



Markku Pienimäki, Kyösti Laukkanen

## **Bitumia sisältävien kerros- stabilointien pohjoismaiset testausmenetelmät**

Nykytilaselvitys

Tiehallinnon selvityksiä 43/2007

Markku Pienimäki, Kyösti Laukkanen

# **Bitumia sisältävien kerros- stabilointien pohjoismaiset testausmenetelmät**

Nykytilaselvitys

Tiehallinnon selvityksiä 43/2007

*Kannen kuva: Antti Nissinen*

Verkkajulkaisu pdf ([www.tiehallinto.fi/julkaisut](http://www.tiehallinto.fi/julkaisut))

ISSN 1459-1553

ISBN 978-951-803-962-7

TIEH 3201069-v

TIEHALLINTO  
Tietekniikka  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelin 0204 22 11

**Markku Pienimäki, Kyösti Laukkanen: Bitumia sisältävien kerrostabilointien pohjoismaiset testausmenetelmät. Nykytilaselvitys.** Helsinki 2007, Tiehallinto, Tietekniikka. Tiehallinnon selvityksiä 43/2007. 48 s. + liitt. 1 p. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-962-7, TIEH 3201069-v.

**Asiasanat:** kantava kerros, komposiitti, rakenteen parantaminen, remix, stabilointi, vaahtobitumi

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää bitumistabilointien tutkimuskäytäntöjä Pohjoismaissa. Tutkimuksessa keskityttiin lähinnä Norjassa ja Ruotsissa raportoituihin menetelmiin. Islannissa noudatetaan pitkälti samoja menettelyjä kuin Norjassa. Tanskassa bitumistabilointeja ei ole käytetty muutamaa kokeilua lukuun ottamatta.

Terminologia stabilointimateriaalien (kylmätekniikkaan perustuvien uusiomasojen) ja niihin liittyvän teknologian osalta vaihtelee maakohtaisesti, mikä vaikeuttaa asian yhtenäistä käsittelyä. Tutkimus rajattiin suomalaisittain määriteltyihin vaahtobitumi- ja emulsiostabilointimateriaaleihin. Jonkin verran aineistoa oli mukana myös remix-tyyppisen menetelmän käytöstä Ruotsissa. Komposiittistabiloinneista on esitetty tutkimustuloksia Ruotsissa tehdyistä koetie-seurannoista. (Komposiittistabilointi sisältää sekä bitumia että sementtiä sideaineena samassa rakennekerroksessa).

Norjassa on tierakenteita vahvistettu pitkään kylmätekniikalla paikalla rakentaen samaan tapaan kuin Suomessa. Norjaan onkin vakiintunut kylmätekniikan ympärille yhtenäinen terminologia ja valmistusmenetelmät. Norjassa oli 1990-luvun lopulla kylmätekniikkaan perustuvien rakennusmenetelmien aktiivinen tutkimus- ja kehitysvaihe. Vuosina 1994 - 97 käynnissä olleessa AUT -projektissa (Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark) kehitettiin useita Norjassa suhteituksessa käytössä olevia kylmämassojen testausmenettelyjä.

Suomen osalta tutkimuksessa on lyhyesti referoitu suomalaista stabilointien suhteitusmenettelyä ja TPPT -projektin komposiittistabilointitutkimuksia. Lisäksi on esitetty tilastotietoa Suomessa v. 2000-06 tehdyistä stabiloinneista.



**Markku Pienimäki, Kyösti Laukkanen: Nordic test methods for bituminous base course stabilization. State of the art report.** Helsinki 2007. Finnish National Road Administration. FINNRA Report 43/2007. 48 p. + app. 1 p. ISSN 1459-1553, ISBN 978-951-803-962-7, TIEH 3201069-v.

**Key words:** road, base course, composite, reconstruction, remix, stabilization, foam bitumen, Nordic Countries, Sweden, Norway

## **ABSTRACT**

The aim of the research was to determine the best practice for bitumen stabilizations in the Nordic countries. The research was focused mostly on methods reported in Norway and Sweden. Methods followed in Iceland are mostly the same as in Norway. In Denmark no stabilization has been used except some trials.

Terminology of stabilization materials (recycling mixtures based on cold technology) and technology based on them varies in different countries, which makes it difficult to handle the thing in a uniform way. The study was limited to foam bitumen and bitumen emulsion stabilization materials specified in the Finnish way. Some data was also enclosed about a remix-like method from Sweden. Results have also been shown about composite stabilization follow-up studies of trials in Sweden. (A composite stabilization containing both bituminous and hydraulic binder in the same layer).

In Norway road structures have been strengthened for many years using a cold technology in the same way as in Finland. Norway has established uniform terminology and production methods. At the end of 1990's Norway had an active research and development phase of cold technology based construction methods. In the AUT-project (Asfaltutviklings-prosjektet i Telemark) from 1994-97 many test methods were developed for mix design of cold mixes in Norway.

The Finnish part of this research includes a short review of Finnish mix design method for stabilizations and earlier studies about composite stabilizations. Additional statistics about stabilizations made in Finland from 2000-06 are given

## ESIPUHE

Tämä kirjallisuusselvitys on osa INFRA-teknologiaohjelman projektin "Tien kerrosstabiloinnin käyttöikä ja tuotehyväksyntä" (STABIL) alaprojektia "Stabilointien kehittämisen laboratoriotutkimus".

Tutkimuksen rahoittajat ovat Tekes, Tiehallinto, Tieliikelaitos, Andament Oy, Lemminkäinen Oyj, NCC Roads Oy, Skanska Asfaltti Oy, Valtatie Oy, Rautaruukki Oyj ja Finnsementti Oy. Projektin johtoryhmään ovat kuuluneet:

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 Tieliikelaitos
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 Mäkikyrö	Rautaruukki Oyj
Pia Rämö	Finnsementti Oy

Lisäksi tutkimusta ohjaavaan laajennettuun johtoryhmään ovat kuuluneet:

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

Työn menetelmätekniisiä asioita ohjaavaan pienryhmään kuuluivat:

Lars Forstén	Lemminkäinen Oyj
Ilmo Hyyppä 30.4.2006 asti	TKK
Rainer Laaksonen	VTT
Kyösti Laukkanen	VTT
Markku Pienimäki	VTT

Tutkimusraportin ovat laatineet dipl.ins. Markku Pienimäki ja dipl.ins. Kyösti Laukkanen VTT:sta.

Helsingissä joulukuussa 2007

Tiehallinto  
Tietekniikka

**Sisältö**

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b>	<b>9</b>
1.1	Tutkimuksen taustaa	9
1.2	Tutkimuksen tavoite	9
1.3	Tutkimuksen rajaus	10
<b>2</b>	<b>STABILOINNIT POHJOISMAISSA</b>	<b>11</b>
2.1	Stabiloinnit Suomessa	11
2.1.1	Suomalaiset stabilointimenetelmät	11
2.1.2	Suomalaisten stabilointien tyypillisiä ominaisuuksia	13
2.2	Stabiloinnit Norjassa	15
2.3	Stabiloinnit Ruotsissa	15
<b>3</b>	<b>SUHTEITUSMENETELMÄT</b>	<b>18</b>
3.1	Suomalainen suhteitusmenettely	18
3.1.1	Kiviaines	18
3.1.2	Sideaine	19
3.1.3	Massan koostumuksen suunnittelu	19
3.1.4	Suhteitusvaatimukset	21
3.2	Norjalainen suhteitusmenettely	21
3.2.1	Kiviainesvaatimukset	22
3.2.2	Sideaineen valinta	23
3.2.3	Sideaineen pohjabitumin valinta	23
3.2.4	Vesipitoisuus	25
3.2.5	Sideainepitoisuus	25
3.2.6	Massanäytteiden valmistus	26
3.2.7	Näytesäilytys	26
3.2.8	Epäsuora halkaisuvetolujuuskoe	27
3.3	Ruotsalainen suhteitusmenettely	28
<b>4</b>	<b>KOEMENETELMIIN LIITTYVIÄ TUTKIMUSTULOKSIA</b>	<b>32</b>
4.1	Norja	32
4.1.1	Koenäytteiden vanhennustestit	32
4.1.2	Kiertotiivistimen testaukset	33
4.1.3	Massan deformaatioherkkyyden arviointi	36
4.2	Ruotsi	37
4.2.1	Kiertotiivistimellä valmistettu massa	37
4.2.2	Näytteiden säilytysajan ja säilytyslämpötilan vaikutus	39
4.2.3	Sementtilisäyksen vaikutus emulsiomassaan	40
4.2.4	Jäätymis-sulamiskestävyystestin kokeilu	41
4.3	Suomi	44
4.3.1	Sideainelaji ja tartukkeen käyttö	44
4.3.2	Bitumi- ja komposiittistabilointien ominaisuudet	44

5	YHTEENVETO	46
6	KIRJALLISUUSVIITTEET	47

---



## 1 JOHDANTO

### 1.1 Tutkimuksen taustaa

Stabilointien tarjoamat taloudelliset, vuosikustannuksiltaan edulliset rakennevaihtoehdot ovat ohjanneet kenties selvimmin stabilointien käyttöä erityisesti vähäliikenteisille ja huonokuntoisille teille. Paksuilla ja joustavilla bitumisilla kantavilla kerroksilla on voitu vähentää rakenteen kunnan vuodenaikaisia vaihteluita ja lisätä määrätysin edellytyksin tien routakestävyyttä.

Stabilointi sitoo tien kantavan kerroksen irrallisen hienoaineksen ja vähentää siten pintakerrosten routimisherkkyyttä. Ohuilla pintakerroksilla ja stabiloinnilla ei kuitenkaan pystytä estämään pohjamaan routimisesta aiheutuvia vaurioita. Routimisesta aiheutuvien pituushalkeamien syntyä voidaan parhaiten estää tehokkaasti eristepaksuutta lisäämällä tai teräsverkoilla. Tällaisten raskaampien rakenteenparantamistoimenpiteiden toteuttamismahdollisuuksia rajoittaa kuitenkin usein tien korjausmäärärahojen niukkuus. Tästä syystä stabilointi on usein käytetty vaihtoehto tien korjaamiseksi liikennöitävään kuntoon.

Yhä useammin rakenteenparantamisessa vanhan linjauksen ja tasausviivan säilyttäminen on asetettu suunnitteluvaatimukseksi. Samoin korostuneet ympäristövaatimukset (kuten paikalla valmistus, paikalliset materiaalit, kierrätys, sivutuotteet) ovat toteutettavissa stabilointitekniikalla. Merkittäväksi suunnittelukriteeriksi kehittyvä tuotteen elinkaariajattelu suosii sekin energiakulutukseltaan ja päästöiltään vähäisiä kylmätekniikkaan perustuvia stabilointeja.

Tämä on lisännyt stabilointien tutkimis- ja kehittämistarvetta. Pohjoismaissa, erityisesti Norjassa, tutkittiin ja kehitettiin varsinkin 1990-luvun loppupuolella paljon bitumisia kylmäsekoitteisia kantavan kerroksen materiaaleja ja niihin liittyvää tutkimustekniikkaa. Tutkimusten ansiosta stabilointien suunnittelu- ja mitoitusmahdollisuudet ovat parantuneet, mutta edelleen esimerkiksi stabilointien mitoitus tiedot ovat puutteellisia. Kun uusien menetelmien – mm. kaluston kehittymisen – myötä stabilointeja on ryhdytty käyttämään myös vilkasliikenteisillä teillä, stabilointien tutkimustarve on edelleen ajankohtainen.

Tämä selvitys sisältyy INFRA-teknologiaohjelman projektiin "Tien kerrosstabiloinnin käyttöikä ja tuotehyväksyntä", joka koostuu seuraavista kolmesta osatutkimuksesta

- Stabilointien kehittämisen laboratoriotutkimus
- Referenssistabilointien täysmittakaavatutkimus
- Stabilointien käyttöiän arvioinnin ja tuotehyväksynnän kehittämistutkimus.

### 1.2 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli

- kerätä pohjoismaisia tutkimustuloksia ja kokemuksia vaahtobitumi-, komposiitti- ja Remix-stabiloinneista. (Lyhenteet: VBST, KOST ja REST)
- etsiä kehittymismahdollisuuksia suomalaiseen stabilointien tutkimustekniikkaan, erityisesti suhteitukseen.



### 1.3 Tutkimuksen rajaus

Stabiloinnilla tarkoitetaan tutkimuksessa Suomen rakentamiskäytännön mukaista kerrosstabilointia. Suomessa käytössä olevan stabilointiohjeen mukaan yleistermi stabilointi tarkoittaa "tierakenteen parantamismenetelmää, jossa tien jakava tai kantava kerros tai kantavan kerroksen yläosa sidotaan bitumilla, sementillä tai masuunihiekalla. Stabilointia tehdään sekä uusia teitä rakennettaessa että vanhoja teitä peruskorjattaessa. Stabiloidun rakenteen vaihtoehtoja ovat sitomaton kantava kerros ja korkealuokkaisilla teillä käytettävä kantavan kerroksen asfalttibetoni (ABK). Stabilointeja voidaan tehdä joko paikallasekoitus- tai asemasekoitusmenetelmällä." Stabiloinneille on ominaista, että niissä käytetään yleensä materiaalina korjattavan tien vanhaa materiaalia, jonka ominaisuudet vaihtelevat jatkuvasti tielinjalla. Stabilointimenetelmässä kierrätetään siten tehokkaasti vanhaa rakennusmateriaalia. Energiaa säästyy, kun materiaalin kuljetus- ja lämmitystarve vähenee kuumatekniikkaan verrattuna. Rakentamistavasta johtuen stabilointien rakentaminen ja sideainepitoisuusvalinnat perustuvat suurelta osin kokemukseräiseen tietoon.

Kirjallisuusselvitys rajattiin tutkimussuunnitelmassa bitumia sideaineena sisältäviin stabilointeihin, joita ovat vaahotbitumi-, emulsio-, remix- ja komposiittistabilointi.

Pohjoismaissa vastaavanlaisia stabilointeja tehdään Norjassa ja Ruotsissa. Tanskassa ei käytetä kylmasekoitteisia bitumistabilointeja juuri lainkaan. Siksi ei maahan ole vakiintunut aiheeseen liittyvää terminologiaakaan. Ainutta stabilointiin viittaavaa materiaalia kutsutaan "kantavaksi kerrokseksi murskatusta asfaltista" (bærelag af knust asfalt), millä tarkoitetaan käsittelemättömän vanhan asfaltin uudelleenkäyttöä kylmätekniikalla [5]

Islannissa käytetään yleisesti norjalaista terminologiaa ja ohjeistusta (Håndbok 018, Vegbygging) niin uudisrakentamisessa kuin rakenteen parantamisessakin, joten tutkimuksessa pidettiin tältä osin riittävänä norjalaisiin tutkimuksiin tutustumista. [18]

Norjan ja Ruotsin osalta on tarkastelu pyritty rajaamaan suomalaista stabilointia vastaaviin materiaaleihin ja menetelmiin. Ruotsissa kylmätekniikkaan perustuva kulutuskerrokseen käytetty vanhan materiaalin uudelleenkäyttö (återvinning) on rajattu tutkimuksesta pois. Muutenkin Ruotsissa kylmätekniikkaan perustuvat menetelmät ovat pääosin asemasekoitteista vanhan asfaltin (returasfalt, asfaltgranulat) uudelleenkäyttöä, mikä selvästi korostaa heidän tutkimuksissaan ja ohjeissaan vanhan asfaltin ja asemasekoitustekniikan osuutta.

Viime vuosina yleistynyt sekoitusjyrsintä ei ole stabilointimenetelmä, koska jyrsinrouhetta ei kiinteytetä sideaineella, eikä se siten kuulu varsinaisesti tämän selvityksen aihepiiriin. Sekoitusjyrsintä on kunnostusmenetelmä, jossa vanhan tien kulutuskerros ja kantavakerros sekoitetaan keskenään ja homogenisoidaan sekoitusjyrsimellä lisäämättä sideainetta. Sekoituksen jälkeen jyrsitty kerros muotoillaan ja tiivistetään. Menetelmää käytetään yleensä kantavuudeltaan suhteellisen hyvillä PAB-V-teillä alustan homogenisoimiseksi ja tasaisuuden parantamiseksi.

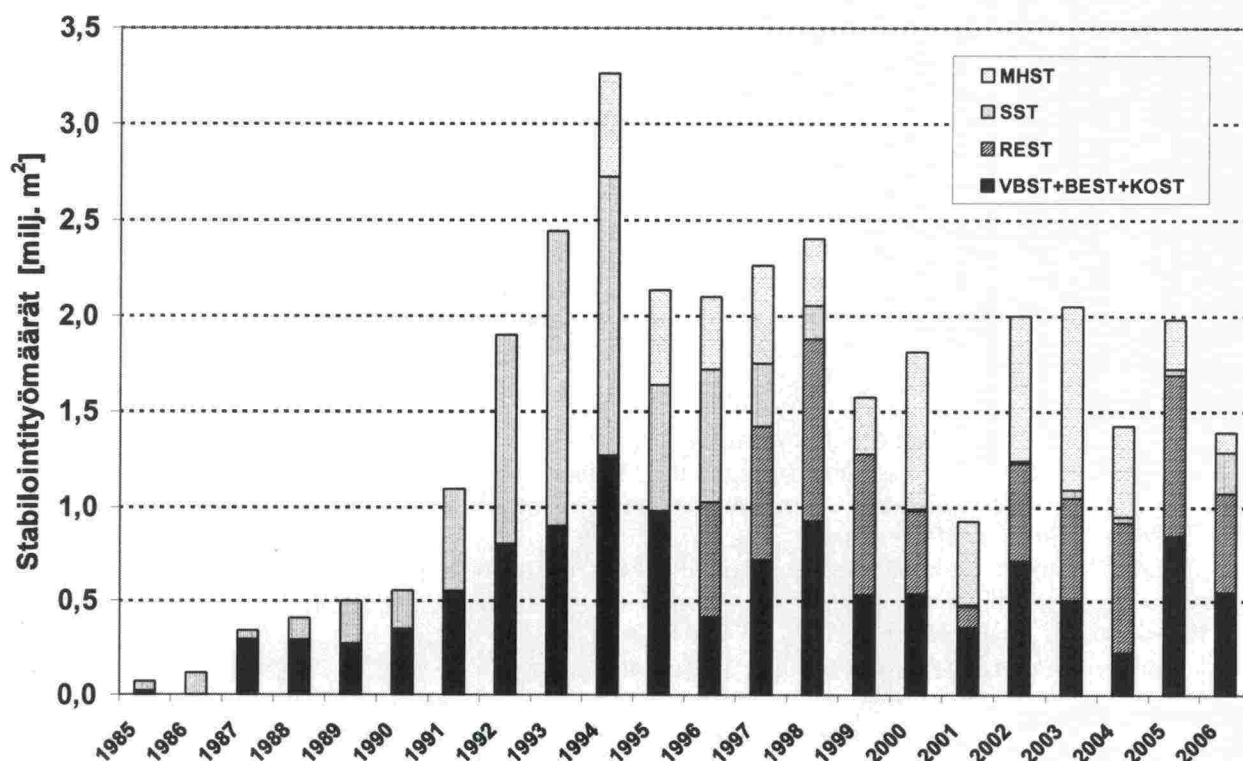
Nykytilaselvitys tehtiin ennen kerrosstabilointien kehittämisen laboratoriokeita, joiden perusteella tehdään todennäköisesti muutoksia myös suomalaisiin stabilointiohjeisiin.

## 2 STABILOINNIT POHJOISMAISSA

### 2.1 Stabiloinnit Suomessa

#### 2.1.1 Suomalaiset stabilointimenetelmät

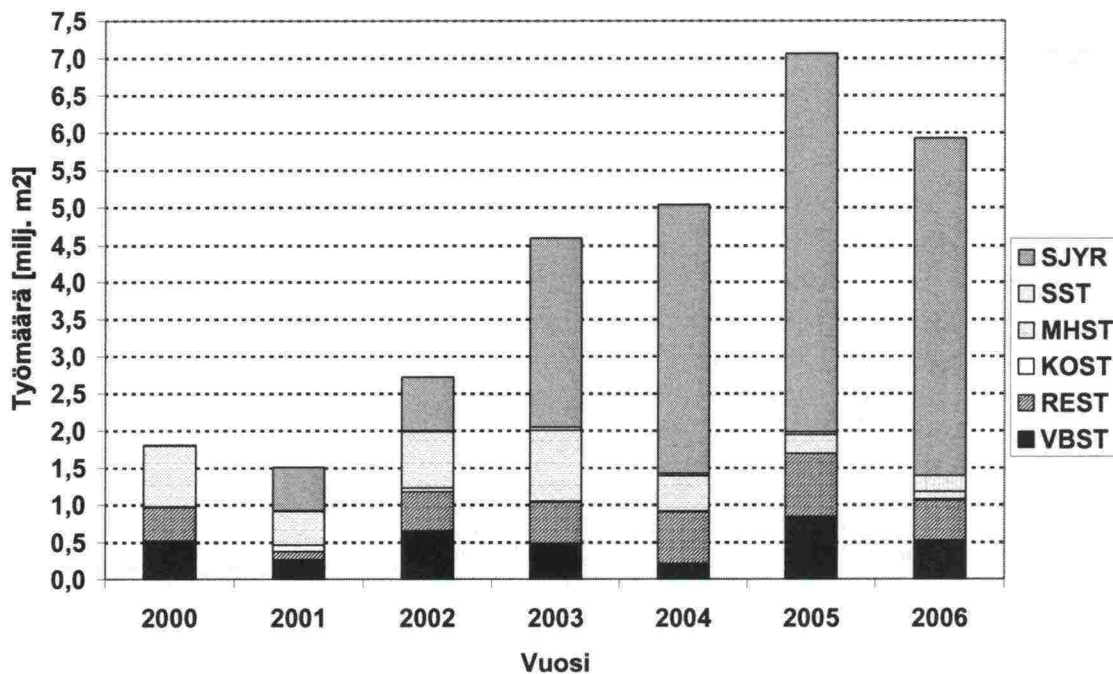
Suomessa bitumistabiloinnilla tarkoitetaan asema- tai paikallasekoitusmenetelmää, jossa tien kantavan tai jakavan kerroksen kuormituskestävyyttä lisätään sitomalla kylmä kiviaines joko vaahdotetulla bitumilla (VBST) tai bitumiemulsiolla (BEST). Bitumistabilointeja on tehty Suomessa lähinnä huonokuntoisten teiden kestävyyden parantamiseksi 1980-luvun alkupuolelta lähtien. Stabilointien määrä on kasvanut tasaisesti siitä lähtien lähes 1990-luvun puoliväliin asti, kuva 1.1 ja 1.2.



Kuva 1.1. Stabilointimäärien kehitys Suomessa v.1985 – 2006 (ei sisällä sekoitusjyrsintää, viite: Tiehallinnon tilastot 1985-1999, urakoitsijat 2000-06).

Vuosituhaten vaihteen jälkeen on sekoitusjyrsintämenetelmää alettu käyttää erittäin suuressa määrin stabilointien asemasta. Sekoitusjyrsinnän työmäärät ovat lisääntyneet merkittävästi erityisesti viime vuosina. Sekoitusjyrsinnän yleistymistä on edistänyt sen halvempi hinta rakennusvaiheessa, kuva 1.2.





Kuva 1.2. Stabilointien ja sekoitusjyrsinnän työmäärät v. 2000-06 urakoitsijoiden ilmoitusten mukaan.

Stabilointimenetelmät jaotellaan sekoitustavan (tai sekoituspaikan) perusteella asemasekoitus- ja paikallasekoitusmenetelmään. Asemasekoitusmenetelmää käytetään erityisesti uuden rakennekerroksen stabiloinnissa. Paikallasekoitusmenetelmää voidaan käyttää sekä vanhan tierakenteen korjaustöissä että uudisrakennustöissä.

Asemasekoitusmenetelmälle on ominaista, että kiviaineksen rakeisuus tunnetaan yleensä etukäteen ja massan rakeisuus on säädettävissä ennakkokokeiden mukaiseksi. Paikallasekoitusmenetelmälle on ominaista, että stabiloitaessa käytetään joko

- kokonaan vanhaa tielinjalta saatavaa päällysrakennemateriaalia tai
- osittain vanhaa tielinjalta saatavaa päällysrakennemateriaalia ja osittain muualta tuotua lisämateriaalia tai
- kokonaan muualta tuotavaa päällysrakennemateriaalia.

Tienpitäjän rahoituksen niukkuus on johtanut nykyisen tyyppisten stabilointimenetelmien kehittämiseen ja menetelmiin, joissa käytetään alhaisia si-deainepitoisuuksia. Menetelmät ovat yleensä RC-menetelmiä, joissa rouhitetaan ja käytetään hyödyksi stabiloitavan tien vanha päällyste. Bitumiemulsio-stabilointi (BEST) ja vaahtobitumistabilointi (VBST) ovat ominaisuuksiltaan lähellä toisiaan. Teoriassa ne eroavat toisistaan bitumin lisäystavan perusteella: Ensin mainittuun bitumi lisätään emulgoituna ja jälkimmäiseen vaahdotettuna. Molemmille stabilointityypeille asetetaan samat vaatimukset riippumatta bitumin lisäystavasta. Käytännössä erilaisesta työtekniikasta aiheutuu joitakin eroja myös näiden soveltuvuuteen erilaisiin kohteisiin: Asfalttinormien 2000 ohjeiden mukaan vaahtobitumistabilointi soveltuu runsaammin hienoainesta sisältävien kiviainesten stabilointiin kuin emulsio-stabilointi.

Perinteisten stabilointimenetelmien rinnalle on 1990-luvun aikana kehitetty Remix-stabilointi (REST), masuunihiekkastabilointi (MHST) ja komposiittistabilointi (KOST). Kun myös stabilointien suunnittelua ja mitoitusta on kehitetty, niitä on alettu käyttää yhä enemmän myös vilkkaammin liikennöityjen teiden rakenteissa. Stabiloidun rakenteen vaihtoehtoja ovat sitomaton kantava kerros ja korkealuokkaisilla teillä käytettävä kantavan kerroksen asfalttibetoni (ABK) ja sidekerroksen asfalttibetoni (ABS).

Suomalaisten tutkimusten mukaan stabiloinnilla parannetaan erityisesti tien kuormituskestävyyttä. Stabiloinnin vaikutuksesta päällysrakenteen yläosan jäykkyys kasvaa ja kuormitus jakaantuu laajemmalle alueelle. Tämä pienentää myös pohjamaan pinnalle kuormista aiheutuvia rasituksia. Hienoaineksen sitominen ja kiviaineksen tyhjätilan pienentäminen estävät veden liikkumista materiaalissa vähentäen olosuhdemuutoksia ja rakenteen ominaisuuksien vaihtelua.

### 2.1.2 Suomalaisen stabilointien tyypillisiä ominaisuuksia

Suomalaisille bitumia sisältäville kerrosstabilointimenetelmille on ominaista, että niissä käytetään yleensä työkohteesta paikalla saatavaa materiaalia. Tästä syystä raaka-aineet vaihtelevat jatkuvasti stabilointikohteen eri kohdissa. Yleensä stabilointikohteen materiaaleista ei ole kattavaa ennakkotietoa eikä urakan toteutusaikataulun puitteissa ole mahdollista toteuttaa laajaan näyteenottoon perustuvia ennakkokokeita. Stabilointitöiden rakentaminen perustuu siten suurelta osin kokemuseräiseen tietoon. Menetelmät on kehitetty suurelta osin työmaalla tehtyjen kokeilun tuloksena.

Suomalaiset stabilointimenetelmät ja niiden valintaperusteet on esitelty Tiehallinnon Stabilointiohjeessa [1]. Kokemuseräisestä rakentamismenetelmästä johtuen myös massan koostumuksen valinta perustuu suurelta osin kokemuseräiseen tietoon.

Seuraavassa on esitetty eräitä erityisominaisuuksia tämän selvityksen aihepiiriin kuuluvista bitumi- ja komposiittistabilointimenetelmistä.

#### Vaahdotumistabilointi

Sideaineena käytetään bitumia B70/100 ... B650/900, joka vaahdotetaan ennen sen sekoittamista kiviainekseen. Sideainepitoisuus on tyypillisesti 3,2 – 4,2 massa-%. Bitumiin voidaan lisätä korkean lämpötilan kestävä tartuketta [22]. Tutkimuksen suoritusajankohtana vaahdotumistabiloineissa ei yleensä käytetty tartuketta.

Vaahdotumistabilointi soveltuu enemmän hienoainesta sisältäville kiviaineksellille kuin emulsiostabilointi. Vaahdotumistabiloinnin onnistumisen kannalta on keskeistä:

- riittävä vaahdonmuodostus, kun kuuma bitumi vaahdotetaan veden kanssa
- vaahdon riittävän pitkä puoliintumisaika
- vaahdotetun sideaineen tasainen jakautuminen massaansa [24].



### Bitumiemulsiostabilointi

Bitumiemulsiostabiloinnin sideaineena on bitumiemulsio. Suomalaisen, yleensä runsaan  $\text{SiO}_2$ -pitoisuuden omaavien päällystekiviainesten pintavaraus on negatiivinen ja siksi meillä käytetään kationisia emulsioita, joilla saavutetaan paremmat emulsion murtuvuus- ja tartuntaominaisuudet [7]. Kationisen emulsion emulgaattori on yleensä amiinia.

Bitumiemulsio sisältää bitumia, vettä ja emulgaattoria. Sideaineena toimii vain emulsion bituminen osa. Sideaineena käytetään bitumia B70/100 ... B650/900, joka emulgoidaan ennen sekoitusta. Bitumiemulsio on hitaasti tai keskinopeasti murtuva emulsio. Sideaineen (bitumin) määränä on tyypillisesti käytetty 3,2 – 4,2 massa-%. Optimibitumipitoisuus riippuu kiviaineksen hienoainespitoisuudesta. [22]

Massojen tyypillinen tyhjätila on ollut 10 – 14 %. Koska emulsio sekoitetaan aina kosteaan kiviainekseen, emulsion sisältämä vesi saattaa joskus rajoittaa mahdollisuuksia saavuttaa alhainen tyhjätila. Bitumiemulsiostabilointi lujittuu useiden kuukausien ajan. Tutkimustulosten mukaan samaa sideainepohjaa käytettäessä bitumiemulsiostabiloinnin lujuus (jäykkyysmoduuli) on jäänyt hiiven pienemmäksi kuin vaahto-bitumistabiloinnilla. [22].

### Remix-stabilointi

Remix-stabiloinnissa vanha päällyste lämmitetään säteilylämmittimillä, lämmitetty päällyste ja kantavan kerroksen hienontunut yläosa jyrsitään, massaun lisätään uutta kiviainesta tarvittava määrä ja seos sekoitetaan bitumiemulsion kanssa. Sekoitustyö tehdään jatkuvatoimisella sekoittimella (Remix-stabilointilaitteistolla) tiellä. Tämän jälkeen valmis massa levitetään ja tiivistetään. [22]

Massan rouhepitoisuus on suurempi kuin vaahto-bitumi- tai emulsiostabiloinneissa. Sideaineena käytettävä bitumiemulsio sisältää bitumia, vettä ja emulgaattoria. Emulsion bitumipohja on B70/100 ... B650/900. Emulsio on hitaasti tai keskinopeasti murtuvaa. Lisättävä sideainemäärä määräytyy käytettävien materiaalien perusteella. Tyypillisesti käytetty (jäävä) bitumipitoisuus on ollut noin 3,0 – 3,5 %. [1, 27].

Lapin tiepiirissä tyhjätilavaatimuksena on pidetty 9 %, joka saavutetaan, kun hienoainesta on vähintään 6 % (enintään 12 %), sideainetta 3,2 – 3,5 % ja tiivistys on tehokasta. [28].

### Komposiittistabilointi

Komposiittistabiloinnilla tarkoitetaan tien päällysrakenteen kantavaa tai jakavaa kerrosta, jossa on käytetty sideaineena sekä bitumia että sementtiä. Molemmilla on päällysteen sideaineena hyvät puolensa. Komposiittirakenteissa on pyritty hyödyntämään kummankin sideaineen hyviä ominaisuuksia samassa kerroksessa, siten että ne kestäisivät alustan muodonmuutoksia paremmin kuin maabetonirakenne ja olisivat vähemmän deformaatioherkkiä kuin bitumilla sidottu rakenne. Jäykkyyttä voidaankin säätää laajoissa rajoissa bitumisen ja hydraulisen sideaineen pitoisuuksien ja keskinäisen määräsuhteen avulla. [22]

Komposiittistabiloinnin alkulujittuminen on nopeampaa, deformaatiokestävyys parempi, jäykkyys korkeampi ja lämpötilan vaikutus lujuusominaisuuksiin on vähäisempi kuin bitumistabiloinnin vastaava ominaisuus. Jo vähäinenkin sementtilisäys (noin 1 %) lisää merkittävästi massan alkulujittumisnopeutta, deformaatiokestävyyttä ja jäykkyyttä.



## 2.2 Stabiloinnit Norjassa

Suomen bitumistabilointia vastaavana terminä Norjassa voidaan pitää kylmänä bitumistabiloitua kantavaa kerrosta – "kalde bitumenstabiliserte bærelag". Norjalaisittain se määritellään kylmänä ja kosteana joko asemalla tai tiellä stabilointimenetelmällä sidotuksi kiviainekseksi. Tällaisia massatyyppisiä ovat emulsiosora (Eg, emulsjonsgrus), vaahtosora (Sg, skumgrus), emulsiomurske (Ep, emulsjonspukk), bitumistabiloitu sora (Bg, bitumenstabilisert grus) ja uusioasfaltti (Gja, gjenbruksasfalt). Emulsiosora ja vaahtosora ovat määritysten mukaan uusiomassoja. Bitumistabiloitu sora sisältää aina myös vanhan rakenteen kiviainesta. Emulsiomurske on vettä läpäisevä (drenerende) bitumistabiloitu massa. Uusioasfaltti sisältää aina vanhaa asfalttia.

Emulsiosora, vaahtosora, bitumistabiloitu sora ja emulsiomurske ovat kantavan kerroksen materiaaleja. Emulsiosoran ja vaahtosoran tyyppisiä massoja voidaan käyttää myös väliaikaisina kulutuskerroksina. Uusioasfalttia voidaan käyttää väliaikaisena päällysteenä ja kulutuskerroksena vähäliikenteisillä teillä. Materiaalien enimmäisliikennemääräsuositukset ovat massatyyppistä riippuen 3000 - 5000 ajoneuvoa/vrk. Liikennemääräsuositukset kullekin massatypille on esitetty taulukossa 2.1.

Taulukko 2.1 Liikennemäärät (ajon/vrk) kantavan kerroksen massatyypeille.

Materiaalityyppi	Ylempi kantava	Alempi kantava
Vaahtosora (Sg)	3000	5000
Emulsiosora (Eg)	3000	5000
Emulsiomurske (Ep)	3000	5000
Bitumistabiloitu sora (Bg)	1500	3000
Uusioasfaltti (Gja)	ei rajoitusta	ei rajoitusta

Vuosina 1994 -1997 käynnissä olleessa AUT-projektissa (Asfaltutviklingsprosjektet i Telemark) keskityttiin kylmäasfalttiteknologian kehittämiseen Norjassa. Projektissa parannettiin kylmäsekoitteisten materiaalien kantavuusominaisuuksia (bæreevnen) ja kehitettiin niistä toimivia taloudellisia kulutuskerroksia. Projektin keskeinen tavoite oli kulutuskerrosmateriaalin kestävyys ja ajomukavuuden parantamisessa. Suuri osa parannuksista saavutettiin kehittämällä materiaalien suhteitusta, massan työstettävyyttä ja lisäämällä materiaalien lujuutta. Osa parannuksista saatiin aikaan kehittämällä massojen levitys- ja tiivistystekniikoita.

AUT-projektin massat ovat pääosin asemasekoitteisia kylmäasfaltteja (verkprodusert kaldasfalt), joiden sideaineena on yleensä bitumiemulsio, mutta myös vaahtobitumia käytetään. Projektin tuloksia on hyödynnetty norjalaisen Stabilointiohjeen "Kalde bitumenstabiliserte bærelag, Håndbok 198" laadinnassa. Ohje kohdistuu pääosin asemasekoitteisiin stabilointimenetelmiin.

## 2.3 Stabiloinnit Ruotsissa

Ruotsissa ei stabilointitermiä käytetä samassa merkityksessä kuin Suomessa. Sen sijaan yleisterminä käytetään "återvinning" (uudelleenkäyttö, kierrätys). Eri uudelleenkäyttömenetelmistä lähinnä suomalaista kerrosstabilointia on "kall återvinning i verk" tai "kall återvinning på plats". Ensin mainittu menetel-

mä vastaisi Suomessa kylmäsekoitteen stabilointimassan (tai kylmäsekoitteen uusioasfalttimassan) valmistusta asemalla. Jälkimmäinen menetelmä on rakennuspaikalla sekoitettu, vanhaa sidottua päällystekerrosta ja mahdollisesti myös sitomatonta kantavaa kerrosta, lisäsideainetta ja tarvittaessa lisäkiviainesta sisältävä uusiomassa kulutus- tai kantavaan kerrokseen. Sideaineena molemmissa voidaan käyttää joko bitumiemulsiota tai vaahtobitumia. [25]

Koska ruotsalainen "stabilointiin" liittyvä terminologia perustuu uudelleenkäytökäsitteeseen (ätervingning), esitetään ruotsalaisessa lähteissä stabilointiin liittyviä asioita myös termin "puolilämpimin uudelleenkäyttö paikalla" (halvvarmätervingning i plats) yhteydessä. Näin ollen suomalaista bitumistabilointia vastaavat menetelmät kuuluisivat Ruotsissa kylmiin ja puolilämpimiin uudelleenkäyttömenetelmiin.

Kylmiin (sekoituslämpötila < 50 °C) ja puolilämpimiin (50 -120 °C) paikallasekoitusmenetelmiin lasketaan kuuluvaksi seuraavat materiaalin valmistusmenetelmät:

- homogenisoidun (sekoitetun) asfaltin ja sitomattoman kantavan kerroksen stabilointi kylmänä joko bitumiemulsiolla tai vaahtobitumilla (kerros-paksuus maksimi 20 cm)
- yhden tai useamman asfalttikerrosten sekoitus (remixing) kylmänä bitumiemulsiota lisäämällä (maksimi 10 cm)
- homogenisoimalla (syväjyrsimällä) päällyste ja sitomattomia kerroksia ilman sideainelisäystä kylmänä (maksimi 50 cm)
- sekoittamalla (remixing) lämmitettyyn jyrsintämassaan emulsiota tai pehmeätä bitumia (maksimi 8 cm). [8]

Remix-menetelmässä käytetään tarkoitukseen suunniteltua konetta (Road Mixer), jossa on sekä jyrsin että levitin samassa yksikössä. Puolilämpimässä menetelmässä ennen jyrsintää vanhan päällysteen pinta lämmitetään niin että sen jyrsintä onnistuu paremmin ja samalla uuden massan sekoitus ja tiivistys helpottuvat. Laitteella voidaan käsitellä 4-8 cm paksuja pehmeitä päällystekerroksia. Laitte pystyy käsittelemään myös jonkin verran päällysteen alla olevaa suhteellisen hienoa kiviainesta. Asfalttibetoni on yleensä niin kovaa, ettei sen käsittely laitteella onnistu tällä laitteella. [8]

Sideaineina ja niiden lisäaineina menetelmissä käytetään:

- bitumiemulsiota
- vaahtobitumia ja tartuketta
- bitumiemulsion ja sementin yhdistelmää
- vaahtobitumin ja sementin yhdistelmää
- pehmeää bitumia ja tartuketta.

Ruotsissa ei ole luokiteltu erilliseksi stabilointityypiksi komposiittityypistä massaa. Pienen sementtilisäyksen (1 -2 %) todetaan voivan parantaa edellä kuvattujen massojen jäykkyyttä ja vedenkestävyyttä. Bitumiemulsion pohjana on käytetty bitumeja B160/220 ja B330/430 ja emulsio on ollut keskinopeasti murtuvaa. Vaahtobitumissa käytetään tavallisesti bitumina B160/220. Lisäki-viaineena on aina käytettävä kalliomursketta (makadamfraktioner). [7]

Stabiloinneissa voidaan kantavaan kerrokseen uudelleenkäyttää suurinta osaa asfalttityypeistä. Remix-tekniikalla voidaan pehmeällä bitumilla tehtyjä kulutuskerroksia käyttää uudelleen kantavaan tai kulutuskerrokseen. [8]



Vaahtobitumi sopii bitumiemulsiota paremmin kiviaineksiin, joiden hienoainespitoisuus on korkea tai kosteus suuri. Tällöin saavutetaan homogeenisempi lopputuote vaahdotetulla bitumilla sekoitusvaiheessa olevan suuren tilavuuden ansiosta. Useimmissa tapauksissa sideaineen valintaan vaikuttavat muut kuin tekniset seikat, kuten taloudellisuus tai laitteistojen ja sideaineen saatavuus. Ruotsissa vaahtobitumilla lasketaan useimmiten saavutettavan taloudellisempi lopputulos jo sen takia, ettei sideaineen mukana tarvitse kuljettaa vettä (vrt. Suomessa käytetty työkohteella toimiva emulsiolaitos). [8]

Ruotsissa tehdään enemmän asemasekoitteista kuin paikalla stabilointia ja sideaineena on yleisimmin emulsio. Ruotsin tuotantomäärät ovat noin 0,5 milj. tonnia ns. kylmäsekoitteisia massoja ja noin 1 milj. tonnia ns. puolilämpimiä massoja. Valtaosa tästä tuotannosta on uudelleenkäyttöä. [25]

Ruotsin tierakenteiden suunnitteluohjeissa (ATB VÄG 2004) ei mainita termiä "stabilisering" bitumilla sidottujen kerrosten yhteydessä. Kylmäsekoitteisen uusiopäällysteen (kall återvinning) suhteitusvaatimukset niissä on esitetty. Kylmäsekoitteisen uusiopäällysteen (kall återvinning) asfalttirouheelle on Ruotsin asfalttinormeissa asetettu vaatimuksia rakeisuudelle ja maksimivesipitoisuudelle.

### 3 SUHTEITUSMENETELMÄT

#### 3.1 Suomalainen suhteitusmenettely

Suomessa kaikille stabilointimenetelmille on annettu suunnitteluohjeissa, yleisissä laatuvaatimuksissa tai julkisissa materiaalitutkimusraporteissa ohjealueet rakeisuudelle ja rakeisuuden ohjealuetta vastaavalle bitumipitoisuudelle. Nämä yleiset koostumusohjeet esim. Asfalttinormeissa tai stabilointiohjeissa perustuvat kokemukseräiseen tietoon tuotteiden koostumuksesta ja ominaisuuksista. Stabiloinneille on asetettu selvästi vähemmän vaatimuksia kuin esim. kulutuskerrosmassoille tai kantavan kerroksen asfaltticonille.

Stabilointien suhteitus on esitetty Tiehallinnon Stabilointiohjeessa. Seuraavassa lyhyt referaatti suomalaisesta suhteitusmenettelystä ja suhteitusvaatimuksista. [1].

##### 3.1.1 Kiviaines

Stabilointiin käytettävä kiviaines ja erityisesti sen hienoaines vaikuttavat merkittävästi stabiloidun kerroksen ominaisuuksiin ja sideainetarpeeseen. Vaikuttavia kiviaineksen ominaisuuksia ovat esim. rakeisuus, puhtaus, murtopintaisuus, humuspitoisuus, mineraalikoostumus ja mekaaniset ominaisuudet sekä hienoaineksen ominaisuudet kuten ominaispinta-ala ja hydrofiilisyyt. Sideainetyyppi (bituminen/hydraulinen) ja sideaineen ominaisuudet (esim. bitumin kovuus ja tartuntaominaisuudet) vaikuttavat stabiloinnin lujuus- ja kestävyysominaisuuksiin.

Stabilointiin käytetään tielinjalta saatavaa tai muuta, usein työkohtakohtaisesti vaihtelevaa kiviainesta. Rakeisuuskäyrä ja sideainepitoisuus valitaan tai optimoidaan suhteituksen yhteydessä. Stabilointiohjeessa on esitetty kiviaineksen rakeisuusohjealueet VBST-, BEST- ja REST -työmenetelmille. Kun kohteen KVL on suurempi 3000 ajoneuvoa kiviaineksen lujuudelle ja litteysluvulle on asetettu seuraavat vaatimukset:

- Los-Angeles luku  $\leq 40$
- Litteysluvun keskiarvo  $\leq 50$ .

Kiviainesten vedensitomisoimaisuudet vaihtelevat suuresti. Stabilointiohjeen mukaan kiviaineksen vedensitomiskyky tulee selvittää ennakkokokein, jotta stabiloinnin sideaine- ja vesipitoisuus osataan valita siten, että stabiloinnista tulee hyvin tiivistyvä ja vedenkestävä. Vedensitomiskykyä voidaan arvioida sekä hienoaineksen ominaisuuksista että koko kiviaineksestä TS-testillä (Tube Suction).

Hienoaineksen ominaisuudet määritetään  $< 0,063$  mm lajitteesta. Taulukossa 3.1 määritettäviksi esitetyt ominaisuudet ja raja-arvot ovat ohjeellisia. Ne on tarkoitettu käytettäväksi bitumistabilointien suunnittelun helpottamiseksi ja laadun varmistamiseksi.

Taulukko 3.1 Stabilointiin käytettävän kiviaineksen hienoaineksesta määritettävät ominaisuudet ja niiden suositusrajat.

Ominaisuus	Yksikkö	Suositus	Menetelmä
Tyhjätila	%	35 - 40	PANK-2404
Vedenadsorptio	%	-	PANK-2108
Ominaispinta-ala	m <sup>2</sup> /kg	-	PANK-2401
Hydrofiilisyyys	mg/m <sup>2</sup>	< 10	

### 3.1.2 Sideaine

Bitumistabiloinnin sideaineena käytetään Asfalttinormien mukaan bitumia B70/100... B650/900, joka voidaan lisätä kiviainekseen vaahdotettuna tai emulgoituna. Bitumistabiloinnin sideaineeksi voidaan valita myös erikoiskova bitumi, jonka tunkeuma on 20...40 1/10 mm. Jos stabiloitava materiaali sisältää rouhetta, tulee rouheen sideaineen kovuus ottaa huomioon lisäsideaineen laatua valittaessa.

Sideainepitoisuuden tulee Asfalttinormien mukaisesti olla välillä 3,2...4,2 %. Alhaisempaa sideainepitoisuutta voi käyttää vain, jos ennakkokokein osoitetaan, että stabilointi tällöinkin täyttää kohteessa vaaditut toiminnalliset ominaisuudet kuormitus- ja säänkestävyyden osalta. Vedenkestävyyden parantamiseksi sideaineeseen lisätään tarvittaessa tartukkeeksi diamiinia. Myös bitumiemulsiossa oleva emulgaattori on diamiinia ja se toimii stabilointimassassa tartukkeen tapaan.

Stabiloinnissa käytettävän bitumiemulsion tulee olla hitaasti tai keskinopeasti murtuvaa. Murtuvuusindeksillä (PANK-4119) voidaan arvioida miten nopeasti käytettävä kiviaines murtaa tietyn emulsion. Murtuvuusindeksin tulee olla yli 80.

### 3.1.3 Massan koostumuksen suunnittelu

Ennakkosuunnittelun tavoitteena on arvioida tarvittavaa sideainepitoisuutta hienoainesominaisuuksien avulla. Koostumuksen suunnitteluun kuuluu aina:

- kiviaineksen rakeisuuden ja hienoainesominaisuuksien selvittäminen ja niiden vertaaminen ohjeellisiin raja-arvoihin
- optimivesipitoisuuden ja tavoiteteiveyden määrittäminen
- sideainepitoisuuden valinta.

Suhteitustavasta riippumatta kiviaineksen tiivistyksen kannalta optimaalinen vesipitoisuus ja tavoiteteiveys määritetään parannetulla Proctor-kokeella. Jos suhteituksen yhteydessä valmistetaan näytteitä, käytetään niiden vesipitoisuutena optimivesipitoisuutta ja tiiveysasteena 95 % parannetusta Proctor-tiiveydestä. Kun kiviaineksen maksimiraekoko ylittää 16 mm, näytekokona tulisi olla halkaisijaltaan 150 mm näyte. Tällöin laboratorionäytteiden maksimiraekokona on voitu käyttää 32 mm. Tätä suuremmat rakeet tulee poistaa ennen massojen valmistusta. ICT-laitteen yleistymisen myötä on näytteitä ryhdytty tiivistämään ennalta päätetyllä tiivistystyömäärällä (esim. tietyllä vakio-kierrösmäärä). Tämä tiivistystyömäärä tulisi valita siten, että se vastaa työmaan tiivistystapaa.



Stabilointiohjeessa on esitetty seuraavat menetelmät massan sideainepitoisuuden optimoimiseksi:

- kokemusperäinen suhteitus
- puolianalyttinen suhteitus
- kokeellinen suhteitus.

Bitumistabiloinnin ohjeellisen sideainepitoisuuden kokemusperäinen määrittäminen perustuu kiviaineksen hienoainepitoisuuden ja sideainetarpeen väliseen yhteyteen kaavan 3.1 mukaisesti.

$$SAP = 0,14 \times p_{63} + 2,6 \quad (3.1)$$

jossa

SAP sideainepitoisuus (massa-%)

$p_{63}$  kiviaineksen keskimääräinen 0,063 mm läpäisyarvo (massa-%).

Ohjeellinen sideainepitoisuus voidaan arvioida myös ns. puolianalyttisellä suhteituksella. Sitä varten määritetään laboratoriossa kiviaineksen rakeisuus ja hienoaineksen tyhjätila (KAT<0,063). Niistä lasketaan kaavan 3.2 avulla kiviaineksen tyhjätila KAT. Lopuksi lasketaan haluttua täyttöastetta vastaava sideainepitoisuus.

$$KAT = F [ f (P_n/P_{n-1}) ] * KAT_{n-1} \quad (3.2)$$

jossa

$KAT_n$  seulan n läpäisseen kiviaineksen tyhjätila

$KAT_{n-1}$  seulaa n edeltäneen seulan läpäisseen kiviaineksen tyhjätila

$P_n$  seulan n läpäisyprosentti

$P_{n-1}$  seulaa n edeltäneen seulan läpäisyprosentti

F tyhjätilan vähennyskerroin.

Kiviaineksen tyhjätilaan vaikuttavat rakeisuuskäyrä ja kiviainesrakeiden pinnan muoto. Kaavassa käytetään kokemusperäisesti määritettyjä kiviaineksen tyhjätilan vähennyskerroimia (F). Kerrointen arvot on määritelty kiviainesrakeiden muodon perusteella. Murskattu kiviaines luokitellaan tässä yhteydessä särmikkääksi ja sille on esitetty Stabilointiohjeessa vähennyskerrointen arvot peräkkäisten seulojen läpäisyprosenttien suhteen perusteella.

Suhteitus voidaan tehdä kokeellisesti määrittämällä tilavuussuhteet laboratoriossa valmistetuista ja tiivistetyistä näytteistä. Näytteistä määritetään tilavuussuhteet eri sideainepitoisuuksilla.

Stabilointimassat suhteitusta varten valmistetaan laboratoriossa asfalttisekoittimella käytännön sekoitustyötä vastaavasti. Jos tutkitaan vaahtobitumimassoja, sekoitin on varustettava vaahtoduslaittein. Sekoitussajan tulee olla 1-2 min hienoainemäärästä riippuen. Massoja on valmistettava niin paljon, että jokaista määritettävää ominaisuutta varten voidaan valmistaa neljä koekappaleita.

Koekappale valmistetaan joko kiertotiivistimellä (esim. ICT) tai tiivistysvasaralla (esim. Kango) vakiomenetelmin vertailtavuuden säilyttämiseksi. Tiivistys tehdään kiertotiivistimellä samalla tavalla kuin päällystemassoja suhteitettaessa. Tyhjätila määritetään koekappaleista ulkomittamenetelmällä PANK-4111.

Kokeellista suhteutusta on tarpeen käyttää lähinnä silloin, kun halkaisuvetoluusmäärityksillä ja silmämääräisesti halutaan selvittää massan epähomogeenisuutta ja mahdollisesti epähomogeenisen massan koossapysyvyyttä. Myös otettaessa käyttöön uusia materiaaleja, joiden ominaisuudet poikkeavat kohdassa 7.1 esitetyistä, on tehtävä kokeellinen suhteitus. Vaikka kokeellisesti määritetyllä sideainepitoisuudella laboratoriossa vaaditut toiminnalliset ominaisuudet täytyisivätkin, ei ohjesideainepitoisuus saa kuitenkaan olla kuin enintään 20 % pienempi kuin kaavalla 3.1 kokemuseräisesti määritetty sideainepitoisuus.

### 3.1.4 Suhteitusvaatimukset

Stabiloinnin lujuus, deformaatiokestävyys ja säänkestävyys lisääntyvät, kun sen tiiviys kasvaa (tyhjätila pienenee). Tehokkain tiivistyminen saavutetaan massan optimikosteudella (tai sekoitushetken optiminestepitoisuudella). Lujuutta voidaan kasvattaa lisäämällä sideainepitoisuutta, kunnes saavutetaan maksimilujuutta vastaava sideainepitoisuus. Heikoilla alustoilla stabilointi ei saa kuitenkaan olla liian lujaa (tai liian jäykkää).

Stabilointiohjeessa bitumistabiloinnin koossapysyvyyden takaamiseksi halkaisuvetolujuudelle on asetettu minimiarvoksi 80 kPa (7 vrk ikäisenä, +10 °C, kuivat näytteet). Lisäksi näytteistä arvioidaan silmämääräisesti peittoaste ja homogeenisuus.

Suhteituksen mukaisen massan vedenkestävyys varmistetaan vedenkestävyysoikeilla. Tarttuvuusluvun tulee olla > 40 % (PANK-4301, HVL märkä/kuiva).

Pitkäaikaiskestävyyttä voidaan selvittää altistamalla koekappaleet toistuville jäädytys-sulatussykleille. Menetelmä on kehitetty varsinaisesti kiviaineksen rapautumisalttiuden tutkimiseen (SFS-EN 1367-1).

Jäädytys-sulatuskokeessa koekappaleiden tyhjätila imeytetään aluksi täyteen alipaineen avulla. Nesteenä voidaan käyttää vettä tai esim. suolaliuosta, jonka rapauttava vaikutus on kymmenkertainen puhtaaseen veteen verrattuna. Näytteet altistetaan kymmenelle jäädytys-sulatus-syklille, jonka jokaisen kesto on 24 tuntia. Näytteet jäädytetään ilmassa, jonka lämpötila on -20°C ja sulatetaan veteen upotettuina +20 °C:ssa. Jäädytys-sulatus-sykliden jälkeen näytteistä määritetään halkaisuvetolujuudet, joita verrataan sykleille altistumattomien näytteiden lujuusarvoihin. Näin määritetyn säänkestoluvun tulee Stabilointiohjeen mukaan olla > 40 %.

Stabiloinnin keskeinen mitoitusparametri on jäykkäysmoduuli, joka useimmiten määritetään suhteituksen yhteydessä. Analyttisen mitoituksen perustana olevaa väsymissuoraa ei stabiloinneille voida yleensä määrittää tavanomaisin laboratoriomenetelmin.

### 3.2 Norjalainen suhteitusmenettely

Norjassa kylmien massojen suhteituksella tarkoitetaan massasuhteiden – rakeisuuden, vesipitoisuuden ja sideaineen määrän – valintaa siten, että niille asetetut kuormitus- ja sideaineen peittoastevaatimukset täyttyvät. Massan koostumusmäärittelyn lisäksi suhteituksessa arvioidaan massan pysyvyyttä, tartuntaa ja vaurioitumisriskiä.



Suhteitusmenettelyä on kehitetty mm. AUT-projektissa tehtyjen kokeilujen perusteella. Suhteitusmenettely on kuvattu käsikirjassa "Håndbok 198, Kalde bitumenstabiliserte bærelag". [10]

Suhteitukseen on käytettävissä kaksi vaihtoehtoista menetelmää; standardi- ja laajennettu suhteitus. Standardimenettelyssä muuttujana on vain sideainepitoisuus, laajennetussa myös vesipitoisuus. Laajennettua menettelyä käytetään erityisesti runsaasti hienoainesta sisältävillä kiviaineksilla. Näytteiden vanhennus- ja koemenettelyt ovat kummassakin menettelyssä samat.

### 3.2.1 Kiviainesvaatimukset

Norjalaisessa suhteitusmenettelyssä yhden massan suhteitukseen tarvitaan vähintään 200 kg kiviainesta, joka käytetään seuraavasti:

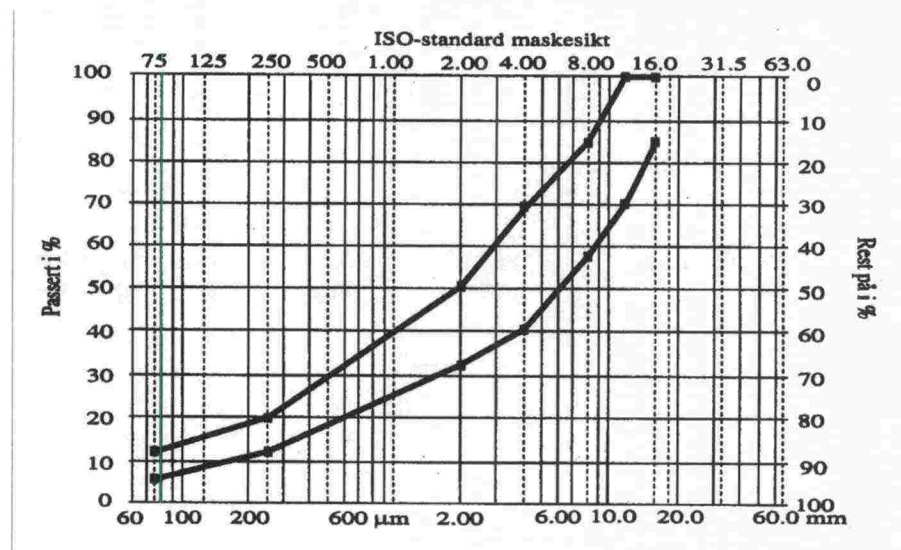
- kiviainesominaisuuksien määrittely 50 kg
- massareseptin (emulsioreseptin) valinta 50 kg
- suhteitusnäytteet 100 kg.

Kiviaineksen sopivuutta stabilointiin arvioidaan rakeisuuden, hienoainespitoisuuden, peitteisyyden, karkean materiaalin osuuden, kiviluokan, minerologian, humuspitoisuuden, mekaanisten ominaisuuksien (kuten kuulamyly- ja Los Angeles-arvon) ja reaktiivisuuden perusteella. Ohjeistus on pääosin suosituksia ja kuvauksia ominaisuuksien vaikutuksesta lopputuotteeseen, ei ehdottomia vaatimuksia.

Merkittävin vaatimus lienee rakeisuusohjealue, mutta sitäkin ei esitetä kaikille massatyypeille. Normeissa [9] on esitetty suositeltavat rakeisuusohjealueet vain vaahto- ja emulsiosoramassoille, taulukko 3.2. Hienoainespitoisuuden (<75 µm) suositusalue vaahtosoramassalle on 5-15 %, ja emulsiosoramassalle 1-7 %.

Taulukko 3.2 Vaahto- ja emulsiosoramassojen kiviainesten mekaaniset ominaisuusvaatimukset. [9]

Ominaisuus	KVL	
	< 1500	1500 - 5000
Kiviluokka	1 - 4	1 - 3
Liuskeisuus	< 1,60	< 1,50
Kuulamylyarvo	< 19	< 19
Los Angeles -arvo	< 35	< 35



Kuva 3.1 Vaahtosoramassan (Sg) rakeisuuden suositusalue. [9]

Stabilointimassat valmistetaan suurelta osin asemasekoitteisina. Tällöin voidaan käyttää kapeampia rakeisuuden ohjealueita ja saada myös massan tyhjätila suhteellisen pieneksi.

Kiviaineksen reaktiivisuus vaikuttaa bitumiemulsion murtumiseen, joten AUT-projektissa vertailtiin menetelmiä, joilla kiviaineksen tätä ominaisuutta voidaan mitata. Metyleenisinitesti osoittautui toimivan parhaiten. Sen avulla voidaan mm. mitata luotettavasti kiviaineksen reaktiivisuuden selkeää, hidasta huononemista murskauksen jälkeen.

### 3.2.2 Sideaineen valinta

Bitumiemulsio sisältää tyypillisesti 30 - 40 % vettä. Runsas kiviaineksen hienoainesmäärä saattaa aiheuttaa emulsiomassan murtumisongelmia, koska vesi sitoutuu hyvin juuri hienoainekseen. Myös massan aikaa myöten tapahtuva lujittuminen voi merkittävästi hidastua. Siksi bitumiemulsiota ei suositella käytettäväksi suurilla hienoainespitoisuuksilla.

Bitumiemulsiota ei myöskään suositella käytettäväksi, jos kiviaineksessa on jo paljon vettä tai säätä on rakennusvaiheessa kostea. Liian korkea vesipitoisuus heikentää massan tiivistettävyyttä ja lisää sideaineen erottumisriskiä.

### 3.2.3 Sideaineen pohjabitumin valinta

Massoissa käytettävä pohjabitumi on valittavissa melko vapaasti, taulukko 3.3. Samoin emulsioksi voidaan valita tapauskohtaisesti nopeasti, keskimääräisesti tai hitaasti murtuva. Vaahtobitumin vaahtoutumiselle on normeissa asetettu 15...20-kertainen laajentumisvaatimus. [9]

Taulukko 3.3 Sallitut sideainepohjat ja kiviainesvaatimukset massatyypeittäin. [9]

Materiaalityyppi	Sideainepohja	Kiviainesvaatimus
Vaahtosora (Sg)	B180...B370 MB6000, MB12000	Rakeisuusohjealue & mekaaniset omin.
Emulsiosora (Eg)	B180...B370 MB6000, MB12000	Rakeisuusohjealue & mekaaniset omin.
Emulsiomurske (Ep)	B180...B370 MB6000, MB12000	Mekaaniset omin.
Bitumistabiloitu sora (Bg)	B180...B370 MB6000, MB12000	Mekaaniset omin.
Uusioasfaltti (Gja)	B180...MB10000	-

Pohjabitumin valintaa varten on laadittu taulukon 3.4 mukainen ohjeistus. Useimpiin tapauksiin B370 soveltuu hyvin, mutta taulukossa esitettyjen tekijöiden vaikutuksesta tästä voidaan poiketa yhden tai useammankin kovuusasteen verran ylös tai alaspäin.

Taulukko 3.4 Pohjasideaineen kovuuden valintaperusteita

Tekijä		Pohjabitumi		
		Pehmeä	Keskikova	Kova
Kuormanjakokyky vaatimus	Korkea	-	-	+
	Alhainen	+	-	-
Epätasainen alusta	Paljon	+	-	-
	Vähän	+	+	+
Ilmasto	Kylmä	+	-	-
	Lämmin	-	+	+
Kuljetusmatka	Lyhyt	+	+	+
	Pitkä	+	-	-
Stabiliteetti	Alhainen	-	-	+
	Korkea	+	+	+
Hienoainemäärä	Korkea	+	+	-
	Alhainen	+	+	+
Alempien kerrosten kantavuus	Huono	+	-	-
	Hyvä	+	+	+
Kulutuserros, suojaava ominaisuus	Huono	-	+	+
	Hyvä	+	+	+
Liikennemäärä	Runsas	-	+	+
	Vähäinen	+	+	-
Välivarastointitarve	Pitkäaikainen	+	-	-
	Lyhytaikainen	+	+	+



### 3.2.4 Vesipitoisuus

Ohjeistuksen mukaan vesipitoisuudella on suuri vaikutus vaahto- ja emulsiosoramassan ominaisuuksiin. Kokeellisessa suhteituksessa voidaan optimaalisella vesipitoisuuden valinnalla saavuttaa:

- hyvä sideaineen peittoaste
- massan optimaalinen tiivistettävyyys
- massakerroksen optimaalinen kuormanjakokyky (jäykkyys)
- vähäinen bitumin erottuminen (avrenning).

Koenäytteet sekoitetaan hieman toisistaan poikkeavilla vesimäärillä, niin että tuloksia vertaamalla voidaan valita parhaiten toimiva massakoostumus. Kun massan kosteus on ollut lähellä parannetulla Proctor -testillä etsittyä optimaalisen vesipitoisuutta, on hyvän tiivistymisen lisäksi emulsion todettu murtuvan sopivasti ja olevan hyvin työstettävää.

Ohjeena voidaan pitää, että vertailtavien massanäytteiden kosteuspuitepuite tulisi sideainelisäyksen jälkeen olla seuraavalla välillä:

$$W_{opt} \dots (W_{opt} - 0.5 * SAP) \quad (3.3)$$

missä

$W_{opt}$  = kiviaineksen optimivesipitoisuus (parannettu Proctor).

SAP = sideainepitoisuus (jäävä-%).

### 3.2.5 Sideainepitoisuus

Kylmien massojen bitumipitoisuuden valintaan vaikuttavat seuraavat vaatimukset

- kuormanjakokyky / kaikilla massatyypeillä
- sideaineen peittoastevaatimus / emulsiosora, emulsiomurske
- sideainepitoisuuden minimivaatimus / vaahtosora, emulsiosora, bitumistabiloitu sora.

Kuormanjakokyvyllä (lastfordelningskoeffisienten) tarkoitetaan tietyllä testausmenettelyllä massalle saatua kerrointa. Käytännössä kerroin tarkoittaa Norjan mitoitustestausmenettelyssä massan suhteellista kuormanjako-ominaisuutta rakenteessa, siis kerrosrakenteen vastaavuuskerrointa referenssimateriaaliin (jakavan sora) nähden. Massojen kuormanjakokykyvaatimukset on esitetty taulukossa 3.5.

Sideaineen peittoastevaatimus emulsiosoralle ja emulsiomurskeelle on käytetystä sideainepitoisuudesta riippuen vähintään 50 - 70 %. Vaahtosoralle ja bitumistabiloidulle soralle ei ole peittoastevaatimusta.

Sideaineen vähimmäispitoisuus kaikille kantavan kerroksen massoille (vaahtosora, emulsiosora, bitumistabiloitu sora) on 3 %. Sideainetarpeeseen vaikuttaa eniten kiviaineksen hienoainepitoisuus. Massan hienoainepitoisuudesta voidaan laskea ohjeellinen bitumipitoisuus kokemukseräisellä kaavalla 3.4:

$$\text{Sideainepitoisuus} = 0.14 * P_{75} + 2.6 \quad (3.4)$$

missä  $P_{75}$  = kiviaineksen läpäisyprosentti 0,075 mm seulalla

Taulukko 3.5 Vaatimukset kuormanjakokykykertoimelle mitoitusasteella 1

Materiaalityyppi	Sideainepohja	Kuormanjakokerroin (Lastfordelningskoeffisienten)
Vaahtosora (Sg)	Kaikki	2,0 <sup>1</sup>
Emulsiosora (Eg)		1,75 <sup>2</sup>
		1,5 <sup>3</sup>
Bitumistabiloitu sora (Bg)	Kaikki	1,75 <sup>1</sup>
		1,5 <sup>2</sup>
		1,25 <sup>3</sup>
Emulsiomurske (Ep)	Penetraatiobit. V > 6000 V < 6000	1,75 1,5 1,25
Uusioasfaltti (Gja)	-	1,5

1) Halkaisuvetolujuus (Indirekte strekkstyrke) > 145 kPa tai E-moduuli > 860 MPa (25°C)

2) Halkaisuvetolujuus > 100 kPa tai E- moduuli > 580 MPa (25°C)

3) Halkaisuvetolujuus > 60 kPa tai E- moduuli > 360 MPa (25°C)

### 3.2.6 Massanäytteiden valmistus

Suhteitusnäytteiden valmistus on ohjeistettu halkaisijaltaan 100 mm näytteille. Myös 150 mm muotteja on testattu, mutta kokemukset niistä olivat vähäisiä (1997). Tavoitteellinen näytekorkeus on 50 - 60 mm staattisesti puristettaessa ja 100 mm kiertotiivistintä käytettäessä. Yli 22,4 mm kivet seulotaan pois ja niiden paino rekisteröidään. Massa sekoitetaan käsityönä tai laboratoriosekoittimella. Sekoitusaika on 1-2 min.

Massat tiivistetään joko staattisella puristimella tai kiertotiivistimellä. Staattinen puristusprosessi on seuraava:

- kuormitus nostetaan 2 minuutissa maksimikuormaan (8 t)
- tämän kuorman annetaan vaikuttaa 2 min ajan
- kuorma poistetaan ja näyte otetaan muotista heti kuorman poiston jälkeen.

Kiertotiivistyksessä tulee noudattaa lämpimille massoille tehtyä EN-standardia. Sen mukaiset asetukset ovat:

- 1° kulma
- 600 kPa paine
- 30 kierrosta/min.

Kierroslukumäärälle ei ole ohjearvoa. AUT-projektin suositusmenettely on seuraava (perustuu bitumiemulsionäytteisiin):

- tiivistetään ensin 3 näytettä 200 kierroksella
- varsinaiset näytteet tiivistetään 3 esinäytteen 96 %:n tiivyyttä vastaavalla kierrosmäärällä.

### 3.2.7 Näytesäilytys

Norjalaisessa suhteitusmenettelyssä näytteet vanhennetaan ja altistetaan jäädytys-sulatus sykleihin aina samalla vakioidulla menettelytavalla.

Näytteet vanhennetaan heti valmistuksen jälkeen. Mikäli näytteitä joudutaan säilyttämään väliaikaisesti ennen vanhennusta, noudatetaan taulukon 3.6 ohjeistusta. Maksimi välivarastointiaika ennen vanhennusta on 14 vuorokautta.

Taulukko 3.6. Näytteiden välivarastointiolosuhteet ennen vanhennusta.

Välisäilytyksen pituus	Maksimilämpötila	Säilytys muovipusseissa
alle 3 h	Huonelämpötila	Ei tarpeen
3-12 h	Huonelämpötila	Kyllä
12 h - 14 d	Jääkaappilämpötila	Kyllä

Vanhennusmenettely on seuraava:

- Näytteet asetetaan 7 vuorokaudeksi lämpökaappiin +40 °C:een (vaihtoehtoisesti tilaajan suostumuksella 3 d / 60 °C)
- Näytteiden tilavuus määritetään ulkomittamenettelyllä
- Näytteet punnitaan
- Näytteet altistetaan 8 jäädytys-sulatussyklille (4 sykliä vuorokaudessa 2 vuorokauden ajan)
- 5 tunnin jäädytys, jonka jälkeen näytteen keskiosa on -5...-10 °C
- 1 tunnin sulatus juoksevassa kylmässä vedessä.

Jäädytys-sulatus koestusta varten on käytettävissä oma erikoiskaappinsa, jonka jäädytyslämpötila on -15...-25 °C ja joka mahdollistaa nopean sulatukseen jäädytys syklien välissä. Kaappiin voidaan asettaa samanaikaisesti 15 - 20 näytettä. Kaappi ajaa automaattisesti 4 jäädytys-sulatussykliä vuorokaudessa. Viimeisen altistus syklin jälkeen näytteet asetetaan vesikylpyyn testauksen vaatimaa temperointia varten. Temperoinnissa noudatetaan välivarastoinnista annettuja ohjeita.

### 3.2.8 Epäsuora halkaisuvetolujuuskoe

Näytteet temperoidaan 25 °C vedessä 30 - 40 min. Halkaisuvetolujuuskoe on tehtävä 3 min kuluessa temperointivedestä poistamisen jälkeen. Kuormituskokeen maksimivoima rekisteröidään. Kokeen jälkeen näytteen koko massa otetaan talteen ja kuivataan. Tulosten perusteella siitä määritetään vesipitoisuus ja kuivatiheys.

Halkaisuvetolujuus  $S_t$  lasketaan kaavasta 3.5:

$$S_t = (636,62 * P_{max}) / (\text{korkeus} / \text{halkaisija}) \quad (3.5)$$

missä

$S_t$	=	halkaisuvetolujuus (kPa)
$P_{max}$	=	maksimivoima (N)
korkeus	=	näytteen korkeus (mm)
halkaisija	=	näytteen halkaisija (mm)



Bitumisille massoille kuormanjakokerroin (lastfordelingskoeffisient) lasketaan halkaisuvetolujuudesta kaavalla

$$a = 0,38 * (S_t)^{1/3} \quad (3.6)$$

missä

a = kuormanjakokerroin  
S<sub>t</sub> = halkaisuvetolujuus (kPa)

Kuormanjakokertoimelle on asetettu massatyypeittäin vaatimustasot mitoitusluokassa 1 (dimensioneringsnivå 1) on esitetty taulukossa 3.5. Mitoitusluokassa 2 voidaan käyttää suhteitusmenettelyssä määriteltäviä kertoimia, kuitenkin korkeintaan 0,75 vastaavista mitoitusluokan 1 arvoista.

Lopulliset massasuhteet (massaresepti) valitaan siten, että minimi sideainepitoisuus- ja kuormanjakokerrointavoitteet täyttyvät. Valitulle massakoostumukselle määritettyä kuormanjakokerrointa käytetään sellaisenaan rakenteen kerrospaksuuksia mitoitettaessa.

### 3.3 Ruotsalainen suhteitusmenettely

Ruotsissa ei näyttäisi olevan erityisesti stabilointien suhteitusta varten omaa tutkimusohjeistusta. Seuraava selvitys perustuu lähteeseen [8]. Paikallasekoitusta käsittelevissä suhteitusohjeissa [7] viitataan samoihin tutkimusmenetelmiin.

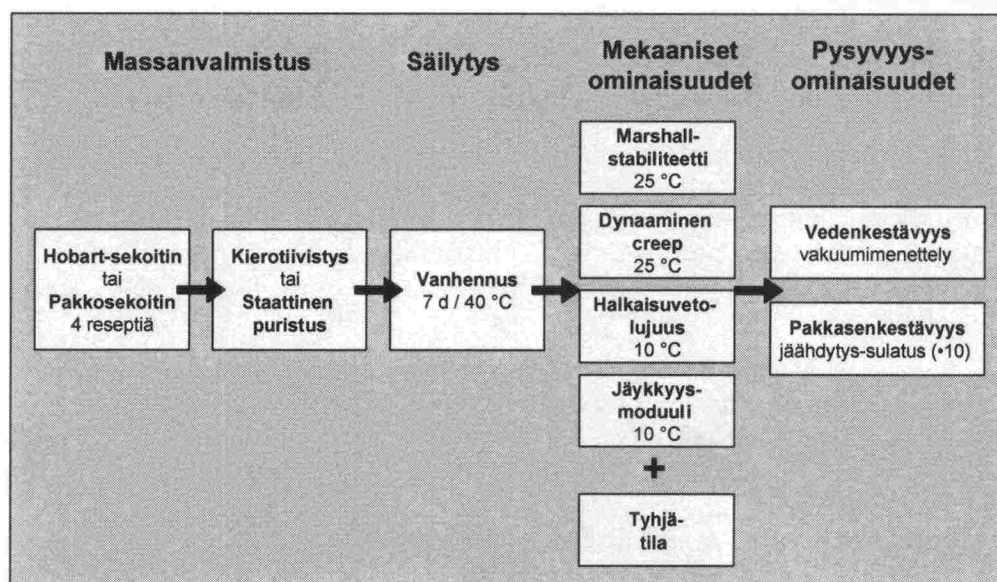
Suhteituksella (ennakkokoestuksella) pyritään löytämään tarkasteltavaan kohteeseen optimaalinen toimenpide, sideainetyyppi ja massaresepti. Tutkimukseen sisältyy materiaalin näytteenotto ja laboratoriokoestukset, joihin soveltuvasti kuuluvat:

- Vanhan materiaalin tutkimus
- sideainepitoisuus ja rakeisuus
- vesipitoisuus
- kiviainestyyppi ja raemuoto
- sideaineen tunkeuma, pehmenemispiste ja viskositeetti
- tiivistyvyyskäyrä (packningskurva)
- Suhteitusnäytteet (reseptin selvitys)
- näytevalmistus
- tyhjätila
- mekaaniset ominaisuudet
- vedenkestävyys
- pakkasenkesto
- Tuote- ja laadunvalvonta
- massanäytteiden sideainepitoisuus ja rakeisuus
- materiaalin vesipitoisuus
- massanäytteiden valmistus
- mekaanisten ominaisuuksien seuranta
- vedenkestävyyden seuranta

Sideainemäärää arvioitaessa otetaan huomioon vanhan massan sideainepitoisuus. Rakeisuuskäyrän perusteella arvioidaan uuden kiviaineksen tai sementin lisästarve. Yleisohje on, että vanha materiaali on stabilointiin kelpaamatonta ilman rakeisuuskorjausta, jos hienoaainesta on yli 20 % tai käyrässä on selkeä hiekkapatti.

Suhteituksessa määritettävillä massasuhteilla tulisi aikaansaada paras mahdollinen massan tiivistettävyys, mikä edellyttää että materiaalin nestemäärän (emulsio + lisävesi) tulisi olla lähellä optimikosteutta. Optimaalinen tiivistettävyys voidaan selvittää sullonta- (tung instamping) tai Marshall -kokeen perusteella.

Suhteitusmenettelyssä kiviaineksesta poistetaan yli 22 mm kivet. Normaalisti valmistetaan 3-4 erilaista vanhan materiaalin, sideaineen, mahdollisen murskelisän ja veden seosta. Kustakin seoksesta tehdään rinnakkaisnäytteet. Massasuhteet valitaan testausprosessissa parhaimmaksi osoittautuneen seoksen mukaisesti. Arvioinnissa on kuitenkin otettava huomioon, että runsaasti sideainetta sisältävillä massoilla deformatiivisuus saattaa olla ongelma (kriittiset stabiilitetit) kun taas alhaisilla sideainepitoisuuksilla pitkäaikaiskestävyys saattaa vaarantua.



Kuva 3.2 Stabilointimassojen suhteituskoemenettely Ruotsissa.

Kuivatut asfalttirouherakeet ja kuivattu kiviaines syötetään sekoittimeen. Sekoitin käynnistetään ja vesi kaadetaan kiviainekseen 30 sekunnin aikana. Massaan lisätään sideaine ja sekoitetaan Hobart-sekoittimella (2 min) tai pakkosekoittimella (1 min). Tarvittaessa lisätään tartuke. Emulsiomassaa säilytetään sekoituksen jälkeen muutama tunti suljetussa tilassa ennen kuin siitä valmistetaan näytteet.

Kylmäsekoitteiset näytteet pyritään tiivistämään siten, että massan tyhjätila vastaisi tiellä esiintyviä arvoja oltuaan muutaman vuoden ajan liikennekuormituksen alaisina. Stabilointimassanäytteet tiivistetään joko kiertotiivistimellä tai staattisella puristimella (Marshall-tiivistystä ei suositella kylmille massoille). Tiivistys tehdään huoneenlämpötilassa olevalle massalle.

Kylmäsekoitteisten massojen perinteisin tiivistystapa Ruotsissa on ollut staattinen puristus. Menetelmäohjeen mukaisesti 1100 -1200 g massaa asetetaan 100 mm Marshall-sylinteriin. Metallisauvalla pistellään massaa 20 kertaa keskeltä ja 20 kertaa sivuilta. Massan puristusvoimaa nostetaan 1,3 mm/min vakiosiirtymänopeudella maksimikuormaan 5,6 ton (7,0 MPa), jossa se saa vaikuttaa vielä 60 sekuntia.



Viime vuosina kiertotiivistyksestä on tullut Ruotsin yleisin laboratorionäytteiden valmistusmenetelmä. Ruotsalaisten – erityisesti kuumilla massoilla saatujen – kokemusten mukaan kiertotiivistimellä saadaan helposti tiiviimpiä maseja kuin käytännössä. Kiertotiivistimen asetussuositukset halkaisijaltaan 100 mm muottia käytettäessä ovat:

- 600 kPa paine
- korkeintaan 200 kierrosta (30 kierrosta/min)
- 1° kulma
- 100 mm näytekorkeus
- massamäärä 1100-1200 g.

Uusille materiaaleille parhaana pidettiin staattista puristusta, kun taas uusiopäällysteillä parhaat tulokset saavutettiin kiertotiivistimellä. Kokemusten perusteella stabilointimassoilla Marshall johtaa liian pieniin ja California Kneading Compactor liian suuriin tyhjätiloihin.

Molemmissa menetelmissä tiivistämisen jälkeen näytteet pidetään noin tunnin muoteissa ennen kuin ne otetaan ulos ja asetetaan tasaiselle alustalle.

Mekaanisia testauksia varten näytteitä vanhennetaan lämpökaapissa 7 vuorokautta  $40 \pm 1$  °C tasaisella alustalla. Vaihtoehtoisessa nopeutetussa menetelyssä vanhennusaika on 4 vuorokautta  $60 \pm 1$  °C. Vanhennuksen jälkeen mitataan näytteiden paino ja niistä määritetään kiintotiheys ulkomittamenetelmällä (FAS Metod 448). Vanhennuksen jälkeen näytteitä säilytetään huonelämpötilässä.

Laboratoriossa valmistetuilla suhteitusnäytteillä voidaan selvittää mm. seuraavia massan ominaisuuksia (riippuen massatyypistä):

- halkaisuvetolujuus +10 °C (FAS Metod 449)
- jäykkyysmoduuli +10 °C (FAS Metod 454)
- Marshall-lujuus +25 °C (FAS 414, ASTM D1559-76)
- vedenkestävyys - tarttuvuusluku (VVMB 701, FAS 446)
- jäädytys-sulatuskestävyys ja pakkasenkestävyys
- peittoaste.

Mekaanisten testausten lisäksi näytteistä tulisi selvittää myös massan tyhjätila (FAS 413) ja sideaineen tarttuvuus yksittäisiin rakeisiin (FAS 455).

Taulukko 3.7 ATB VÄG 2004 - vaatimukset kylmille uudelleenkäyttömassoille

Ominaisuus	Vaatimus
Tyhjätila, til-%	6 - 14
Marshall-lujuus (25 °C), kN	> 7
Jäykkyysmoduuli (10 °C), MPa	> 2000
HVL-lujuus, (10 °C, 7 d kuiva), kPa	-
Tarttuvuusluku (3 näytteen ka.)	> 50



Erilaisten massasuhteiden keskinäisistä tuloksista tulisi päätellä massan mahdollinen herkkyys esimerkiksi sideainepitoisuuden ja murskemäärän suhteen. Näin voidaan selvittää, kuinka tarkasti massareseptiin sisältyvät massan korjaustoimet (esim. lisäainemäärät) stabilointityössä tulisi toteuttaa.

Kylmien uudelleenkäyttömassojen suhteituskriteeriksi ei ole asetettu sideainepitoisuutta. Tosin rakennusvaiheen seurantaäynteille (kvalitetskontroll) ohjealue on käytössä (3,4 - 5,5 paino-%). Sen sijaan suhteitusta varten on annettu suositeltavat lisäbitumipitoisuudet, jotka ovat:

Puolilämpimille REST-stabilointimassoille (halvvarm remixing)

- kantava kerros 0,4 - 1,0 paino-% (jäävä lisäbitumi)

Bitumistabilointi (kylmäsekoitus, kantava kerros)

- bitumiemulsio 1,5 - 4,0 paino-% (jäävä lisäbitumi)
- vaahtobitumilla 1,0 - 2,5 paino-%.

## 4 KOEMENETELMIIN LIITTYVIÄ TUTKIMUSTULOKSIA

### 4.1 Norja

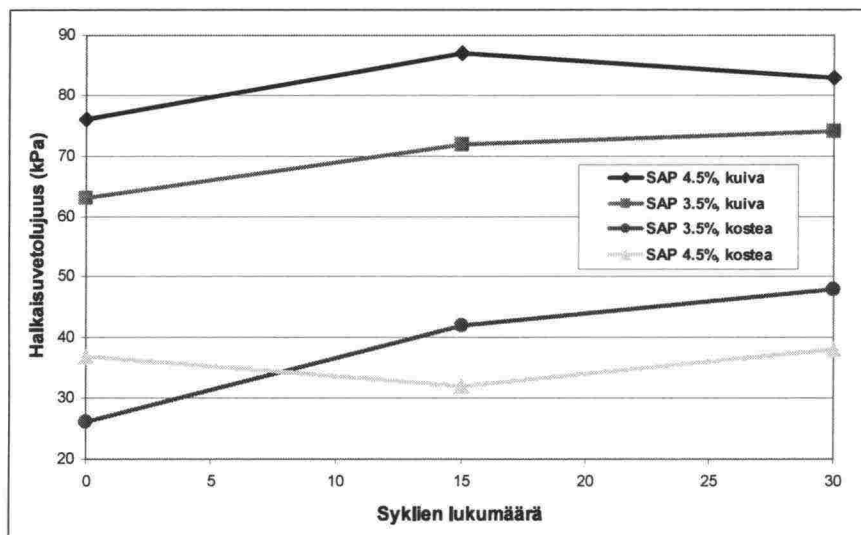
Norjan Telemark projektissa on raportoitu myös muutamia testausmenetelmä- ja laitekokeiluja, joiden perusteella menetelmiä on kehitetty käytössä olevaan muotoon. Osa kokeiluista ei liity käytössä oleviin menetelmiin. Seuraavassa on selvitys muutamasta kokeilusta. [13]

#### 4.1.1 Koenäytteiden vanhennustestit

Vanhennustapaa valittaessa verrattiin kuivan ja kostean säilytystavan sekä jäädytys-sulatussyklien lukumäärän vaikutusta massojen halkaisuvetolujuuteen. Testisarja tehtiin 3,5 % ja 4,5 % sideainepitoisuuksilla.

Säilytystavat olivat:

- kuiva: 7 vuorokautta kuivana +40 °C:ssa
- kostea: 7 vuorokautta +40 °C:ssa kosteana muovipusseissa (alussa veden alipaineistettu imeytys ja sitten 3 vuorokauden vesikylpysäilytys)



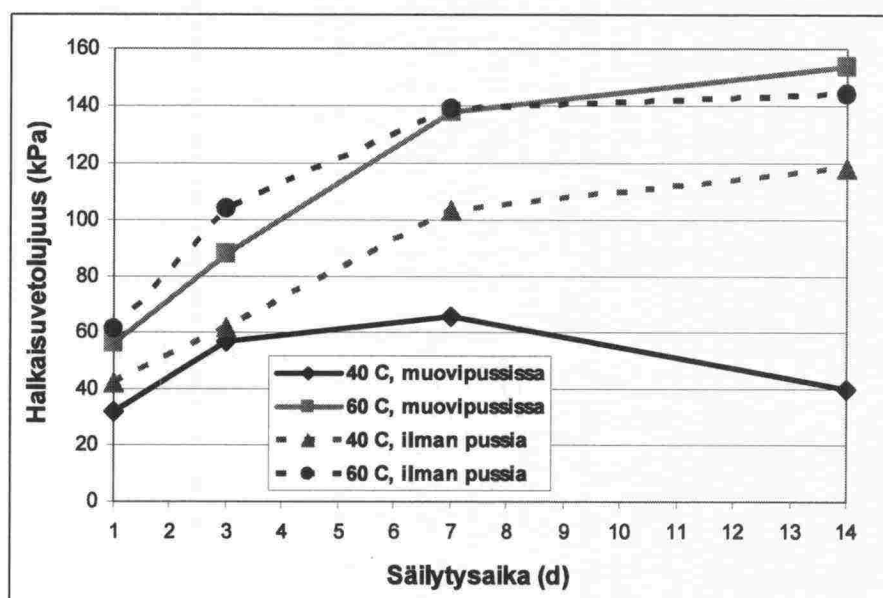
Kuva 4.1 Kuiva/kostea säilytystapa ja jäädytys-sulatussykli vertailut.

Kuivassa vanhennetuilla näytteillä saatiin noin kaksinkertaiset halkaisuvetolujuudet kosteaan säilytykseen nähden molemmilla sideainepitoisuuksilla. Sykliin lukumäärällä oli niin pieni vaikutus halkaisuvetolujuuteen, että kokeilujen tuloksena standardivanhennuksessa päädyttiin 8 jäädytys-sulatussykliin.

Kuivavanhennetuilla näytteillä suuri sideainepitoisuus tuottaa myös suuremmat lujuudet, mutta kosteassa säilytetyillä sideaineen vaikutus ei ole yksiselitteinen. Kun kosteassa vanhennettujen näytteiden lujuudet ovat pienempiä kuin tieltä porattujen näytteiden lujuudet, päädyttiin norjalaisessa vanhennusmenettelyssä kuivamenettelyyn.

AUT-projektissa selvitettiin myös vanhennuslämpötilan, vanhennusajan ja muovipussisäilytyksen vaikutusta näytekapaleiden lujuuteen. Kuvasta 4.2 käy ilmi, seuraavat tulokset:

- näytteen säilytysaika vaikuttaa selvästi lujuuteen, varsinkin ilman muovipussia
- lujuus kasvaa selvästi aina 7 vuorokautteen asti, sen jälkeen ajan vaikutus on vähäisempää
- 40 °C vanhennus muovipussissa johtaa liian alhaiseen lujuuteen
- 60 °C:ssa muovipussissa ja ilman pussia säilytyksissä ei ole eroja.



Kuva 4.2 Vanhennustavan vaikutus

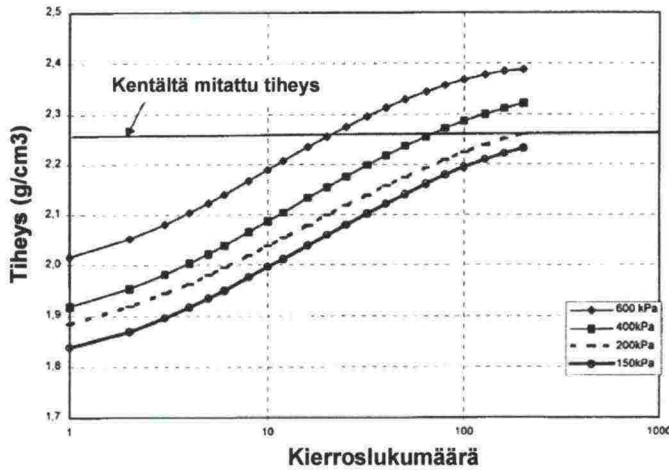
Tulosten perusteella Norjan standardivanhennusmenettelyssä on päädytty siihen, että näytteitä säilytetään 7 vuorokautta 40 °C lämpötilassa.

#### 4.1.2 Kiertotiivistimen testaukset

AUT -projektissa tutkittiin runsaasti kiertotiivistimen (ICT-laite, 100 mm muotti) käyttöä vähäbitumisten massojen tiivistämisessä. Tärkeimpänä tavoitteena oli kehittää menetelmä, jolla saataisiin laboratorionäytteille sama tiiviyys kuin on havaittu kenttänäytteillä.

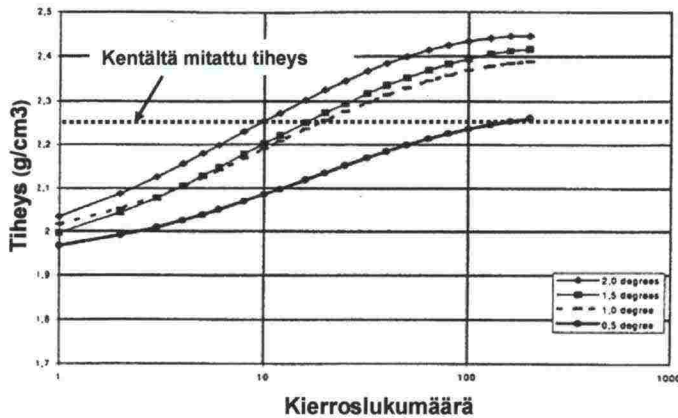
Kuvassa 4.3 on esitetty tiivistystulokset erilaisilla työpaineilla. Kuvaan on merkitty myös vastaavan massan mitattu kenttätiiviyys. Vertailu osoittaa, että kiertotiivistimen 400...600 kPa työpaineella päästään järkevimmin kentältä havaittuun tiivyyteen.





Kuva 4.3 Työpaineen vaikutus

Kuvassa 4.4 on esitetty tulokset kokeista, joissa vaihdeltiin kiertokulman asetusta. Kulma-asetus  $2^\circ$  tuottaa selkeästi liian suuria (tai nopeasti syntyviä) tiiviyksiä. Puolen asteen kulma on taas useimmiten liian alhainen. Kun kulma oli  $1^\circ$  tai  $1,5^\circ$ , työmaatiivistystä vastaava näytteen tiivys saavutettiin käytännön sopivilla kierroslukumäärillä.



Kuva 4.4 Kiertokulman vaikutus

Testien perusteella Norjan standarditiivistysmenettelyssä päädyttiin CEN-asetuksia (kuumamassat) vastaaviin arvoihin:

- $1^\circ$  kulma
- 600 kPa kuorma
- 30 kierrosta/min.

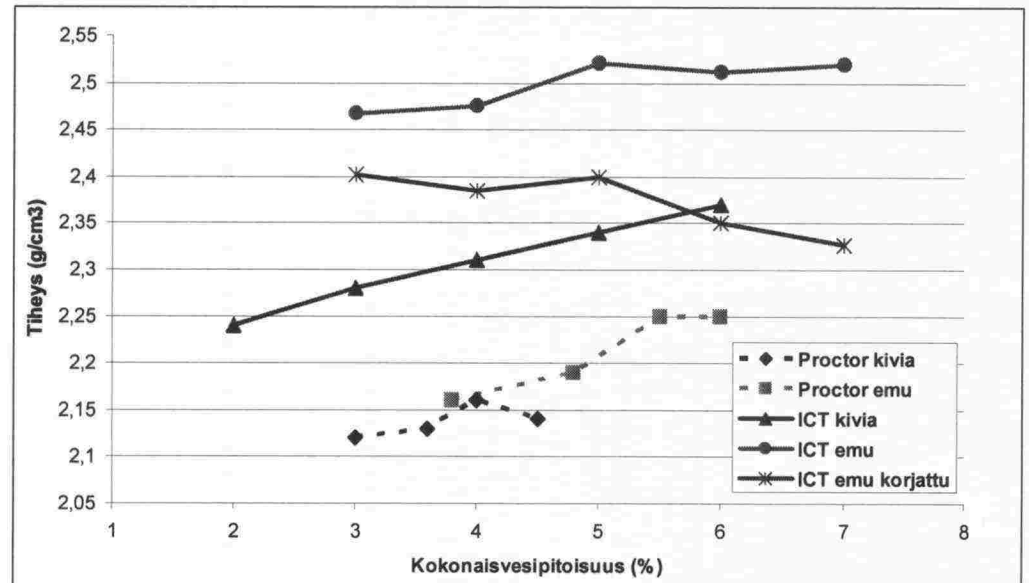
AUT projektissa verrattiin massan tiivistämistä parannetulla Proctorilla ja kiertotiivistimellä. Kokeet tehtiin tiivistämällä pelkkää kiviainesta ja emulsiomassaa (jossa 5,2 % bitumia) eri vesipitoisuuksilla. Näytteet olivat halkaisijaltaan 100 mm. Kiertotiivistyksessä käytettiin CEN-asetuksia. Kiertotiivistyksen välitulokset ja havainnot emulsiomassalle on esitetty taulukossa 5.1.

Taulukko 4.1 Massan tiivistyminen kiertotiivistimellä

Vesipit. (%)	Tih. N <sub>10</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Tih. N <sub>100</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Tih. N <sub>200</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Painohäviö (g)	Havainnot
1	2,210	2,422	2,468 (2,403)*	39	Emulsio murtui alussa, väh. erottumista
2	2,202	2,428	2,476 (2,385)*	56	Osittain murtumista, erottumista
3	2,240	2,468	2,521 (2,400)*	74	Ei emulsion murtumista alussa, erottumista
4	2,231	2,451	2,511 (2,351)*	98	Ei emulsion murtumista, erottumista
5	2,253	2,468	2,520 (2,326)*	119	Ei emulsion murtumista, runsasta erottumista

\* tiheydet suluisissa korjattu painohäviöllä

Proctorilla kiviainekselle saatiin maksimi kuivatiheys 2,25 g/cm<sup>3</sup> vesipitoisuudella 5,5 % ja emulsiomassalle 2,16 g/cm<sup>3</sup> vesipitoisuudella 4,2 %.



Kuva 4.5 Kiertotiivistimen (märkäirtiheys) ja Parannetun Proctor-kokeen (kuivairtiheys) vertailutuloksia.

Kiertotiivistintä käytettäessä suurilla kierrosmäärillä massasta erottuu vettä ja hienoainesta erityisesti runsailla vesi/nestepitoisuuksilla. Näin syntynyt massan painohäviö aiheuttaa vääristymää tuloksiin. Kuvassa 4.5 emulsiomassan tiheydet on esitetty suoraan ICT:n raportoimana ja korjattuna mitatulla painohäviöllä. Painohäviöön sisältyneen veden määrää ei ole huomioitu X-akselin vesipitoisuuteen, joten pisteet siirtyisivät todellisuudessa jonkin verran vasemmalle.

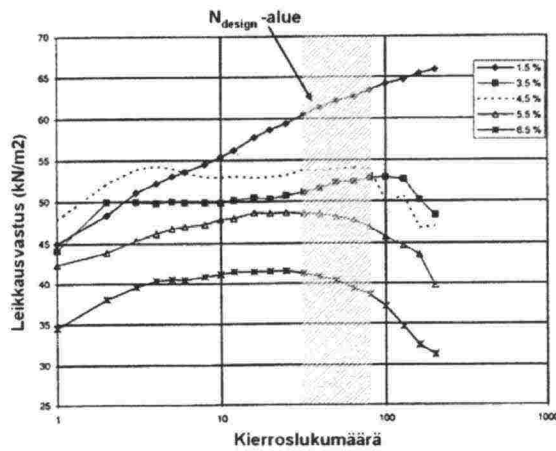
AUT-projektissa tehtyjen tiivistystestausten perusteella suositellaan seuraavanlaisia vastaavuuksia käytännön tiivistymiseen:

- N<sub>ini</sub> kierroslukumäärä tuottaa levittimen jälkeen havaitun tiiviuden (7 - 11 kierrosta)
- N<sub>design</sub> lukumäärä vastaisi tiivistämisen jälkeen kentältä saatavaa tiiviyttä
- N<sub>max</sub> lukumäärä tuottaisi massan teoreettisen maksimitiiviuden (200 kierrosta).

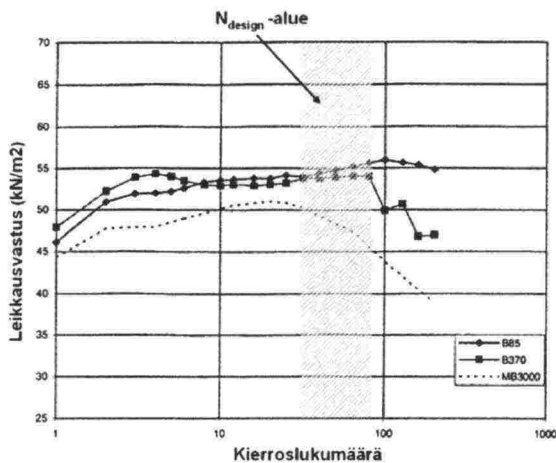
- $N_{design}$  määritetään seuraavalla menettelytavalla:
- tiivistetään ensin 3 esinäytettä 200 kierroksella
- varsinaiset näytteet tiivistetään esinäytteillä saadusta maksimitiiviydestä 96 %:n tiiviyttä vastaavalla kierrosmäärällä.

#### 4.1.3 Massan deformaatioherkkyyden arviointi

Kiertotiivistimellä yritettiin arvioida myös kylmämassan työstettävyyttä, tiivistettävyyttä ja deformaatioherkkyyttä (stabilitet). Erityisesti deformaatioherkkyyden arviointi ICT-laitteen tulostaman leikkausmoduulin perusteella vaikuttaa lupaavalta, kuvat 4.6 ja 4.7.



Kuva 4.6 ICT-laitteen tulostama leikkausmoduuli erilaisille bitumipitoisuuksille.



Kuva 4.7 ICT-laitteen tulostama leikkausmoduuli massoilla, joiden pohjabitumin kovuus vaihtelee.

Deformaatioherkkyyttä arvioidaan massan tiivistymisprosessin tuloksista piirretyn leikkausmoduulikuvajaan käyttäytymisestä siten, että

- massa on stabiili, jos kuvaaja kasvaa vielä  $N_{design}$  kierrosmäärällä (leikkausmoduuli kasvaa tiivistyksen kasvaessa)
- massa on herkkää, jos kuvaaja kääntyy alas jo  $N_{design}$  vaiheessa (leikkausmoduuli pienenee tiivistymisen kasvaessa)



## 4.2 Ruotsi

Ruotsissa tehtiin 1990-luvun loppupuolella runsaasti tiekokeita ja laboratorio-  
 tutkimuksia kylmänä ja puolilämpimänä uudelleenkäytettävillä massoilla. VTI  
 kokosi tutkimustulokset yhteen ja raportoi ne julkaisussaan VTI notat 1-2001.  
 Tutkimuksissa oli mukana paljon samanlaisia kokeiluja kuin edellä kuvatussa  
 Norjan AUT-projektissa. Tutkimuksissa käytetyt massat olivat pääasiassa uu-  
 siomassoja, joten niihin sisältyi paljon pelkästään vanhan asfaltin (asfalt gra-  
 nulat) ominaisuuksien ja käyttäytymisen selvityksiä. Ohessa muutamia mie-  
 lenkiintoisia poimintoja ruotsalaisista tutkimuksista, jotka sisältyvät tämän sel-  
 vityksen aihepiiriin. [7]

### 4.2.1 Kiertotiivistimellä valmistettu massa

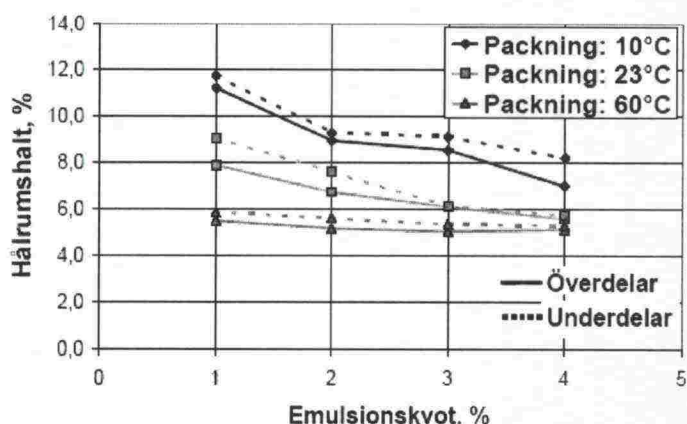
Tutkimuksissa selvitettiin seuraavien tiivistyslaitteiden käyttöä kylmämassojen  
 kanssa:

- staattinen puristin
- California Kneading Compactor
- kiertotiivistin. [7]

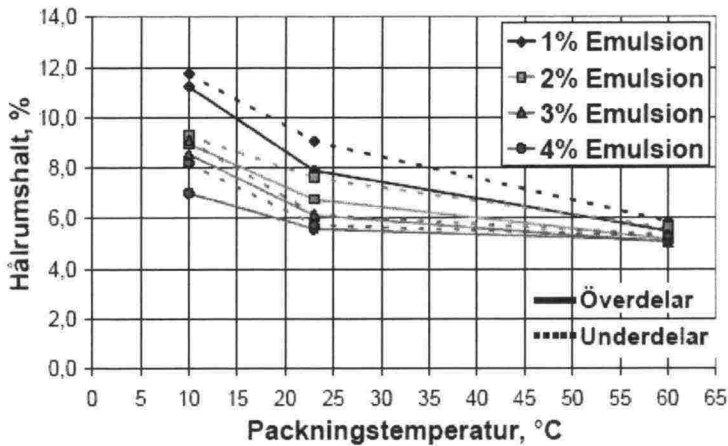
Kiertotiivistimen todetaan olevan nykyisin Ruotsin yleisin koenäytteiden teko-  
 menetelmä laboratoriossa. Laitteella ei ole kuitenkaan vielä täysin vakiintunut-  
 ta menettelytapaa kylmille massoille. Yleishavaintona todettiin menetelmän  
 tuottavan useimmissa tapauksissa parempia massoja (pienempiä tyhjätiloja)  
 kuin poranäytteet tieltä.

Testeissä kiertotiivistimessä käytettiin CEN-asetuksia. Tutkimustuloksia on  
 esitetty seuraavissa kuvissa. Näytteet tiivistettiin aina 200 kierroksella.

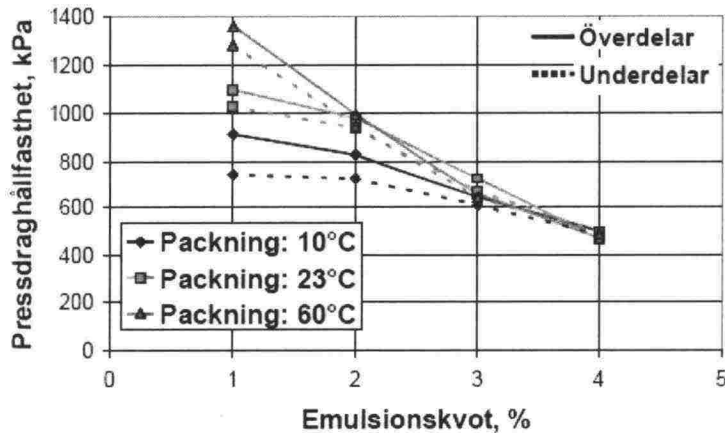
Tavanomaisesta käytännöstä poiketen seuraavissa useissa seuraavissa ku-  
 vissa on muuttujana emulsiopitoisuus eikä jäävän bitumin pitoisuus kuten  
 yleensä.



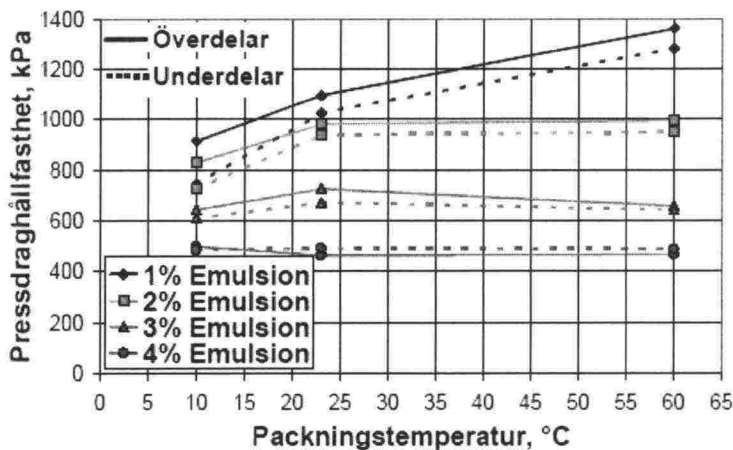
Kuva 4.8 Tiivistyslämpötilan ja emulsiolisäyksen vaikutus tyhjätilaan.



Kuva 4.9 Tiivistyslämpötilan ja emulsiolisäyksen vaikutus tyhjätilaan.



Kuva 4.10 Emulsiolisäyksen vaikutus halkaisuvetolujuuteen.



Kuva 4.11 Tiivistyslämpötilan vaikutus halkaisuvetolujuuteen.

Tuloksista on pääteltävissä seuraavat asiat:

- tyhjätila pienenee emulsiomäärän ja tiivistyksessä käytettävän lämpötilan kasvaessa
- sideainepitoisuus vaikuttaa enemmän matalissa tiivistyslämpötiloissa kuin korkeissa

- koenäytteiden yläosat tiivistyvät paremmin (alhaisempi tyhjätila) kuin alaosat
- halkaisuvetolujuus pieneni emulsiomäärän kasvaessa (kuivasäilytyksessä)
- halkaisuvetolujuudella mitattuna tiivistyslämpötilan merkitys väheni selvästi suurilla emulsiomäärillä.

Kiertotiivistimen todettiin tuottavan selvästi pienempiä tyhjätiloja kuin Marshall-tiivistys ja jonkin verran pienempiä kuin staattinen puristus. Tästä syystä näytteet tulisi valmistaa pienemmällä kierrosmäärällä kuin 200. Suosituksessa viitataan Norjalaisiin tutkimuksiin, joiden mukaan huonelämmössä kierrosmäärä voisi olla 100 - 120 kierrosta.

Tulosten mukaan kiertotiivistys on paljon herkempi eri menettelytapojen ja lämpötilan suhteen vähän sideainetta sisältävillä massoilla kuin runsaasti sideainetta sisältävillä massoilla. Tuloksista käy myös ilmi, että näytteiden yläosat tiivistyvät paremmin kuin alaosat.

#### 4.2.2 Näytteiden säilytysajan ja säilytyslämpötilan vaikutus

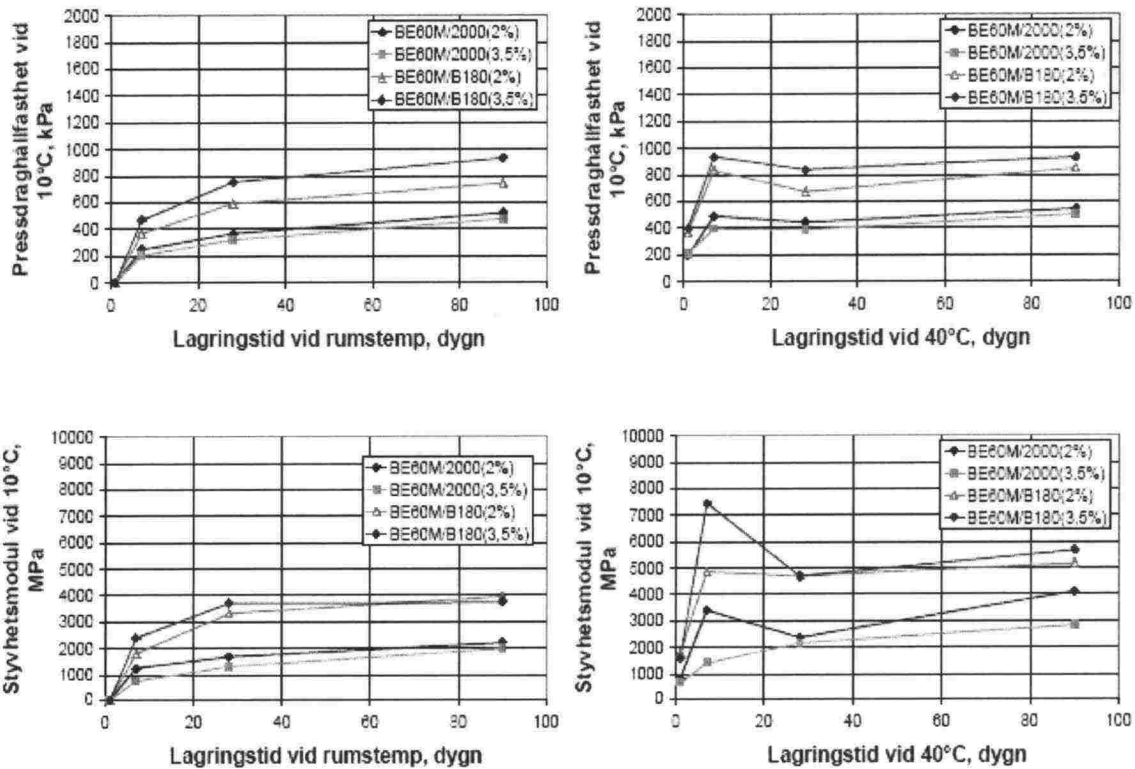
Säilytysajan ja lämpötilan vaikutusta tutkittiin staattisesti puristettujen näytteiden lujuuksien perusteella. Sideaineina käytettiin BE60M/2000 ja BE60M/B180. Emulsiomääränä oli 2,0 % ja 3,5 %, vesilisäys 3,0 %. [7]

Tulosten perusteella näytteiden lujuus kasvoi huonelämmössä koko säilytysajan, joskin suurin lisäys tapahtui jo 7 vuorokauden aikana. Korkeassa lämpötilassa useat näytteet saavuttivat maksimilujuuden 7 vuorokauden kohdalla. Pidempi säilytysaika 40 °C:ssa jopa huononsi (altisti deformaatiolle) näytteitä.

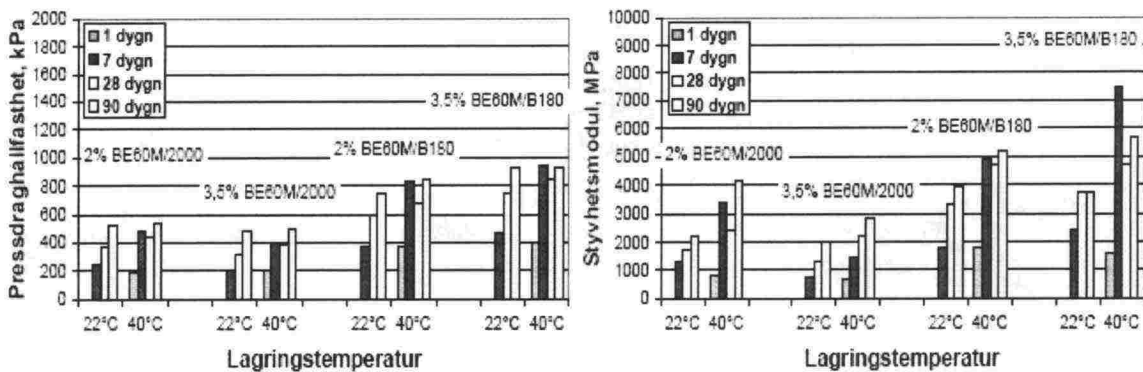
Varastointi 7 d / 40 °C tuotti lähes saman halkaisuvetolujuuden kuin 90 d / 22 °C. Jäykkyysmoduulit olivat jopa suurempia 7 d / 40 °C säilytyksessä kuin pidemmässä huonesäilytyksessä, todennäköisesti bitumin suuremman kovettumisen vuoksi.

Tulosten perusteella 7 vuorokauden säilytys/vanhennus 40 °C:ssa oli sopiva tarkastellun tyyppisille massoille.





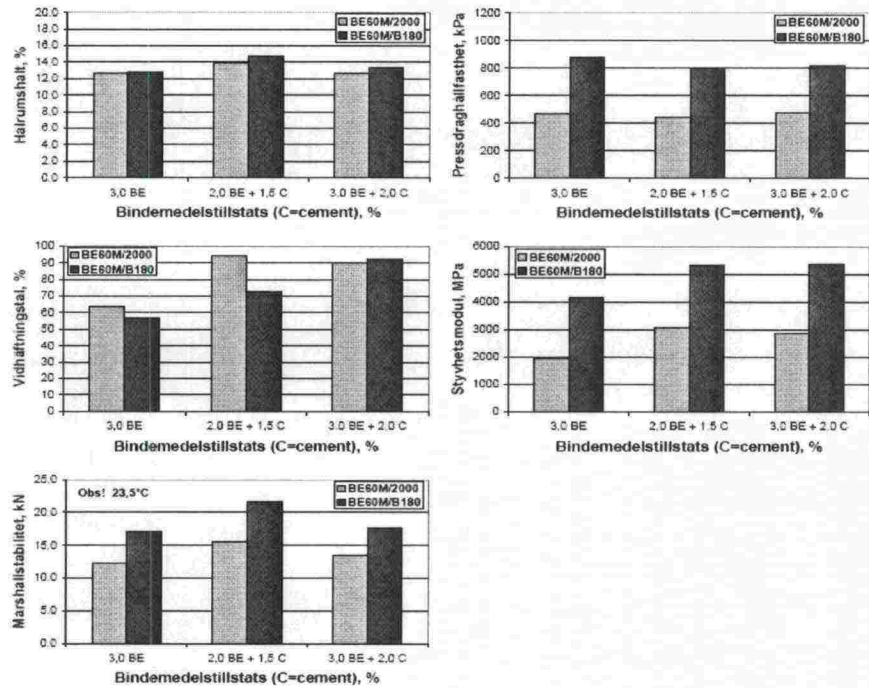
Kuva 4.12 Säilytysajan vaikutus halkaisuvetolujuuteen ja jäykkyysmoduuliin (testauslämpötila +10 °C)



Kuva 4.13 Säilytyslämpötilan vaikutus halkaisuvetolujuuteen ja jäykkyysmoduuliin (testauslämpötila +10 °C)

#### 4.2.3 Sementtilisäyksen vaikutus emulsiomassaan

Sementtilisäyksen vaikutusta kylmän uusiomassan ominaisuuksiin tutkittiin laboratorionäytteiden perusteella. Perusmassana käytettiin normaalia 100 % uusiomassaa (asfalt granulat). Lisäsideaineina käytettiin emulsioita BE60M/2000 ja BE60M/B180 ja normaalia Portland sementtiä. Näytteet tiivistettiin staattisesti ja säilytettiin 7 vuorokautta 40 °C:ssa. [7]



Kuva 4.14 Sementtilisäyksen vaikutus emulsionäyttekappaleiden ominaisuuksiin.

Sementtilisäys vaikutti ennen muuta jäykkyyssmoduuliin ja tarttuvuuslukuun. Kahden prosentin sementtilisäys tuotti molemmilla testimassoilla 90 % tarttuvuusluvun, kun ilman sementtilisäystä se oli 60 % paikkeilla. Ero 1,5 % ja 2,0 % sementtilisäysten välillä oli vähäinen.

Sen sijaan tyhjätilaan ja halkaisuvetolujuuteen sementillä ei ollut juurikaan vaikutusta. Tulos oli yllättävä, sillä muissa kylmämassatutkimuksissa jäykkyyssmoduulin ja halkaisuvetolujuuden välille on saatu hyvä korrelaatio.

Tulosten perusteella todetaan, että pieni sementtilisäys voi parantaa uusiomassojen pysyvyysominaisuuksia ja samalla nostaa kerrosten kuormanjakominaisuuksia rakenteessa.

#### 4.2.4 Jäätymis-sulamiskestävyystestin kokeilu

VTI:ssä kehitettyä asfaltinäyttekappaleiden jäätymis-sulamisherkkyydestä kokeiltiin kylmämassoilla. Vedenkestävyysskoeksessa käytetyn vesi-imeytyksen jälkeen näyttekappaleita säilytettiin jäädytyslaatikossa kosteassa hiekassa ja altistettiin jäädytys-sulatussykleille. Jäädytyslaatikko oli kokonaisuudessaan ilmastointikaapissa. Laatikko oli eristetty pohjastaan ja sivuiltaan, jolloin jäätyminen tapahtui ylhäältä alas samalla tavoin kuin todellisissa olosuhteissa. [7]

Kokonaisuudessaan jäädytys-sulatuskoe koostui seuraavista vaiheista:

##### Esikäsittely

- Näyttekappaleen kuivasäilytys 7 d kuivauskaapissa 40 °C:ssa
- Näyttekappale punnitaan ja sen ulkomitat mitataan
- Määritetään halkaisuvetolujuus ja jäykkyyssmoduuli 10 °C:ssa.

### Vakuumikyllästys vedessä

- Näytekappale asetetaan eksikaattoriin ja upotetaan huonelämpöiseen tislattuun veteen
- Näytettä kyllästetään 40 mbar alipaineessa 1 h
- Näyte säilytetään 23 h vedessä normaalissa ilmanpaineessa
- Näyte punnitaan

### Jäädytys-sulatuskäsittely

- Näytekappaleet asetetaan jäädytyslaatikkoon ja peitetään kostealla hiekalla (20 % kosteus)
- Jäädytyslaatikko asetetaan ilmastointikaappiin jossa siihen kohdistetaan 10 jäädytys-sulatussykliä. Yksi sykli käsittää 12 h / 23 °C ja 12 h / -23 °C
- Sykliä jälkeen näytekappale punnitaan ja sen ulkomitat mitataan
- Määritellään halkaisuvetolujuus ja jäykkyysmoduuli 10 °C:ssa

### Arviointi

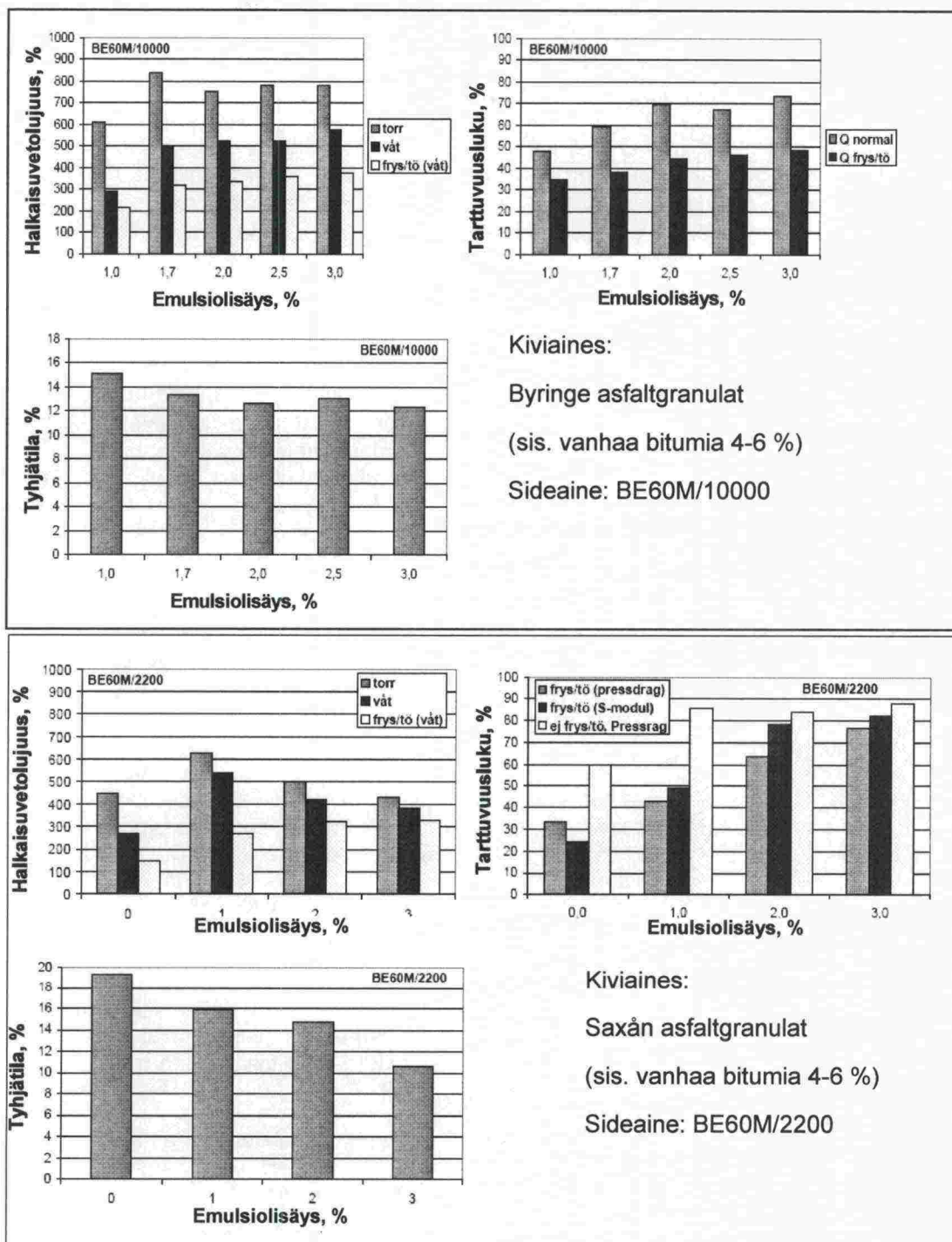
- Lasketaan jäädytys-sulatuskäsittelyssä näytteeseen imeytyneen veden määrä (absorptio) ja näytteen mahdollinen paisuminen
- Kestävyys lasketaan jäädytys-sulatuskäsittelyn ja kuivasäilytetyn näytteen halkaisuvetolujuuden (ja jäykkyysmoduulin) suhteena samalla tapaa kuin vedenkestävyyden tarttuvuusluku.

Kuvassa 4.15 on esitetty jäädytys-sulatuskokeen testituloksia kahdella kylmäsekoitteisella uusiomassalla. Tuloksista havaitaan, että jäädytys-sulatusmenettely pudottaa "tarttuvuuslukua" eli jäädytys-sulatusrasitus on selvästi voimakkaampi koekappaleelle kuin pelkkä vesisäilytys. Jäädytys-sulatusmenettelyssä koekappaleen tarttuvuusluku kasvaa suhteellisesti enemmän sideainepitoisuuden kasvaessa kuin pelkässä vesisäilytyksessä.

Kestävyys laskenta halkaisuvetolujuuden tai jäykkyysmoduulin suhteen tuottaa pääsääntöisesti lähes samansuuruisen vertailuluvun. Suurilla vesipitoisuuksilla jäykkyysmoduuli saattaa kuitenkin kasvaa merkittävästi (huokosvedenpaineen kehittyessä), jolloin kestävyys arviointi jäykkyysmoduulin avulla voi olla harhaanjohtavaa.

Sideainen lisäys 2,0:sta ja 3,0:een % ei enää kasvata merkittävästi kestävyttä, koska kiviaines pohjana käytetty jyräntämassa (asfaltgranulat) sisältää myös sideainetta ja massan kokonaissideainemäärä kasvaa jo varsin suureksi.





Kiviaines:

Byringe asfaltgranulat

(sis. vanhaa bitumia 4-6 %)

Sideaine: BE60M/10000

Kiviaines:

Saxån asfaltgranulat

(sis. vanhaa bitumia 4-6 %)

Sideaine: BE60M/2200

Kuva 4.15 Jäädytys-sulatusmenettelyn (frys/tö) testituloksia kahdella eri uusiomassalla. Pakkaskestävyyden "tarttuvuusluku" on laskettu sekä halkaisuvetolujuuden (pressdrag) että jäykkyysmoduulin (S-modul) perusteella. Vertailun vuoksi kuvassa on esitetty myös normaali vedenkestävyyden tarttuvuusluku (ej frys/tö, normal).

### 4.3 Suomi

#### 4.3.1 Sideainelaji ja tartukkeen käyttö

Neste Oy ja Lemminkäinen Oy tutkivat v. 1995, onko vaahto- ja emulsiotekniikoiden välillä olemassa olennaisia eroja. Lisäksi haluttiin selvittää sideaineen kovuuden, tartukepitoisuuden ja kiviaineksen vaikutus laboratoriossa tehtyjen koekappaleiden lujuusominaisuuksiin. Tutkimuksessa selvitettiin myös säilytysajan vaikutusta koekappaleiden lujuuden kehittymiseen.

Tutkimuksen tuloksissa suositellaan, että bitumeja joiden tunkeuma on 100 1/10 mm tai pienempi, ei käytetä vaahtobitumistabilointiin, koska tällöin näytteiden lujuus jää alhaiseksi. Sen sijaan kovat bitumit soveltuvat paremmin bitumiemulsiostabilointiin. Tartukkeella havaittiin olevan vain vähäistä vaikutusta tartuntaan. Tartuke paransi kuitenkin enemmän vaahtobitumistabilointimassan tartuntalujuutta ja vedenkestävyyttä. Tartuntaominaisuuksiltaan huonolla kiviaineksella todettiin tartukkeen parantavan vedenkestävyyttä [29].

#### 4.3.2 Bitumi- ja komposiittistabilointien ominaisuudet

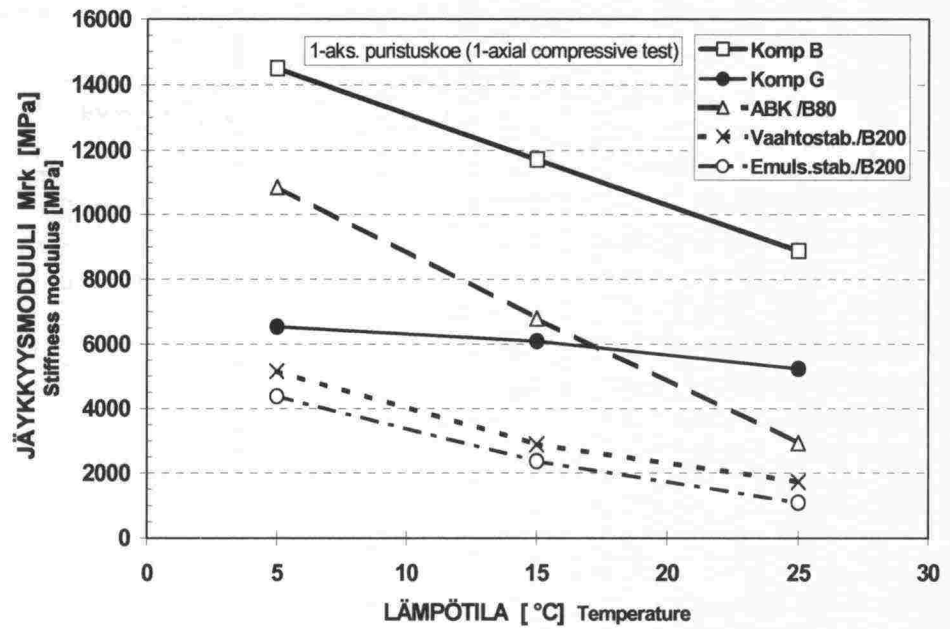
TPPT-projektin yhteydessä kehitettiin erilaisten komposiittimassojen koostumuksia ja testausmenetelmiä. Ne poikkesivat kuitenkin joko koostumukseltaan tai valmistustavalltaan STABIL-projektin komposiittistabiloinneista, joissa oli sementti-bitumisuhde noin 1:3. TPPT:n komposiiteista tätä lähinnä vastasi yksi komposiittistabilointityyppi (tyyppi G), jossa sementti-bitumisuhde oli noin 3:3, ks. kuvat 4.16 ja 4.17.

Erityisen hyvin tutkimuksessa toimi asfalttibetonin ja sementtilaastin komposiitti, joka vastasi asemasekoitteista, rouhetta sisältävää sementtistabilointia (tyyppi B).

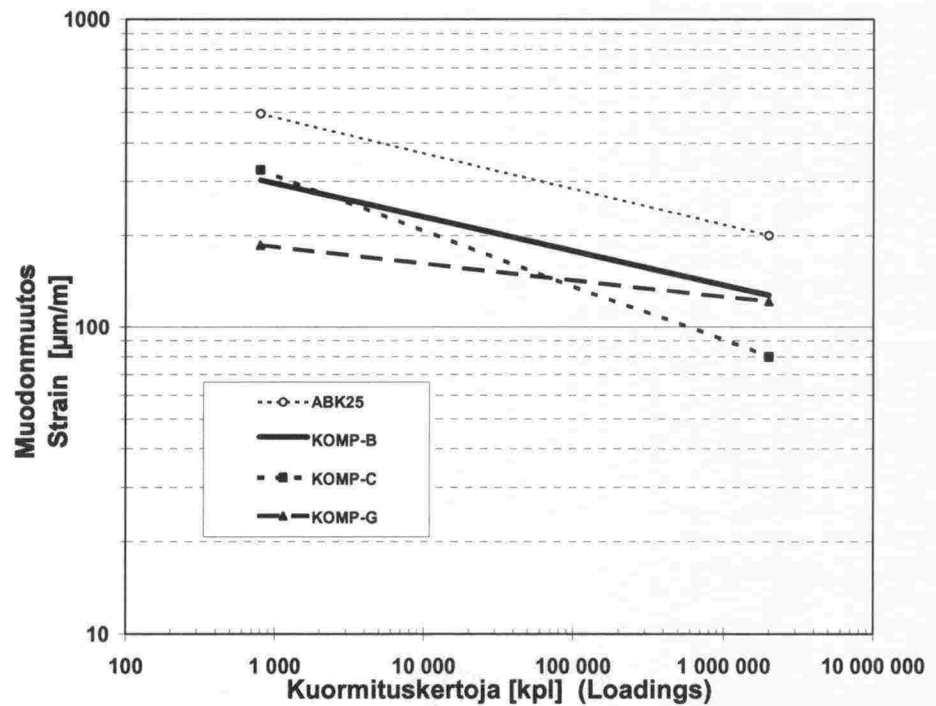
Komposiittimassoille määritettiin jäykkyyshmoduuli ja väsymissuora ja vertailumateriaaleina tutkittiin kantavan kerroksen asfalttibetoni ja sekä sementtilaastilla imeytetty avoin asfaltti.

Massoille tehtiin toistuvia muodonmuutos-väsytykskokeita, joissa todettiin massojen kestävän huonosti toistuvia vetokuormituksia ilman sivutukea (yksiaksiaalissa kokeessa). Käytetty koetekniikka ei pystynyt täysin toistamaan materiaalien reunaehdoja ja jännityksiä rakenteessa [30].

Kuvassa 4.16 on esitetty komposiittistabiloinnin (G), bitumistabiloinnin, asfalttirouheen ja sementtilaastin komposiitin (B) sekä kantavan kerroksen asfalttibetonien jäykkyyshmoduulien riippuvuus lämpötilasta ja kuvassa 4.17 on esitetty kolmen komposiittityypin ja kantavan kerroksen ABK:n väsymiskestävyys [21].



Kuva 4.16. Vaahto-bitumi-, emulsio- ja komposiittistabiloinnin, asfalttirouheen ja sementtilaastin komposiitin sekä kantavan kerroksen asfalttibetonin jäykkyyshuodut.



Kuva 4.17. Komposiittistabiloinnin (G), sementtilaastilla imeytetyn avoimen asfaltin (C), asfalttirouheen ja sementtilaastin komposiitin (B) sekä kantavan kerroksen asfalttibetonin väsymissuorat (voimaohjaus, T= 15°C).



## 5 YHTEENVETO

Päällysrakenteen stabiloinnilla tarkoitetaan Suomessa menetelmää, jolla parannetaan vanhaa tai rakennetaan uutta tien päällysrakennekerrosta käyttäen paikalla- tai asemasekoitusmenetelmiä. Paikallasekoituksessa sekoitetaan rakennuspaikalla keskenään lisäsideaine, jyrstetty vanha kulutuskerrospäällyste, vanha sidottu tai sitomaton kantava kerros tai sen yläosa ja mahdollisesti jakavan kerroksen yläosa ja mahdollinen lisäkiviaines. Asemasekoituksessa sekoitustyö tapahtuu sekoitusasemalla ja valmis stabilointimassa levitetään asfaltinlevittimellä rakennuskohteeseen.

Norjassa stabilointi ymmärretään laajemmaksi käsitteeksi, joka sisältää myös kulutuskerrosmateriaalit ja massat on käytännössä suurelta osin asemasekoitteisia. Ruotsissa stabiloinniksi käsitetään lähes yksinomaan asfaltin uudelleenkäyttö joko paikalla tai asemasekoitteisena. Ruotsissa on kylmätekniikkaan perustuvissa menetelmissä panostettu nimenomaan asfaltin uudelleenkäyttöön kantavissa kerroksissa tutkimalla esimerkiksi granuloidun asfaltin ominaisuuksia.

Tutkimusmenetelmät - edes suhteitusmenetelmät - eivät vielä näytä täysin vakiintuneen. Stabiloinneille käytettyjen suhteitusmenetelmien ongelmana on monelta osin, että tavoitteiden lukuarvoja ei ole kauttaaltaan ohjeistettu ja että vaatimukset vaihtelevat eri stabilointimenetelmien osalta. Kuvaavaa on, että useiden tutkimusten perusteella tyhjätilalla on havaittu olevan suuri merkitys kylmäpäällysteiden toimivuuteen, mutta edes sen osalta ei Pohjoismaissa ole asetettu stabilointimassoille suosituksia kummempia suhteitusvaatimuksia.

Tämän selvityksen perusteella stabilointimassoilla laboratorionäytteiden valmistuksen keskeisimpiä asioita näyttäisivät olevan tiivistys ja näytteiden vanhenemus. Kiertotiivistin lienee tällä hetkellä jo yleisin tiivistysmenetelmä jokaisessa Pohjoismaassa. Karkean kiviaineksensa vuoksi stabilointimassat edellyttävät 150 mm muotteja, mutta vielä 1990-luvun lopulta niiden käytöstä oli vähän kokemuksia. Siksi menetelmäkehitys perustuu pitkälti 100 mm muotteilla tehtyihin tutkimuksiin.

Kiertotiivistimen ongelma stabilointimassoilla on sen "tehokkuus". Kiertotiivistimellä saadaan helposti käytäntöä tiiviimpiä massoja. Kylmämassojen tiivistysmenettelyksi onkin vakiintumassa periaate, jossa massalle etsitään ensin teoreettinen maksimitiheys ja vasta sitten varsinaiset vertailunäytteet tiivistetään vain tiettyyn osaan (95...98 %) tästä maksimitiheydestä. Norjassa kiertotiivistintä on pyritty hyödyntämään myös kylmämassan työstettävyyden, tiivistettävyyden ja deformaatioherkkyyden arvioimiseksi. Varsinkin deformaatioherkkyyden arviointi tuntuisi lupaavalta ja hyödylliseltä mahdollisuudelta juuri stabilointimassojen yhteydessä.

Suomessa ja muissa Pohjoismaissa käytettyjen tutkimusmenetelmien osalta kenties suurin ero on massan vanhenuksessa ennen mekaanisten ominaisuuksien testauksia. Norjassa ja Ruotsissa on käytössä 7 vuorokauden vanhenemus 40 °C:ssa kun Suomessa on päädytty säilytykseen huonelämmössä.

Norjalaisen suhteitusmenettely tuottaa tarkasteltavalle massalle ominaisarvon (kuormanjakokertoimen), jota voi sellaisenaan käyttää rakenteen suunnittelussa. Vaikkakin kuormanjakokerroin – paksuuden vastaavuuskerroin – on sinänsä arveluttava ja vanhanaikainen menettely, periaate on hyvä keino houkutellessa rakentajaa suhteittamaan stabilointituotteensa ja palkita mahdollisimman tehokkaasta materiaalien hyödyntämisestä.

## 6 KIRJALLISUUSVIITTEET

- [1] Stabilointiohje. TIEH 2100009-02. Tiehallinto 2002. Koekäytössä.
- [2] Bitumistabilointi. Helsinki 1994, Tielaitoksen selvityksiä 25/1994.
- [3] Asfalttinormit 2000. Jyväskylä 1999, PANK ry.
- [4] Asfalttinormien 2000 muutokset. Lisälehti 2003. Helsinki 2002.
- [5] Forstén, L., Myre, J., Nielsen, E., Tyllgren P., Testmetoder för kallblandade bituminösa bärlagermaterial, NVF Asfaltutskottet 1995
- [6] ATB VÄG 2004, Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion, Vägverket Publication 2004:111, Vägverket 2004
- [7] Kall och halvvarm återvinning av asfalt i verk, VTI notat 1-2001, Del 1 - Laborieprovnig, Linköping 2001
- [8] Handbok för återvinning av asfalt, Publikation 2004:91, Vägverket
- [9] Vegbygging, Håndbok 018, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- [10] Kalde bitumenstabiliserte bærelag, Håndbok 198, Statens vegvesen Vegdirektoratet
- [11] Asfaltutviklings prosjektet i Telemark, Publikasjon nr. 92, Statens vegvesen Vegdirektoratet, Oslo 1998
- [12] Planleggingsverktøy, Laboratorieserien, rapport nr. 86, Statens vegvesen Telemark, Oslo 1997
- [13] Mixdesign, Laboratorieserien, rapport nr. 87, Statens vegvesen Telemark, Oslo 1997
- [14] Produksjon, Laboratorieserien, rapport nr. 88, Statens vegvesen Telemark, Oslo 1997
- [15] Utlegging, Laboratorieserien, rapport nr. 89, Statens vegvesen Telemark, Oslo 1997
- [16] Valsing, Laboratorieserien, rapport nr. 90, Statens vegvesen Telemark, Oslo 1997
- [17] Driftserfaringer, Laboratorieserien, rapport nr. 91, Statens vegvesen Telemark, Oslo 1997
- [18] Bærekraftige forsterkningsmetoder, NVF Vägkonstruktion, Ragnar Evensen, ViaNova Plan og Trafikk AS, Norge 2004
- [19] Laaksonen, R., Juvankoski, M., Törnqvist, J., Tamminne, M., Vaatimukset ja hyväksymismenettelyt stabiloiduille tierakenteiden materiaaleille. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, luonnos 19.12.2001.
- [20] ASTO-loppuraportti, VTT, Espoo 1993.
- [21] Laukkanen, K., Leivo, M., Bitumi-sementti-komposiittien ominaisuudet ja tutkimusmenetelmät. Loppuraportti. Helsinki 1999, TPPT-tutkimusohjelma, Tielaitoksen selvityksiä 42/1999
- [22] Risto Alkio, Markku Juvankoski, Leena Korkiala-Tanttu, Rainer Laaksonen, Kyösti Laukkanen, Sami Petäjä, Jari Pihlajamäki, Harri Spoo: Tien rakennekerrosten materiaalit. Taustatietoa materiaalivalinnoille. Helsinki 2001. Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 66/2001
- [23] Apilo, L., Kantavan kerroksen asfaltticoni. Referenssimateriaalin ominaisuudet. Loppuraportti. Helsinki 1996, TPPT-tutkimusohjelma, Tielaitoksen selvityksiä 70/1996



- [24] Laukkanen, K., Stabilointien tuotehyväksynnän kehittäminen, Nykytila. Julkaisematon työraportti, Espoo 2003
- [25] Laukkanen, K., Ruotsalaisten stabilointien tutkimusmenetelmät, tutkimustulokset ja tuotehyväksyntä. Stabilointipalaveri VTI – VTT (Tukholma/Solna 29.3.2004), Kokousmuistio
- [26] Mäkikyrö, Marko, Converting raw materials into the products – Road base material stabilized with slag-based binders. Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu. Oulu 2004
- [27] Luiro, K., Rappautuneen päällysteen kunnostus. Remixer-stabilointi hyvä ratkaisu. Tierakennusmestari 4/1995.
- [28] Luiro, K., Remixer-stabilointi. Helsinki 1995, Tielaitoksen selvityksiä 88/1995
- [29] Forstén, L., Hurtig, K., Bitumistabilointien laboratoriotutkimus, Neste Oy, tutkimusselostus 104/95.
- [30] Peltonen, P., Laaksonen, R, Bitumistabiloidun massan ominaisuudet ja testausmenetelmät. Helsinki 1998, TPPT-ohjelma, Loppuraportti, projekti M2, Tielaitoksen selvityksiä 12/1998.



## Stabilointien ja sekoitusjyrsinnän työmäärät v. 2000-2006

(viite: Urakoitsijoiden ilmoitukset)

Menetelmä	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	Työmäärät [milj. m <sup>2</sup> /v]						
VBST	0,52	0,27	0,66	0,49	0,21	0,85	0,53
REST	0,45	0,11	0,52	0,55	0,69	0,85	0,53
KOST	0,01	0,09	0,05	0,01	0,01	0,00	0,02
MHST	0,82	0,45	0,76	0,96	0,48	0,26	0,11
SST	0,01	0,01	0,01	0,05	0,03	0,03	0,21
SJYR		0,59	0,72	2,54	3,61	5,08	4,53
<b>Yhteensä</b>	<b>1,81</b>	<b>1,51</b>	<b>2,72</b>	<b>4,59</b>	<b>5,03</b>	<b>7,06</b>	<b>5,93</b>

## MERKINNÄT:

VBST = vaahtobitumistabilointi  
 REST = Remix-stabilointi  
 KOST = komposiittistabilointi  
 MHST = masuunihiekkastabilointi  
 SST = sementtistabilointi  
 SJYR = sekoitusjyrsintä.

---

ISSN 1459-1553  
ISBN 978-951-803-962-7  
TIEH 3201069-v