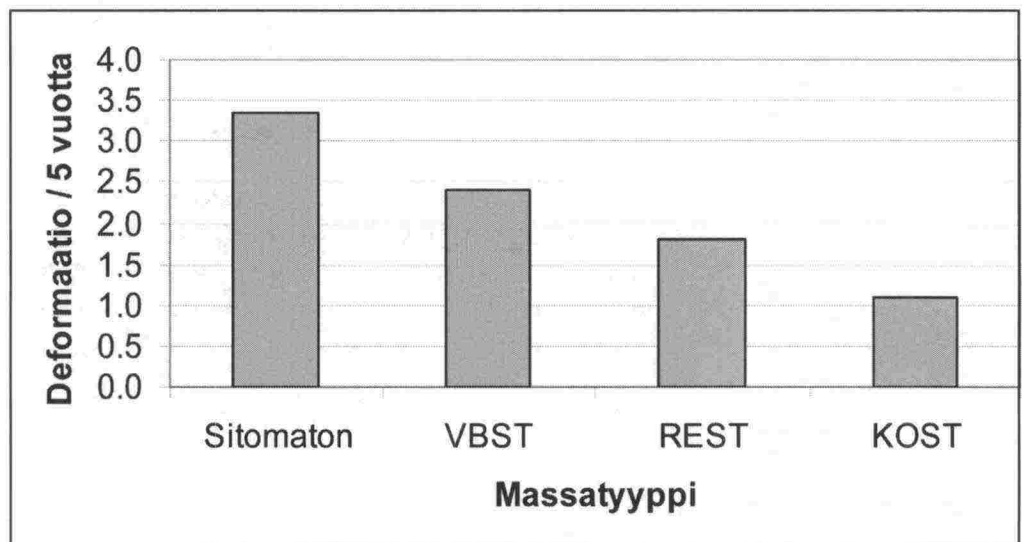
Tutkimuksessa esitetään stabilointituotteiden käyttöiän arvioinnin menetelmät, jotka perustuvat projektin referenssimateriaalien tai mahdollisten tuotehyväksyntätutkimusten yhteydessä tehtyjen laboratorionäytteiden ja koerakenteiden tutkimustuloksiin ja Tiehallinnon mitoitusohjelman soveltamiseen.

Käyttöikämitoitukseen ei vielä ole Suomessa yksikäsitteisiä työkaluja. Vaurioitumisen alkua voidaan arvioida APAS-3 -ohjelmalla ja urautumista voidaan arvioida deformaatiotyökalun tutkimusajankohdan mukaisella, tosin

vielä keskeneräisellä versiolla, kuva 5. Molempia työkaluja voidaan edelleen kehittää sekä laskentateknisesti että materiaalmallien ja materiaalitietojen osalta. Vaurioitumisnopeutta voitiin tutkimusajankohtana arvioida vain tilastollisin mallein.

Pituussuuntainen epätasaisuus, johtuessaan stabiloidusta kerroksesta, aiheutuu lähinnä tuotantotekniikan aiheuttamasta hajonnasta, eikä sitä ole tarkasteltu tässä työssä.

Käyttöikämitoitukseen siirtyminen edellyttää dokumentoitua tietoa olemassa olevien rakenteiden käyttöiästä ja rakenteista, materiaaleista sekä toimenpidehistoriasta.



Kuva 5. Deformaatiotyökalun tuottama urautumiskuvaaja, kun stabiloidun kantavan kerroksen materiaali on VBST, REST ja KOST. Liikennemäärä $KVL = 1000$ ajon/vrk ja $KVL_{rask} = 100$ ajon/vrk.

3.5 Tuotehyväksyntämenetelmät

Tutkimuksen puitteissa tehtiin tutkimukset, jotka muodostavat Tiehallinnon ohjeiden mukaisten stabilointien referenssiaineiston, johon voidaan verrata uutta stabilointituotetta. Merkkituotestabiloinnin reseptitieto on salaista eikä sitä merkitä tuotehyväksyntätutkimuksen raporttiin. Tuotehyväksyntää varten tutkimuslaitos tekee uuden tuotteen edustajan toimeksiannosta tuotehyväksyntätutkimuksen, jossa selvitetään uuden tuotteen säilyvyysominaisuuksia.

Uutta tuotetta verrataan sitä lähinnä vastaavan referenssistabilointimassan vastaaviin ominaisuuksiin. Referenssistabilointityyppejä ovat Tiehallinnon stabilointiohjeen mukaiset VBST-, KOST-, MHST- tai SST-stabiloinnit, joista kunkin merkkituotestabiloinnin referenssimateriaaliksi valitaan se, jonka sideaine on lähinnä tutkittavan merkkituotteen sideainetta.

Toistaiseksi ei ole sovittu, mikä taho tai viranomainen tekee uuden stabilointituotteen tuotehyväksyntäpäätöksen.

4 SUOSITUKSET

Tutkimuksen tuloksena saatu uusi tieto stabilointien ominaisuuksista sekä niiden laatuun ja toimivuuteen vaikuttavista tekijöistä on osin viety käyttöön tutkimusprojektin loppuvaiheen kanssa samaan aikaan toteutetussa Stabilointiohjeen ja Asfalttinormien uusimistyössä. Niiden lisäksi tulee päivittää InfraRYL asiakirjan kerrosstabilointia koskevat kohdat ja menetelmäohjeet.

Bitumistabilointiasiat on siirretty Asfalttinormeista stabilointeja koskevaan Tiehallinnon ohjeeseen "Päällysrakenteen stabilointi", joka korvaa vuoden 2008 alussa aiemman Stabilointiohjeen. Jatkossa stabilointien ohjeet ja vaatimukset esitetään joko Päällysrakenteen stabilointi- tai InfraRYL-asiakirjassa.

INFRA-STABIL-projektin tulosten perusteella esitetään seuraavat suositukset:

- Rakentamisohteissa tulisi yhtenäistää nykyinen sekalainen käytäntö massan osa-aineiden pitoisuuksien ilmoittamisessa. Kaikki pitoisuudet olisi suositeltavaa ilmoittaa prosentteina stabiloinnin kuivasta (vedettömästä) massasta. Tämä merkitsee muutosta myös tässä tutkimuksessa noudatettuun käytäntöön verrattuna.
- Stabilointien näytevalmistus- ja tutkimusohjeet tulisi tarkistaa. Kiertotiivistimen käyttöön perustuvaa menetelmää on suositeltavaa käyttää stabilointimassojen näytevalmistuksen tavoiteteiveyden valintamenetelmänä (erityisesti bitumia sisältävät massat). Kantavan kerroksen massoille riittäisi dynaamisessa deformaatiokokeessa alhaisempi lämpötila kuin kulutuskerroksilta vaaditaan.
- Kokeellisten suhteitusmenetelmien suhteituskriteerit ja REST-massojen kokemusperäinen lisäbitumipitoisuuden valintamenetelmä tulisi tarkistaa projektin tulosten mukaan.
- Vaahtobitumistabiloinnissa tulee käyttää tartuketta, ellei kokeellisesti osoiteta, ettei tartuketta tarvita. Stabilointimassan bitumipitoisuus vaikuttaa selkeästi ominaisuuksiin, joten se tulee hallita joko ennakkokokeiden perusteella tai työmaan laadunohjauksen avulla.
- Vaahtobitumistabiloinnin bitumin vaahdotuslämpötilaa tulisi nostaa olennaisesti. Sopiva tavoitearvo vaahdon leviämisen kannalta on 170 °C.
- Komposiittistabiloinnissa sopiva suhteituksen alustava lähtökohta on sementtilisäys noin 1 % ja sementti / bitumisuhde on noin 0,33.
- Pakkassuolarasitus ja jäädytysulatusrasitus vaikuttavat merkittävästi stabilointinäytteiden lujuutta ja jäykkyyttä alentavasti. Vanhennetun ja vanhentamattoman näytteen jäykkyyshmoduuli ovat niin paljon toisistaan poikkeavia, että käytettävä moduuli tulisi valita käyttötilan todellisten olosuhteiden vaikutus huomioon ottaen. Moduulia valittaessa on ratkaisevaa, pääseekö stabilointi jäätymään märkänä ja joutuuko se alltiiksi pakkassuolarasitukselle.

5 KIRJALLISUUSVIITTEET

- [1] Pienimäki, M., Laukkanen, K., Bitumia sisältävien kerrosstabilointien pohjoismaiset testausmenetelmät. Helsinki 2007. Tiehallinnon selvityksiä 43/2007.
- [2] Laukkanen, K., Laaksonen, R., Bitumia sisältävien kerrosstabilointien kehittämistutkimus. Helsinki 2007. Tiehallinnon selvityksiä 44/2007.
- [3] Laaksonen, R., Laukkanen, K., Kerrosstabilointien täysmittakaavako-
keet. Helsinki 2007. Tiehallinnon selvityksiä 45/2007.
- [4] Laukkanen, K., Laaksonen, R., Stabilointien käyttöiän arvioinnin ja tuo-
tehyväksynnän kehittäminen. Helsinki 2007. Tiehallinnon selvityksiä
46/2007.
- [5] Laukkanen, K., Laaksonen, R., Kerrosstabilointien kehitysprojekti
INFRA-STABIL. Projektin yhteenveto. Helsinki 2007. Tiehallinnon sel-
vityksiä 47/2007.
- [6] Laukkanen, K., Laaksonen, R., Base course stabilization development
project INFRA-STABIL. Summary report. Helsinki 2007. Finnra Report
48/2007.

Raportit [1-6] on julkaistu Tiehallinnon internetsivulla osoitteessa:
www.tiehallinto.fi

6 LIITTEET

Projektin julkaisut ja vaikutus rakentamisasiakirjoihin Liite 1

Projektin julkaisut ja vaikutus rakentamisasiakirjoihin

Raportit

1. Pienimäki, M., Laukkanen, K., Bitumia sisältävien kerrosstabilointien pohjoismaiset testausmenetelmät. Helsinki 2007. Tiehallinnon selvityksiä 43/2007.
2. Laukkanen, K., Laaksonen, R., Bitumia sisältävien kerrosstabilointien kehittämistutkimus. Helsinki 2007. Tiehallinnon selvityksiä 44/2007.
3. Laaksonen, R., Laukkanen, K., Kerrosstabilointien täysmittakaavakokeet. Helsinki 2007. Tiehallinnon selvityksiä 45/2007.
4. Laukkanen, K., Laaksonen, R., Stabilointien käyttöiän arvioinnin ja tuotehyväksynnän kehittäminen. Helsinki 2007. Tiehallinnon selvityksiä 46/2007.
5. Laukkanen, K., Laaksonen, R., Kerrosstabilointien kehitysprojekti INFRA-STABIL. Projektin yhteenveto. Helsinki 2007. Tiehallinnon selvityksiä 47/2007.
6. Laukkanen, K., Laaksonen, R., Base course stabilization development project INFRA-STABIL. Summary report. Helsinki 2007. Finnra Report 48/2007.

Lehtikirjoitukset

7. Laukkanen, K., Tien kerrosstabiloinnin käyttöikä ja tuotehyväksyntä. Asfaltti-lehti, joulukuu 2004.
8. Laaksonen, R., Laukkanen, K., Koerakentamisen avulla käyttöikä tietoa stabiloinneista. Tie- ja liikenne-lehti 1-2/2005.

Esitelmät

9. Laukkanen, K., Produktgodkännande för stabiliseringen av bärlager i Finland, NVF utskott 34 Vägens konstruktioner, Arlanda 7.10.2003.
10. Laukkanen, K. Stabilointien tuotehyväksyntä. Helsinki 30.3.2004, Tie- ja geotekniikan teemapäivä.
11. Laukkanen, K. Komposiittistabilointi. Helsinki 2004, Tien ja kadun elinkaarhallinta.
12. Laukkanen, K., Tien kerrosstabiloinnin käyttöikä ja tuotehyväksyntä. Päällystealan palautepäivä 3.11.2004.
13. Laukkanen, K., Kantavan kerroksen stabilointien ominaisuudet ja vaikutus tuotevaatimuksiin. Helsinki 2007, Päällystekurssit.
14. Laukkanen, K., STABIL-projektin tulokset ja vaikutukset stabilointiohjeisiin ja laatuvaatimuksiin. Helsinki 2007, Päällystealan palautepäivä 28.11.2007.

'Projektin tulosten vaikutus stabilointien rakentamisasiakirjoihin

- "Päällysrakenteen stabilointi" - Tiehallinnon ohjeen kokonaisuudistus,
- Asfalttinormit – Stabilointiasiat siirretty Asfalttinormeista ohjeeseen "Päällysrakenteen stabilointi",
- InfraRYL 2006 – Stabilointien vaatimukset tarkistetaan.

ISSN 1457-9871
ISBN 978-951-803-966-5
TIEH 3201073