

Tielaitos

Laura Apilo, Katri Eskola

PAB-V -tutkimukset 1995



**Tielaitoksen
selvityksiä
82/1995**

Helsinki 1995

Kehittämiskeskus

Tielaitos
TIEL/20
PEHMEÄT PÄÄLLYSTEET

05.02.1996 KK 342
Asian tun:291/95/20/TIEL
Ark=KK Säil=10 Tärk=
Liite 1/1

Tielaitoksen selvityksiä
82/1995

Laura Apilo, Katri Eskola

PAB-V -tutkimukset 1995

Tielaitos
Kehittämiskeskus

Helsinki 1995

ISSN 0788-3722
ISBN 951-726-158-6
TIEL 3200357
Oy Edita Ab
Helsinki 1996

Julkaisun kustannus ja myynti:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotepalvelut
Telefax (90) 1487 2652

Joutsenmerkin arvoinen paperi

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Aiheluokka 42
Asiasanat pehmeät päällysteet, pehmeä asfalttobetoni, pehmeä bitumi, koetiet

Tiivistelmä

PAB-V- tutkimukset alkoivat vuonna 1994. Pehmeät bitumit V1500 ja V3000 on todettu käyttökelpoisiksi öljysoran (PAB-O) kaltaisen ympäristöystävällisen päällysteen valmistuksessa lämmitystekniikkaa apuna käyttäen. Vuonna 1994 tehdyt koetiet ovat vuoden ikäisinä hyvässä kunnossa, ja useimmat tiepiirit ovat jo vuonna 1995 siirtyneet PAB-V -päällysteiden valmistukseen perinteisen öljysoran sijasta.

Vuoden 1995 PAB-V -tutkimuksissa keskityttiin varastomassojen työstettävyyden selvittämiseen. Vanhojen PAB-V- ja PAB-O- päällysteiden ja PAB-V- varastomassojen sideaineiden viskositeetit selvitettiin ja todettiin V1500:n vastaavan parhaiten BÖ2:n jäykkyyttä 1...4 vuoden ikäisissä päällysteissä. Varastokasassa sideaineen viskositeetti kasvaa hitaammin ja on yleensä vielä kahden vuoden ikäisenä samalla tasolla kuin vuoden ikäisessä päällysteessä. Massaviskometrikoeksessa selvitettiin levityslämpötilan, massan iän, sideaineen viskositeetin ja kiviaineksen vaikutusta työstettävyyttä kuvaavaan vastusvoimaan 1...3 vuoden ikäisillä varastomassoilla. Levityslämpötilalla on suurin vaikutus vastusvoimaan, mutta myös massan sideaineen viskositeetti ja kiviaineksen raemuoto vaikuttivat työstettävyyteen. Massan ikä ei vaikuttanut työstettävyyteen. Laboratoriossa tutkittuja massoja kokeiltiin levittää kenttäkokeessa yhden päivän aikana. Näin yritettiin löytää vastusvoimalle raja-arvo. Sitä ei kuitenkaan löytynyt, koska kaikkien massojen levittäminen käytetyllä levittimellä onnistui hyvin, kun varastointiaika oli alle kolme vuotta ja levityslämpötila yli 14 °C. Myöskään kenttäkokeessa massan ikä tai sideaineen viskositeetti ei vaikuttanut sen levitettävyyteen. Vaikka myös sideaineella V3000 tehtyjen massojen levittäminen onnistui vaikeuksista, massaa varastoon tehtäessä suositellaan sideaineena käytettäväksi V1500. Työstettävyyttä yritettiin myös arvioida kiertotiivistyslaitteen tulostuksesta saatavan vastusvoiman avulla siinä kuitenkaan onnistumatta.

Massan sekoituslämpötilan ja tartukepitoisuuden vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin tutkittiin sekä laboratoriossa että massan valmistuksessa turboasemalla. Esikokeissa MYR-arvo parani, kun tartukepitoisuus kasvoi, mutta sekoituslämpötila ei juurikaan vaikuttanut MYR-arvoon. Kenttäkokeessa MYR-arvo parani tartukepitoisuutta nostamalla, mutta sekoituslämpötilan nostaminen huononsi MYR-arvoa ja paransi peittoastetta. Hyvän MYR-arvon ja hyvän peittoasteen merkitys päällysteen kestävyys selvinnee koetieltä saatavista tuloksista. Laboratoriosekoitusmenetelmää tulee kehittää niin, että se vastaa mahdollisimman hyvin käytäntöä kentällä, jolloin esikokeilla vasta saavutetaan todellista hyötyä. Esikokeina PAB-V - päällysteille suositellaan tarttuvuuden tarkistamista MYR-kokeella optimaalisen sekoituslämpötilan ja tartukepitoisuuden valitsemiseksi käytettävissä olevalla kalustolla. Suhteitus suositellaan tehtäväksi tilavuussuhteiden perusteella uusia materiaaleja käyttöön otettaessa.

Key words soft asphalt pavement, soft bitumen, test roads

Abstract

Soft asphalt pavement studies started in 1994. Soft bitumen V1500 and V3000 have been found to be suitable binders for soft asphalt pavement like oil gravel. Soft bitumen is an environmental friendly alternative to the road oil. As non-emulsified it always requires semi-hot production. The test roads made in 1994 are in good condition after the first year. In 1995, most of the road districts already produced soft asphalt pavements instead of traditional oil gravel.

In 1995, soft asphalt studies focused on the workability of stored mixtures. The binder's viscosities both in soft asphalt pavements 1...4 years old and stored mixtures 1..3 years old, were determined. The growth of V1500's viscosity has the best correspondance to road oil in pavements 1...4 years old. In the stored mixtures, binder's viscosity grows up slower than in the pavements. It is usually after two years at the same level as in the one-year-old pavement. The workability of stored mixtures 1..3 years old, were studied in the laboratory by the workability tester. In the test, laying temperature has the biggest effect on the power of resistance which reflects the workability of mixture. Also the binder's viscosity and the grain shape of aggregate have an effect on the power of resistance, but the age of mixture has not. The mixtures studied in the laboratory were tried to be laid on road during one day. The purpose of the field experiment was to find out a limit value for power of resistance. The limit value could not be defined because all mixtures under three years old were properly layable in temperature over 14 °C. The age of mixture or binder's viscosity did not have an effect on the workability on the field. It is recommended to use V1500 as binder when storing the mixture even though mixtures with V3000 turned out to be layable without problems. It was also tried to estimate workability of mixture based on resisting force observed by gyratory compaction but it did not work out.

The influence of mixing temperature and content of antistripping agent on mixture properties were studied both in the laboratory and on the field. In the preliminary laboratory tests, MYR-values improved with increasing amount of antistripping additive while mixing temperature did not have any significant influence to MYR-values. On the field in the steam heating process (Turbo-system), MYR-values improved with increasing amount of antistripping additive but increasing mixing temperature degraded MYR-values and improved binders coating ability. The relationship between good MYR-values or good coating rate and pavement durability will appear from test section results. Mixing in the laboratory should be developed to better correspond to the methods used on field. Only under this condition preliminary laboratory tests can give valuable information. It is recommended to check mixture's water resistance by preliminary MYR-test to define optimum mixing temperature and amount of antistripping agent. Special limitations may be caused by mixing plant. It is recommended to make the proportioning based on volumen measurements when bringing new materials into use.

Alkusanat

Tähän julkaisuun on kerätty kaikkien vuonna 1995 tehtyjen PAB-V -tutkimusten tulokset. Tutkimusohjelmaan kuului sekä laboratorio- että kenttäkokeita. Tutkimusten suunnittelusta vastaa vuonna 1994 perustettu työryhmä, johon kuluneena vuonna kuuluivat *Clas Nyberg* (Neste Oy), *Siv Schüller* (Neste Oy), *Kalevi Luiro* (TIEL/Lapin tiepiiri), *Esko Laitinen* (TIEL/Oulun tiepiiri), *Lasse Nurhonen* (TIEL/Kaakkois-Suomen tiepiiri), *Kalevi Toikkanen* (TIEL/kehittämiskeskus), *Katri Eskola* (TIEL/kehittämiskeskus), *Laura Apilo* (VTT), ja *Jarkko Valtonen* (TKK). Julkaisun ovat kirjoittaneet Laura Apilo ja Katri Eskola. Lapin tiepiirin kenttäkokeen havainnot on kirjannut *Ulla Juujärvi* (TIEL/Lapin tiepiiri).

Helsingissä joulukuussa 1995

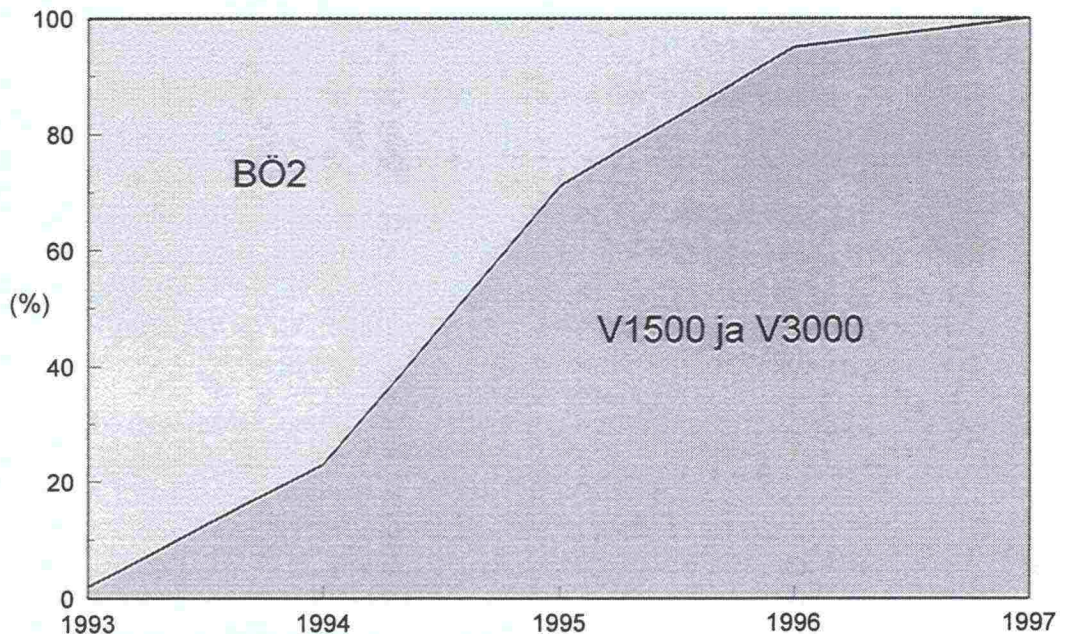
Tielaitos
Kehittämiskeskus

Sisältö

1 JOHDANTO	7
2 PAB-V -TUTKIMUSOHJELMA VUODELLE 1995	8
3 MASSOJEN LEVITETTÄVYYS JA TYÖSTETTÄVYYS	9
3.1 Laboratoriokokeet	9
3.1.1 Uutettujen sideaineiden viskositeetit	9
3.1.2 Massaviskometrinen tulokset	14
3.1.3 Kiertotiivistimellä tehtyjen kappaleiden ominaisuudet	16
3.2 Varastomassojen levitettävyyssokeilu pt 19742 Norvajärvi	20
3.3 Laboratoriotulosten ja kenttäkokeiden vertailu	24
4 MASSOJEN LUJUUS JA VEDENKESTÄVYYS	25
4.1 Laboratoriokokeet	25
4.1.1 Koejärjestely	25
4.1.2 Mittaustulokset	25
4.2 Tulosten tarkastelu	26
4.2.1 Massan koostumuksen vaikutus lujuuteen	26
4.2.2 Massan koostumuksen vaikutus vedenkestävyyteen	27
5 TARTUKE- JA LÄMPÖTILAKOKEILU	28
5.1 Esitutkimukset	28
5.2 Koekohde Pt 15283 Mataramäki	29
5.3 Esitutkimusten ja kenttäkokeiden vertailu	34
6 PAB-V -PÄÄLLYSTEIDEN SUUNNITTELU	35
7 YHTEENVETO	37
8 LIITTEET	38

1 JOHDANTO

Tutkimukset pehmeiden bitumien (V1500 ja V3000) käyttämiseksi öljysoraa (PAB-O) vastaavan lämpimänä valmistetun pehmeän päällysteen (PAB-V) sideaineena aloitettiin vuonna 1994, jolloin tehtiin sekä laboratorio- että kenttäkokeita /TIEL 3200283/. Laboratoriokokeet palvelivat lähinnä koetie-päällysteiden suunnittelua. Koetiepäällysteitä tehtiin vuonna 1994 yhteensä 94 km. Ne onnistuivat hyvin, ja päällysteiden on todettu olevan vuoden ikäisinä erittäin hyvässä kunnossa. Tehdyt tutkimukset osoittavat, että PAB-V -päällysteet ovat hyvä vaihtoehto PAB-O:lle, ja tiepiirit ovatkin lähteneet korvaamaan päällystetuotantoon nopeasti mukaan. Neste Oy:n myyntitietojen perusteella sideaineiden suhteellinen osuus tielaitoksen töissä on kehittynyt kuvan 1 mukaisesti. Ennuste on laadittu viime vuosien kehityksen pohjalta.



Kuva 1. Pehmeiden sideaineiden suhteellisten osuuksien kehittyminen.

Pehmeiden päällysteiden laajeneva käyttö edellyttää eri muuttujien vaikutusten tuntemista ja esitutkimusvalmiuksia, jotka takaavat päällysteen onnistumisen. Vuoden 1994 tutkimuksissa jäi selvittämättä massan varastointiin liittyviä oleellisia asioita, kuten kuinka kauan massa säilyttää työstettävyytensä, ja mikä on sellaisen massan jäykkyys, joka voidaan vielä ongelmitta levittää. Kustannuksiltaan mahdollisimman edullisen mutta hyvän päällystemasnan tekemiseksi päätettiin selvittää sekoituslämpötilan, tartukepitoisuuden ja massan kosteuden vaikutuksia toisiinsa massanvalmistuksessa.

2 TUTKIMUSOHJELMA VUODELLE 1995

Kun PAB-V -päällysteiden tutkimukset aloitettiin talvella 1994, keskityttiin Neste Oy:n laboratoriokokeissa siihen, kuinka alhaisissa lämpötiloissa ja minkälaisilla sideaine- ja tartukepitoisuuksilla onnistutaan. Keväällä 1994 tehdyt laboratoriotutkimukset toimivat lähinnä koekohteiden esisuunnittelun välineenä, eikä niiden avulla pyrittykään kartoittamaan tarkemmin eri muuttujien välisiä yhteyksiä.

Saatujen kokemusten täydentämiseksi päätettiin laboratoriotutkimuksia jatkaa keväällä 1995. Täydentävien tutkimusten tavoitteina oli:

1. Tutkia tiivistyvyyttä ja levitettävyyttä, jotta voidaan määrittää varastoitavuuden raja-arvot. Tämä on tarpeen arvioitaessa jäykkyydeltään erilaisten massojen käyttökelpoisuutta paikkausmassoina ja laajemmin varastokasasta.
2. Selvittää jäykkyydeltään erilaisten pehmeiden päällysteiden lujuuden kasvu ja lopulliset lujuudet ja verrata niitä öljysoraan. Tieto tarvitaan sideaineen jäykkyyden valintaperusteeksi.
3. Selvittää sekoituslämpötilan, tartukepitoisuuden ja kiviaineksen kosteuden vaikutuksia massan tiivistettävyyteen ja lujuuteen erilaisilla pehmeillä sideaineilla. Näiden muuttujien vaikutuksien tuntemisesta on hyötyä pyrittäessä kustannuksiltaan mahdollisimman edulliseen toimivaan päällysteeseen.

Asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi päätettiin seuraavien tutkimusten tekemisestä.

1. Sideaineen viskositeetti määritettiin 23 päällyste- ja 10 varastokasanäytteestä. Päällysteiden sideaineiden alkuperäinen viskositeetti vaihteli välillä 1000...6000 mm²/s. Sideaine oli käytetty lämmitettynä tai emulgoituna tai se oli bitumiöljyä. Rinnakkaiset näytteet tutkittiin Neste Oy:n ja tielaitoksen geokeskuksen laboratorioissa, ja laboratorioden välisen toistettavuuden selvittämiseksi osin myös VTT:ssä.
2. Varastokasamassojen työstettävyyttä tutkittiin VTT:n laboratoriossa massaviskometrillä 10, 15 ja 20 °C lämpötiloissa. Lisäksi pyrittiin selvittämään, voidaanko kiertotiivistyslaitteen leikkausvastusta käyttää massan työstettävyyden arviointiin.
3. Sideaineen viskositeetin, massan sekoituslämpötilan, tartukepitoisuuden ja kiviaineksen kosteuden vaikutuksia päällysteen ominaisuuksiin (tiivistyvyys, vedenkestävyys) selvitettiin seuraavilla muuttujien arvoilla
 - sideaineen viskositeetti 1000 / 1500 / 3000 mm²/s
 - sekoituslämpötila 40 / 60 °C
 - tartukepitoisuus 0,4 / 0,8 %
 - kiviaineksen kosteus 3 / 5 %

Lisäksi tehtiin kenttäkokeiluja Lapin ja Kaakkois-Suomen tiepiireissä. Lapin piirin kokeilujen päätarkoituksena oli selvittää pehmeiden päällysteiden varastoitavuutta. Kentällä kokeiltiin sideaineeltaan erilaisten vanhojen 1992-94 varastoon tehtyjen massojen levittämistä yhden päivän aikana samalla levittimellä. Tulosten perusteella pyritään asettamaan raja-arvot laboratoriotutkimusmenetelmillä määritettäville tunnusluvuille. Lisäksi oli tarkoitus valmistaa varastoon uusia massoja, joiden vesipitoisuutta piti nostaa höyrykuumentimen avulla sekoituksen yhteydessä. Massassa olevan veden toivottiin parantavan työstettävyyttä pienentämällä rakeiden välistä kitkaa. Tämän toteutus heinäkuussa ei kuitenkaan vielä onnistunut. Valitulla kohteella kiviaines oli nimittäin juuri murskattua. Niinpä massa ei saatu edes tyypillistä kosteutta, vaan se oli tavallistakin kuivempaa.

Kaakkois-Suomen tiepiirissä kokeiltiin, kuinka tartukkeen määrä ja sekoituslämpötila vaikuttavat massan laatuun.

3 MASSOJEN LEVITETTÄVYYS JA TYÖSTETTÄVYYS

3.1 Laboratoriokokeet

3.1.1 Uutettujen sideaineiden viskositeetit

Jotta PAB-V- ja PAB-O -massojen työstettävyyttä voitaisiin vertailla, päätettiin selvittää eri ikäisten pehmeiden päällysteiden ja varastomassojen jäykkyydet. Koska tärkein massan jäykkyyteen vaikuttava tekijä on sideaine, päätettiin selvittää vanhoista päällysteistä ja varastokasamassoista uutetun sideaineen viskositeetti. Näytteet valittiin niin, että mahdollisimman monen osalta sideaineen alkuviskositeetti saatiin tarkasti selvitettyä. Kohteet ovatkin pääosin vanhoja koepäällysteitä. Joidenkin kohteiden osalta löytyy myös muita tutkimuksia palvelleita "välituloksia".

Sideaineen viskositeetti määritettiin 23 päällyste- ja 10 varastokasanäytteestä, joiden sideaineiden alkuperäinen viskositeetti oli välillä 1000...6000 mm²/s. Rinnakkaiset näytteet tutkittiin Neste Oy:n ja tielaitoksen geokeskuksen laboratoriossa. Näin saatiin tietoa myös menetelmän luotettavuudesta, jota selvitettiin lisäksi vielä kolmen massan osalta niin, että rinnakkaiset massanäytteet tutkittiin kolmessa laboratoriossa (Neste Oy, TIEL/Gk ja VTT/YKI). Näytteen käsittely ja käytetyn kvalitatiivisen uuttohahdutusmenetelmän työvaiheet pyrittiin yhdenmukaistamaan.

Yhtä määrittämistä varten tarvittava massamäärä on noin 2 kg. Massanäytteitä ei kuivatettu lämmittämällä, vaan huoneilmassa. Massanäytteestä liuotettiin sideaine, jonka jälkeen sideaine ja liuotin erotettiin hienoaineksesta sentrifugilla. Liuotinaine haihdutettiin sideaineesta rotavaporilla, jonka jälkeen sideaineen viskositeetti määritettiin 60 °C:ssa.

Massojen ja päällysteiden osalta kerättiin tiedot valmistustavasta (kylmä-, puolilämmin- tai kuumasekoitustekniikka), sideaineesta (emulgoitu tai emulgoimaton pehmeä bitumi tai bitumiöljy) ja sideaineen mahdolliset aikaisemmat viskositeettitulokset. Liitteenä 1 olevaan taulukkoon on kerätty massoja koskevia tietoja.

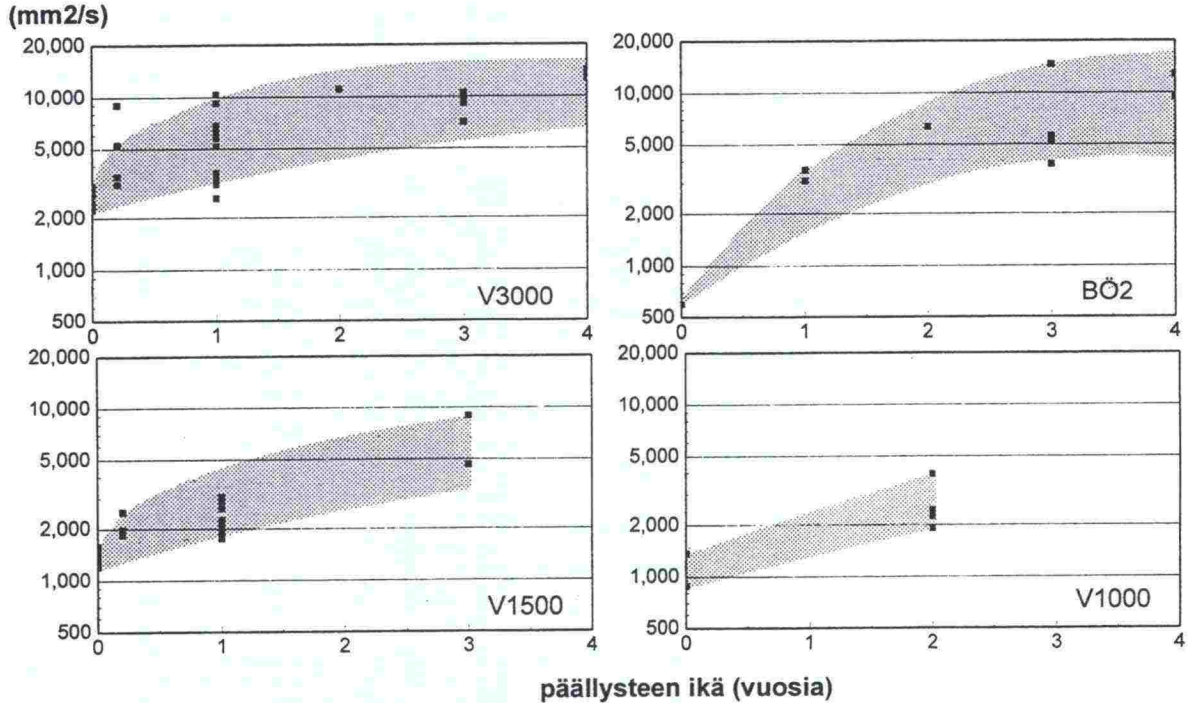
Päällysteistä otetut näytteet

Taulukko 1. Pehmeistä päällysteistä uutettujen sideaineiden viskositeetit.

Näyte	Valm. vuosi	Sek.lämpötila (°C)	Sideaine	Sideaineen viskositeetti 60 °C (mm ² /s) kesällä 1995	
				TIEL/Gk	Neste Oy
ASTO	1 991	124	B 650/900	22 300	20 400
ASTO	1 991	21	BE 650/900	31 400	34 200
ASTO	1 991	102	V 3000	12 800	14 200
ASTO	1 991	19	BE 3000	13 300	12 700
Pyhtää	1 992	20	BE 3000	10 500	9 140
Yläne	1 992	45	BE 3000	10 000	7 100
Kiikoinen	1 994	66	V 3000	6 800	6 160
Kovero	1 994	40	V 3000	10 400	9 240
Vihanti	1 994	39	V 3000	3 120	3 610
Kuusamo	1 994	42	V 3000	3 370	2 590
Mt 1221	1 987	100	BÖ 2	15 800	9 190
Mt 2703	1 990	100	BÖ 2	8 530	6 420
ASTO	1 991	14	BÖ 2	12 800	9 400
Pt 11673	1 992	100	BÖ 2	14 700	5 180
Pyhtää	1 992	45	BÖ 2	5 580	3 840
Yläne	1 992	45	BE 1500	8 970	4 660
Kaavi	1 994	60	V 1500	3 040	2 620
Vihanti	1 994	38	V 1500	2 040	2 240
Kuusamo	1 994	60	V 1500	2 060	2 130
Sandbacka	1 994	60	V 1500	2 210	1 810
Saaramaa	1 994	48	V 1500	1 910	1 760
Kuivaniemi	1 993	27	BE 1000	2 240	1 910
Kumpula	1 993	20	BE 1000	2 430	3 940

Tulokset on esitetty kolmen merkitsevän numeron tarkkuudella, ja niissä on paikoin hajontaa enemmän kuin odotettiin. Erityisesti PAB-O -näytteissä hajonnat ovat suuria. Tämä saattaa johtua liuottimien epätasaisesta haihtumisesta. Liitteenä 2 olevissa kuvissa on havainnollistettu viskositeetin kehittymistä ajan funktiona. Apuna on käytetty kohteilta aikaisemmin määritettyjä viskositeettituloksia. Kuvassa 2 on hahmoteltu näiden tulosten perusteella

sideaineelle tyypillistä viskositeetin kehittymistä päällysteen iän myötä. Kuvaan on piirretty kaikki havaintopisteet.



Kuva 2. Sideaineen viskositeetin kehittyminen päällystenäytteissä.

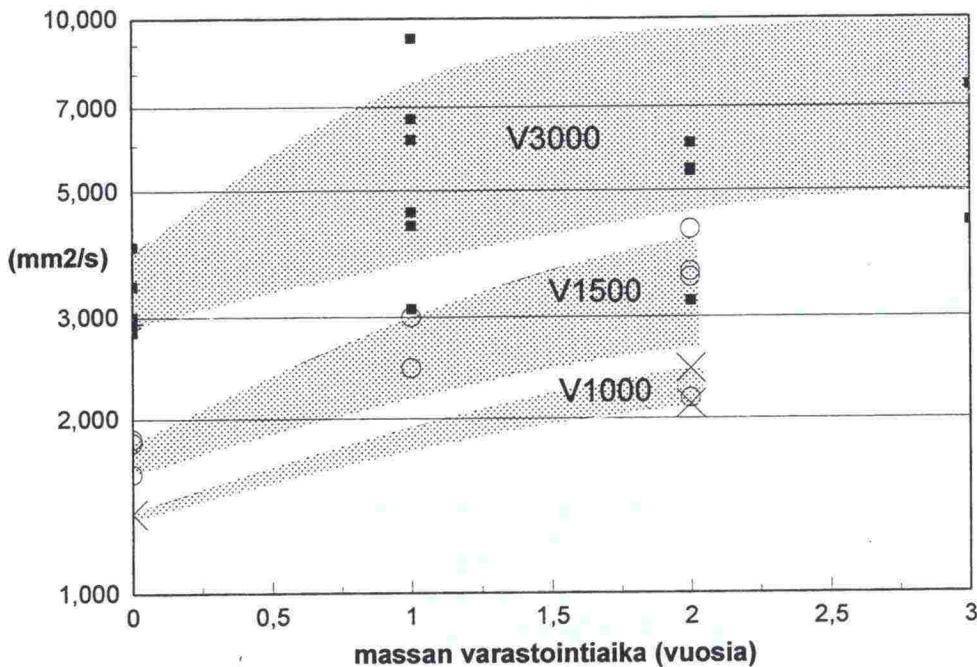
Näiden tulosten perusteella arvioituna pehmeistä bitumeista V1500 vastaa parhaiten BÖ2:n jäykkyyttä 1...4 vuoden ikäisissä päällysteissä.

Varastokasamassoista otetut näytteet

Taulukko 2. Varastokasamassoista uutettujen sideaineiden viskositeetit.

Näyte	Valm. vuosi	Sek.lämpötila (°C)	Sideaine	Sideaineen viskositeetti 60 °C (mm ² /s) kesällä 1995	
				TIEL/Gk	Neste Oy
Pirttikoski	1 992	20-50	BE 3000	7 610	4 410
Orresokka	1 993	52	BE 3000	5 400	3 200
Tupuri	1 993	20	BE 3000	6 050	5 450
Palovaara	1 994	50-60	BE 3000	9 220	6 680
Niinimaa	1 994	50-60	V 3000	6 140	4 340
Askankangas	1 994	50-60	BE 3000	4 580	3 100
Orresokka	1 993	50-60	BE 1500	3 520	2 170
Tupuri	1 993	20	BE 1500	4 270	3 600
Hommaselkä	1 994	50-60	V 1500	3 000	2 450
Tupuri	1 993	20	BE 1000	2 440	2 120

Kuvassa 3 on näiden tulosten perusteella hahmoteltu sideaineille tyypillistä viskositeetin kehittymistä varastokasamassoissa. Varastokasanäytteissä rinnakkaisnäytteiden välinen hajonta on suurin Pirttikosken ja Orresokan massoilla. Varastomassojen tuloksiin saattaa vaikuttaa se, kuinka syvältä pinnasta näyte on otettu. Kasan pinnalla sideaineen hapettuminen on voimakkaampaa kuin syvemmällä kasassa.



Kuva 3. Sideaineen viskositeetin kehittyminen varastomassoissa.

Verrattuna päällysteistä uutettujen sideaineiden viskositeetteihin ovat varastomassojen sideaineiden viskositeetit alhaisemmalla tasolla. Ne ovat kahden vuoden aikana jäykistyneet suunnilleen saman verran kuin päällystenäytteistä uutetut sideaineet yhden vuoden aikana.

Päällystenäytteissä pehmeän bitumin viskositeetteihin suurin vaikutus on päällysteen iällä ja sideaineen alkuperäisellä viskositeetilla. Näin on myös tarkasteltaessa koko näytesarjaa. Pelkkiä varastokasanäytetuloksia tarkasteltaessa massan iällä ei ole niin selkeää merkitystä kuin päällystenäytteissä.

Kvalitatiivisen uuttosuodatusmenetelmän luotettavuus

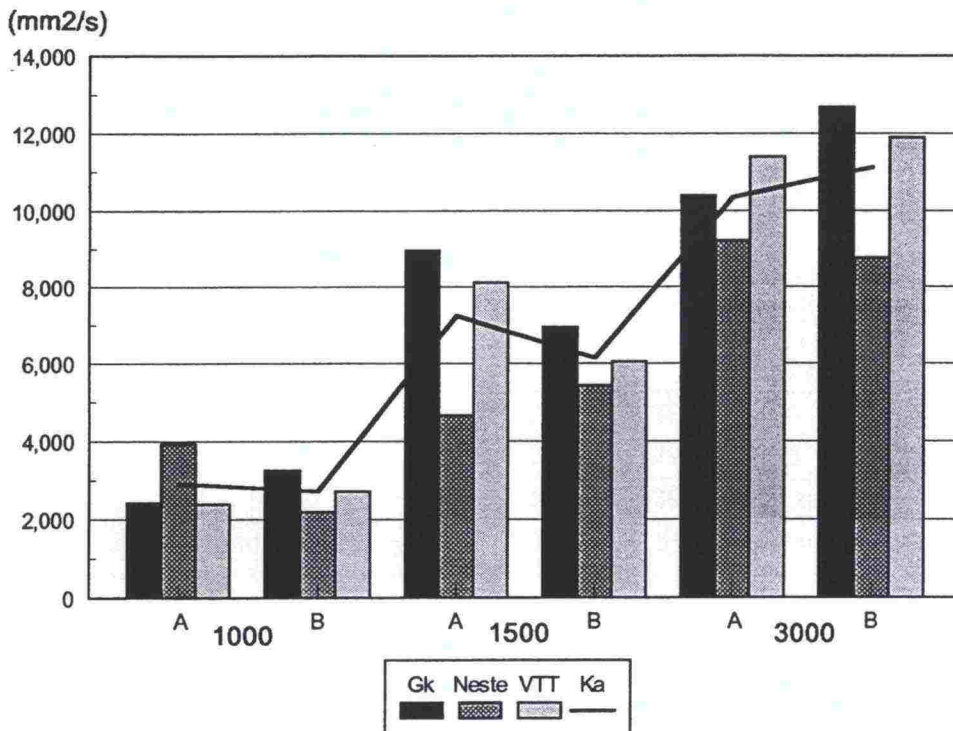
Menetelmän luotettavuuden arvioimiseksi tehtiin varsinaisen koesarjan lisäksi kolmesta tutkitusta päällystenäytteestä (A) rinnakkaiskokeet VTT:n laboratoriossa. Tämän lisäksi otettiin näiden kohteiden osalta vielä uudet näytteet (B), jotka tutkittiin kaikissa kolmessa laboratoriossa. Ensimmäiset näytteet oli otettu touko-kesäkuussa ja tutkittiin kesän aikana geokeskuksessa ja Nesteellä. Toiset näytteet otettiin lokakuussa ja tutkittiin marraskuussa. Kaikki VTT:n kokeet tehtiin marraskuussa.

Taulukko 3. Viskositeettitulokset rinnakkaiskokeista.

Kohde/ Sideaine /lkä	Näyte	SIDEAINEEN VISKOSITEETTI (mm ² /s) 1995					
		TIEL/ Gk	Neste Oy	VTT/ YKI	Keski- arvo	Suurin yksitt. tuloksen poikkeama keskiarvosta (mm ² /s) (%)	
Kumpula 1 000	A	2 430	3 940	2 390	2 920	1 020	35
	B	3 270	2 200	2 720	2 730	540	20
2 vuotta	keskiarvo	2 850	3 070	2 555			
	poikkeama ka:sta (%)	15	28	6			
Yläne 1 500	A	8 970	4 660	8 120	7 250	2 590	36
	B	6 950	5 430	6 060	6 150	800	13
3 vuotta	keskiarvo	7 960	5 045	7 090			
	poikkeama ka:sta (%)	13	8	15			
Kovero 3 000	A	10 400	9 240	11 400	10 300	1 100	11
	B	12 700	8 780	11 900	11 100	2 320	21
1 vuosi	keskiarvo	11 550	9 010	11 650			
	poikkeama ka:sta (%)	10	3	2			

Yhdessä laboratoriossa tehdyt rinnakkaismääritykset poikkeavat niiden keskiarvosta yleensä 2...15 %, jota voidaan pitää kohtuullisena tasona. Yhdessä tapauksessa poikkeama on jopa 28 %. Eri laboratorioissa tehdyissä rinnakkaismäärityksissä suurimmat yksittäisten tulosten poikkeamat niiden keskiarvosta on 10...36 %, vaikka menetelmä pyrittiin yhdenmukaistamaan. Tuloksia on havainnollistettu kuvassa 4.

Hajontoihin A-näytteiden osalta saattaa vaikuttaa se, että näytteet toimitettiin valmiiksi jaettuina kahteen osaan, joista VTT:n ja geokeskuksen tekemät määritykset on tehty samasta näytteestä. B-näytteet sen sijaan on jaettu kolmeen osaan yhdestä näytteestä. Näiden B-näytteiden osalta suurimmat yksittäisen mittaustuloksen poikkeamat niiden keskiarvosta ovat 13...21 %. Koska A- ja B-näytteet on toimitettu eri aikoina, ne tuskin on otettu täsmälleen samasta paikasta. Jos tätä menetelmää aiotaan käyttää tulevaisuudessa, kannattaa työvaiheet yhdenmukaistaa vielä täsmällisemmin ja näytteet jakaa tasaisesti vasta laboratoriossa. Tässä tutkimuksessa käytetyt yhdenmukaistukset on esitetty liitteessä 3.



Kuva 4. A- ja B-näytteiden viskositeettitulokset eri laboratorioissa sekä niiden keskiarvo.

3.1.2 Massaviskometrin tulokset

Massojen työstettävyyden arvioinnissa käytettiin edellisen vuoden tapaan massaviskometriä, jolla tutkittiin varastokasassa säilytettyjä massoja ennen niiden levitystä. Kokeet tehtiin VTT:n laitteella, joka on hieman pidemmälle kehitetty versio kuin TKK:n laite, jolla vuoden 1994 määritykset tehtiin. Tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia, sillä laitteita ei ole kalibroitu yhteen. Massaviskometri (kuva 5) on erikoislaitte, jota ei Suomessa ole muissa kuin em. päällystelaboratorioissa. Laitteen harvinaisuus asettaa rajoituksia sen laajemmalle käytölle. Työtä hankaloittaa myös massanäytteen suuri koko, noin 10 kg/koe.

Massaviskometrillä tutkittiin kuutta massaa, joiden levitettävyyttä selvitettiin myös Lapin piirin kenttäkokeessa 1995. Lisäksi mukana oli kolme varastokasamassaa, joissa oli sama kiviaines (Tupuri) ja sideaineen viskositeetti muuttujana. Tällä haluttiin selvittää, kuinka paljon koelaatuna ollut sideaine V1000 poikkeaa kahdesta muusta tutkitusta. Massojen vesipitoisuudet määritettiin veden vaikutuksen tutkimiseksi. Varastokasoista otettujen näytteiden vesipitoisuuksissa ei kuitenkaan ollut suuria eroja ainakaan enää kuljetuksen ja väliavarastointien jälkeen. Tulokset on esitetty taulukossa 4 kahden määrityksen keskiarvoina.

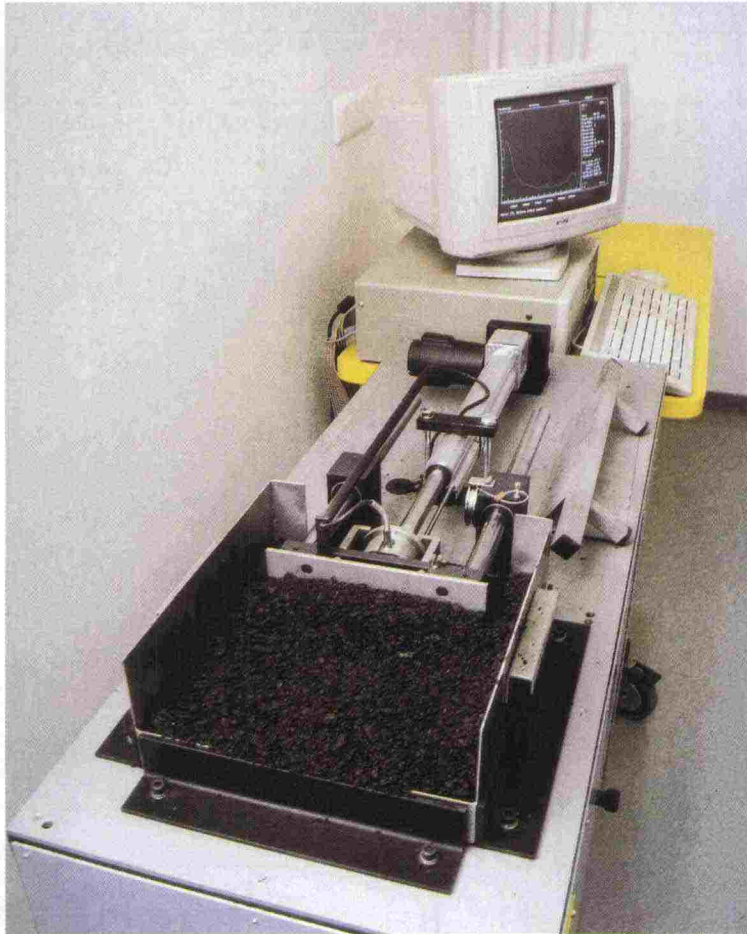
Taulukko 4. Massaviskometrillä mitatut vastusvoimat (N).

KIVIAINES			MASSA		MASSAVISKOMETRIKOEKKEESSA			
Nimi	Murto- pintaluku	Muoto- arvo	Side- aine	Valm. vuosi	Vastusvoima (N)			Vesipit. (%)
					10 °C	15 °C	20 °C	
Pirttikoski	49 / 19	2,19 / 1,57	BE3000	1 992	100	80	80	1,6
Orresokka	39 / 12	2,5 / 1,6	BE3000	1 993	120	70	50	-
Tupuri	49 / 21	2,21 / 1,4	BE3000	1 993	90	70	60	1,1
Niinimaa	39 / 19	2,45 / 1,55	V3000	1 994	120	110	80	2,4
Askan- kangas	63 / 10	2,13 / 1,47	BE3000	1 994	115	95	70	2,8
Orresokka	39 / 12	2,5 / 1,6	BE1500	1 993	80	65	40	-
Tupuri	49 / 21	2,21 / 1,4	BE1500	1 993	100	80	65	1,8
Homma- selkä	36 / 26	2,40 / 1,6	V1500	1 994	110	80	70	2,2
Tupuri	49 / 21	2,21 / 1,4	BE1000	1 993	60	55	35	1,5
Keskiarvot			3000		109	85	68	
			1500		97	75	58	
			1000		60	55	35	

Tutkituista massoista selkeästi erilainen oli Tupurin varastokasamassa, jonka sideaineena oli V1000. Tällä sideaineella tehtyjä massoja oli sarjassa mukana vain yksi. Massa oli kaikissa lämpötiloissa parhaiten työstettävää ja jopa 10 °C:ssa helpommin tai yhtä helposti työstettävää kuin muut vertailumassat 20 °C:ssa lukuun ottamatta Orresokan molempia massoja. Sideaineiden V1500 ja V3000 välille ei syntynyt yhtä selkeää eroa, joskin V1500 oli varsinkin korkeammassa lämpötiloissa hieman helpommin työstettävää.

Varastointiaika kasassa ei vaikuttanut työstettävyyteen. Massa säilyy varastokasassa jäykkyydeltään lähes muuttumattomana, sillä sideaine ei pääse ilman vaikutuksesta hapettumaan. Kiviaineksella osoitettiin olevan vaikutusta työstettävyyteen. Koska rakeisuuksissa ei eri massojen välillä ollut merkittävää eroa, vaikuttavat levitettävyyteen kiviaineksen raemuoto ja murtopintaluku. Tähän viittaa myös käytännön kokemuksista saatu havainto, että ongelmia yleensä ilmenee massoilla, joiden kiviaineksena on kalliomurske.

Aikaisempien tutkimusten mukaan useita vuosia varastokasassa säilytetyn öljysoran vastusvoima 20 °C:ssa on 50 N (TKK/1994).



Kuva 5. Massaviskometri.

3.1.3 Kiertotiivistimellä tehtyjen koekappaleiden ominaisuudet

Tutkimuksessa haluttiin selvittää, voidaanko työstettävyyden arvioimiseen käyttää tietoa, jota on massaviskometrikokeita helpommin saatavana. Yksinkertaisinta on, jos tarvittavat kokeet voidaan yhdistää muuhun ennakkotutkimukseen. Työstettävyyden arvioimiseen on käytettävissä kiertotiivistyslaitteen mittaustulokset ja mahdollisiin jatkokokeisiin koekappale silloin, kun esitutkimuksilla halutaan varmistaa oikea suhteitus. Tästä syystä analysoitiin koekappaleiden tiivistämisen yhteydessä kiertotiivistimellä saatavaa tietoa tarkemmin. Tarkoituksena oli arvioida työstettävyyttä leikkausvastuksen avulla. Selvitys laajennettiin koskemaan myös vuonna 1994 tehtyjä laboratoriomassoja.

Vuoden 1994 koekappaleiden tiivistystulosten analysointi

Leikkausvastukset on laskettu viiden tuloksen keskiarvoina. Taulukossa 5 on ilmoitettu sekä leikkausvoimien maksimien että 80 tiivistyskierroksen jälkeen luettujen arvojen keskiarvot.

MASSOJEN LEVITETTÄVYYS JA TYÖSTETTÄVYYS

Taulukko 5. Leikkausvastukset vuoden 1994 laboratorikokeissa.

Massanro	Sideaine	Lämpötila (°C)	Vesipit. (%)	Kiviaines	Leikkausvastus (kN/m ²)	
					80 kierr.	maksimi
2	3 000	40	4	Pyhtää	97	96
3	1 500	30	2	Pyhtää	93	97
23	3 000	50	4	Pyhtää	96	98
22	1 500	50	4	Yläne	98	100
4	1 500	30	4	Pyhtää	97	100
11	1 500	20	4	Yläne	99	101
24	3 000	50	2	Yläne	102	104
1	1 500	40	4	Pyhtää	103	104
21	1 500	50	4	Pyhtää	103	104
20	3 000	10	2	Yläne	103	105
9	1 500	20	2	Pyhtää	105	106
15	1 500	10	2	Pyhtää	106	107
10	1 500	20	4	Pyhtää	106	107
19	3 000	10	4	Pyhtää	107	108
12	3 000	20	2	Pyhtää	106	108
5	1 500	30	4	Yläne	104	108
8	3 000	30	2	Yläne	107	108
14	3 000	20	2	Yläne	107	108
16	1 500	10	4	Pyhtää	107	109
7	3 000	30	4	Pyhtää	108	109
17	1 500	10	4	Yläne	108	109
18	3 000	10	2	Pyhtää	109	109
6	3 000	30	2	Pyhtää	110	110
13	3 000	20	4	Pyhtää	111	112

Selkein vaikutus leikkausvastukseen oli tutkituista muuttujista sekoituslämpötilalla. Leikkausvastukset olivat pienempiä 40...50 °C lämpötiloissa kuin 10...30 °C:ssa. Tämän havainnon merkitystä on vaikea arvioida, koska koe-teillä ei massoja sekoitettu alle 40 °C:ssa. Muiden muuttujien vaikutus leikkausvastukseen ei ollut johdonmukainen.

Leikkausvastuksen käyttö työstettävyyden arvioimiseen ei saatujen tulosten perusteella ole mahdollista. Tutkituilla massoilla (24 kpl) leikkausvoimat vaihtelivat välillä 93...111 kN/m². Ero pienimmän ja suurimman arvon välillä oli 18 yksikköä eli noin 20 %. Menetelmän erottelukyky ei osoittautunut kovin hyväksi. Se heikkenee vielä tässä koesarjassa havaitusta, jos rinnakkaisia näytteitä tiivistetään vähemmän.

Menetelmän käytettävyyttä heikentää myös se, että työstettävyyteen kiistat- ta vaikuttavan muuttujan, sideaineen viskositeetin, vaikutusta ei pystytty ha- vaitsemaan. Tästä syystä jää myös kiviaineksen ja sen vesipitoisuuden vai- kutusten merkitys epäselväksi. Työstettävyyden arviointiin käytettävältä me- netelmältä edellytetään parempaa erottelukykä, mikä puoltaa massavisko- metrin käyttöä.

Vuoden 1995 koekappaleiden tiivistystulosten analysointi

Laboratoriotutkimuksia jatkettiin keväällä 1995 tiivistymis- ja vedenkestä- vyyskokeilla. Kiviaineksena kaikissa tutkimuksissa käytettiin Teiskon grano- dioriittia. Sideaineina olivat pehmeät bitumit V1000, V1500 ja V3000.

Kiertotiivistimen tulosten laskentaohjelmassa oletetaan, että vettä ei poistu näytteestä sen tiivistämisen aikana. Jos kiviaineksen vesipitoisuus on suuri, kuten tässä tutkimuksessa osassa näytteistä oli, poistuu vettä tiivistämisen aikana. Tällöin eivät tuoreiden koekappaleiden tiheydet ole todellisia, koska poistuneen veden aiheuttamaa massan pienenemistä ei ole otettu huomi- oon. Tästä syystä on tiivistymisen arvosteluun tässä käytetty kuivien koe- kappaleiden tiheyksiä. Taulukoissa 6 ja 7 on vertailun vuoksi esitetty koe- kappaleiden tiheydet sekä tuoreina että kuivina.

Taulukko 6. Kiertotiivistimellä tiivistettyjen koekappaleiden tiheydet (g/cm^3) kuivina.

SIDEAINE	TARTUKE	SEKOITUS 40 °C		SEKOITUS 60 °C	
		VESI 3%	VESI 5%	VESI 3%	VESI 5%
V1000	0,4 %	2,2	2,19	2,17	2,19
	0,8 %	2,22	2,21	2,26	2,24
V1500	0,4 %	2,17	2,18	2,18	2,2
	0,8 %	2,21	2,21	2,21	2,21
V3000	0,4 %	2,17	2,17	2,18	2,19
	0,8 %	2,18	2,18	2,19	2,22

Taulukko 7. Kiertotiivistimellä tiivistettyjen koekappaleiden tiheydet (g/cm^3) tuoreena ennen veden poistumista huokosista.

SIDEAINE	TARTUKE	SEKOITUS 40 °C		SEKOITUS 60 °C	
		VESI 3%	VESI 5%	VESI 3%	VESI 5%
V1000	0,4 %	2,27	2,29	2,24	2,29
	0,8 %	2,29	2,32	2,28	2,31
V1500	0,4 %	2,24	2,28	2,24	2,31
	0,8 %	2,27	2,31	2,27	2,32
V3000	0,4 %	2,23	2,28	2,24	2,3
	0,8 %	2,24	2,3	2,26	2,32

Tiivistymistä parantaa tutkituilla muuttujien arvoilla

- sekoituslämpötilan ja tiivistyslämpötilan kasvu
- tartukepitoisuuden kasvu
- kiviaineksen vesipitoisuuden kasvu
- sideaineen viskositeetin lasku varsinkin sekoituslämpötilan laskiessa.

Koekappaleet tiivistettiin kiertotiivistimellä, ja tiivistettäessä mitatut leikkausvastukset koottiin samalla tavoin kuin vuoden 1994 tiivistystuloksista. Leikkausvastus on ilmoitettu neljän koekappaleen tiivistystuloksen keskiarvona taulukossa 8.

Leikkausvastukset olivat huomattavasti suurempia kuin vuoden -94 mittaus-tuloksista kootut. Myöskään muuttujina olleiden sideaineen viskositeetin, lämpötilan ja vesi- tai tartukepitoisuuden vaikutukset eivät tulleet esille. Menetelmä ei saatujen kokemusten perusteella sovellu pehmeiden päällysteiden työstettävyyden arviointiin.

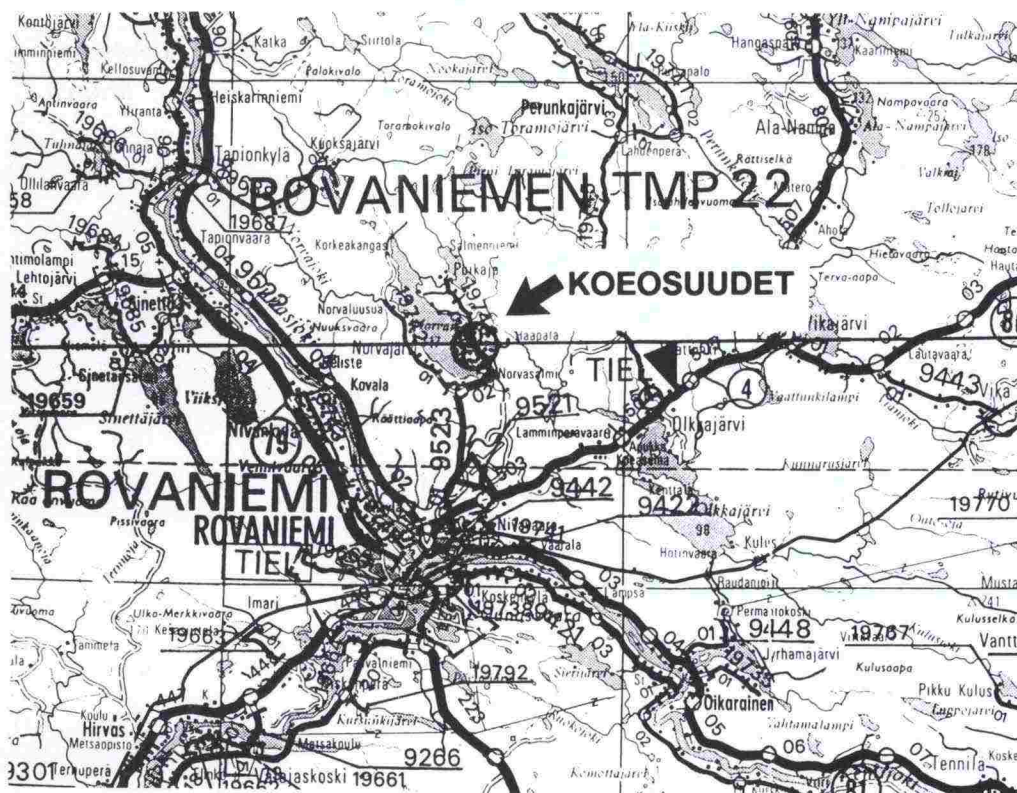
Taulukko 8. Leikkausvastukset laboratoriokeissa 1995.

Massa	Sideaine	Lämpötila (°C)	Tartuke (%)	Vesipit. (%)	Leikkausvastus 80 kierr. (kN/m ²)
19	1 500	60	0,8	3	102
23	3 000	60	0,8	3	106
3	1 000	40	0,8	3	110
5	1 500	40	0,4	3	111
21	3 000	60	0,4	3	111
9	3 000	40	0,4	3	113
7	1 500	40	0,8	3	115
20	1 500	60	0,8	5	116
24	3 000	60	0,8	5	117
4	1 000	40	0,8	5	118
1	1 000	40	0,4	3	119
2	1 000	40	0,4	5	119
17	1 500	60	0,4	3	121
15	1 000	60	0,8	3	122
22	3 000	60	0,4	5	125
16	1 000	60	0,8	5	126
8	1 500	40	0,8	5	127
6	1 500	40	0,4	5	128
11	3 000	40	0,8	3	133
13	1 000	60	0,4	3	133
18	1 500	60	0,4	5	133
12	3 000	40	0,8	5	134
10	3 000	40	0,4	5	139
14	1 000	60	0,4	5	141

3.2 Varastomassojen levitettävyysoikeilu pt 19742 Norvajärvi

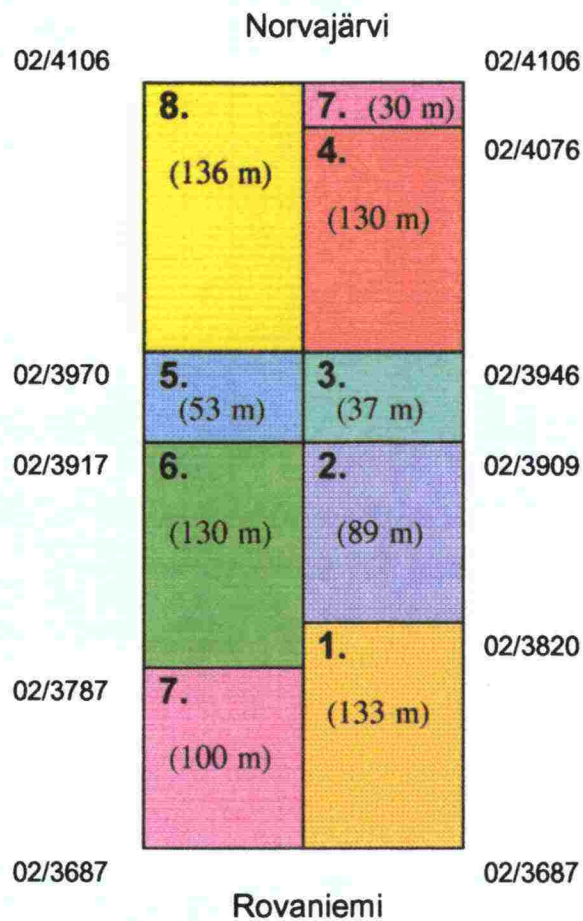
Varastokasassa 1-3 vuoden ajan säilytettyjen pehmeiden päällysteiden levitettävyyttä tutkittiin Lapin tiepiirissä 13.7.1995. Tarkoituksena oli levittää erilaisia varastokasamassoja samalla levittimellä yhden päivän aikana. Massat olivat osittain samoja, joiden levitettävyyttä oli tutkittu laboratoriossa massa-viskometrillä ja määritetty sideaineiden viskositeetit. Tutkimuksen tavoitteena oli paitsi saada käytännön kokemusta eri ikäisten ja kovuisten massojen käsiteltävyydestä myös selvittää laboratoriossa käytettävien menetelmien ja todellisuuden välisiä yhteyksiä sekä määrittää raja-arvot laboratoriokoe-tuloksille.

Koekohteeksi oli valittu Norvajärven pt 19744 (kuva 6). Taulukoissa 9 ja 10 on esitetty yhteenveto levitettyjen massojen ominaisuuksista, arvio niiden jäykkyydestä ja levitettävyydestä 13.7. saatujen kokemusten perusteella. Koeosuus sijainti Norvajärven tiellä on esitetty kuvassa 7.



Kuva 6. Norvajärven pt 19744.

Mt. 9523 Norvajärvi, Rovaniemen mlk



Nro	MASSA	KIVI- AINES
8.	OLLI-VIIRI/1995 PAB-V1500T08 3.6 %	SrM 0...16 mm
7.	NIINIMAA/1994 paikkausmassa PAB-V1500T10 5.0 %	SrM 0...10 mm
6.	KETTUHARJU 1994 PAB-V3000T08...10 3.40 %	SrM 0...16 mm
5.	HOMMASELKÄ 1994 PAB-V1500T08...10 3.40 %	SrM 0...18 mm
4.	PALOVAARA/1994 PAB-V1500T08 3.40 %	SrM 0...18 mm
3.	ORRESOKKA/1993 PAB-V1500T08 3.50 %	SrM 0...18 mm
2.	ORRESOKKA/1993 PAB-V3000T08 3.50 %	SrM 0...18 mm
1.	PIRTTIKOSKI/1992 PAB-V3000T06...16 3.55 %	SrM 0...18 mm

Levitysjärjestys 1, 2, 3, 4, 7, 6, 5 ja 8.

Kuva 7. Koeosuuksien sijainti Norvajärven tiellä.

Taulukko 9: Norvajärven tielle levitettyjen massojen ominaisuudet ja havaintoja niistä 13.7.1995.

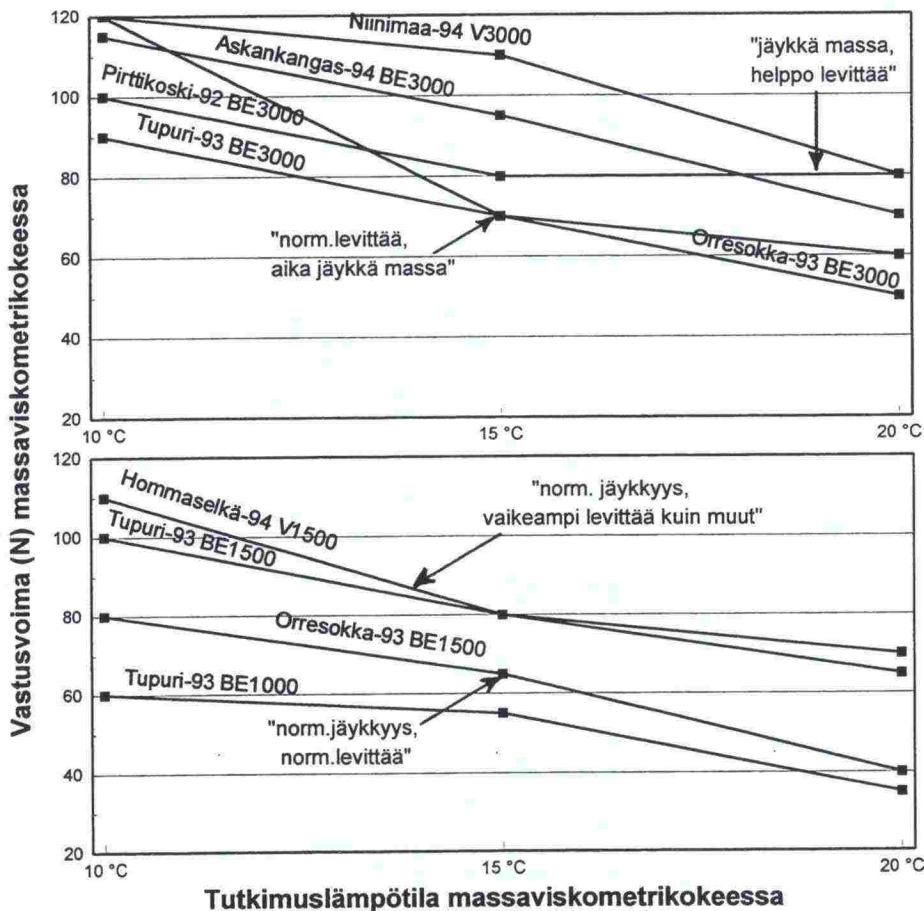
MASSA	NRO 1 PAB-V3000 T 0.6...1.6 %	NRO 2 PAB-V3000 T 0.8 %	NRO 3 PAB-V1500 T 0.8 %	NRO 4 PAB-V1500 T 0.8 %	NRO 5 PAB-V1500 T 0.8...1.0 %	NRO 6 PAB-V1500 T 0.8...1.0 %	NRO 7 PAB-V1500 T 1.0 %	NRO 8 PAB-V1500 T 0.8 %
Valmistettu: Paikka/vuosi/paikkakunta	Pirttikoski/-92/ Rovaniemen mlk	Orresokka/-93 Sodankylä	Orresokka/-93 Sodankylä	Palovaara/-94 Tornio	Hommaselkä/ 94/Salla	Kettuharju/94 Posio	Niinimaa/94 Salla	Olli-Viiri/10.7.95 Rovaniemen mlk
Sideainepitoisuus-%/ Max raekoko	3.55/ 18 mm	3.50/ 18 mm	3.50/ 18 mm	3.40/ 18 mm	3.40/ 18 mm	3.40/ 16 mm	5.00/ 10 mm	3.60/ 16 mm
Määrä t	40	30	30	30	39.3	30	35,2	41,65
Massan lämpötila + °C	19	15	15	16	14	16	20	32
Jäykkyys	Jäykkää	Aika jäykkää	Normaali	Normaali	Normaali	Normaali	Jäykkää	Normaali
Paakkuuntuneisuus	Noin puolet massasta paakkuista.	Ei paljon esiinny paakkuja.	Ei paljon esiinny paakkuja.	Ei esiinny paakkuja.	Vähän paakkuja/ pehmeitä.	Vähän paakkuja/ pehmeitä.	Paikkaus- massaa ! Paakkuista.	Ei esiinny paakkuja.
Levittämisen helppous/ vaikeus	Helppo levittää.	Normaalia	Normaalia.	Helppo levittää.	Vaikeampi levittää kuin muut.	Helppo levittää.	Hankala kipata.	Helppo levittää.
Pinta levityksen jälkeen	Paakkujen aiheuttamia repeämiä jonkin verran.	Ei paakkujen aiheuttamia repeämiä.	Ei paakkujen aiheuttamia repeämiä.	Ei paakkujen aiheuttamia repeämiä.	Ei paakkujen aiheuttamia repeämiä.	Hyvä. Ei paakkujen aiheuttamia repeämiä.	Paakkujen aiheuttamia repeämiä jonkin verran.	Hyvä. Ei paakkujen aiheuttamia repeämiä.
Jyrättävyys	Hyvä	Normaali	Normaali	Hyvä	Normaali	Normaali	Normaali	Hyvä
Päällysteen tasaisuus	Silmämääräisesti arvioituna tyydyttävä							
Tutkitut näytetulokset: Massan kosteus-% Sideainepitoisuus-%	2.55 3.76	0.93 3.34	2.27 3.54	0.76 3.30	3.72 3.47	2.92 3.66	4.23 4.61	2.19 3.90
Peittoaste	Hyvä	Huono	Huono	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Hyvä	Hyvä

Taulukko 10: Norvajärven tien levitettävyysoikeilu.

MASSA	NRO 1 PAB-V3000 T06...16	NRO 2 PAB-V3000 T08	NRO 3 PAB-V1500 T08	NRO 4 PAB-V1500T	NRO 5 PAB-V1500T	NRO 6 PAB-V1500 T	NRO 7 PAB-V1500T	NRO 8 PAB-V1500 T
MUUTA:	Levitysjärjestys 1. Levitysaika: klo 12.05-12.30 PLV oik. 3687 - 3820 => 133 m. Emulgoitu sideaine. Toinen kuorma jäykempää, nuppi lastattu ensin.	Levitysjärjestys 2. Levitysaika: klo 12.30-13.00 PLV oik. 3820 - 3909 => 89 m. Emulgoitu sideaine. Kuivempaa => ei niin elävää kuin massa nro 1.	Levitysjärjestys 3. Levitysaika: klo 13.00-13.10 PLV oik. 3909 - 3946 => 37 m. Emulgoitu sideaine. Kosteampaa kuin nro 2.	Levitysjärjestys 4. Levitysaika: klo 13.25-13.40 PLV oik. 3946 - 4076 => 130 m. Emulgoitu sideaine. Ei tule kunnolla levittimen tuuttiin (kasettikuljetus). Kuiva massa.	Levitysjärjestys 7. Levitysaika: klo 15.40-16.00 PLV vas. 3917 - 3970 => 53 m.	Levitysjärjestys 6. Levitysaika: klo 15.15-15.40 PLV vas. 3787 - 3917 => 130 m. Kuin vasta valmistettu massa. Tielaitoksen kasetti kipppaa.	Levitysjärjestys 5. Levitysaika: klo 13.50-15.15 PLV oik. 4076 - 4106 => 30 m ja vas. 3687 - 3787 => 100 m. Massa on paik- kausmassaa. Massan levitys oli hidadista kippauksen hankaluuden takia.	Levitysjärjestys 8. Levitysaika: klo 16.00-16.30 PLV vas. 3970 - 4106 => 136 m.
Koalue:	Mt 9523/02/3687 - 4106 => 419 m Norvajärvi, Rovaniemen mlk.							
Pvm:	13.7.1995 klo 12.05 - 16.30.							
Sää:	Sää pysyi aurinkoisena tunnin verran, mutta iltapäivä oli pilvinen ja vettä sateli vähän. Ilman lämpötila + 11 ... 17 °C.							
Työtä ja massoja arvioivat:	Clas Nyberg/Neste Oy, Kalevi Luiro, Matti Puhakka, Reijo Jääskö ja Ulla Juujärvi/Lapin tiepiiri sekä Esko Laitinen/Oulun tiepiiri							
Levityskalusto:	Levitin Bitelli BB53/14 t. Jyrä Aveling 3-valssijyrä/9 t. Levitysnopeus 6 m/min.							
Työvoima:	Urakoitsijalla oli levitystyössä 2 työnjohtajaa, 6 ammattimestä ja 1 liikenteenohjaaja.							
Huom !	Massat nrot 1, 2, 3 ja 4 ovat emulgoituja. Osa massoista tarttunut lavoihin , erityisesti nro 7. Puolipyreät lavat olisivat olleet parempia. Massat tuotiin kasettikuljetuksina => hankaluuksia kippauksen kanssa, ei mennyt kunnolla tuuttiin. Massamäärät ovat arvioita, koska kaikkia kuormia ei ole punnittu (punnitut kuormat nrot 5, 7 ja 8). Tavoitteena oli levittää 100 kg/m ² .							

3.3 Laboratoriotulosten ja kenttäkokemusten vertailu

Koska kaikkien kenttäkokeilussa mukana olleiden massojen levittäminen onnistui hyvin, ei selvää raja-arvoa löydy massan jäykkyyden määrittämiseen käytetyille tutkimusmenetelmille. Tämä antaa ainakin aiheutta uskoa, että varastomassojen levitettävyyden on enemmän kalustokysymys. Kenttäkokeissa massat, joiden lämpötila oli yli 14 °C, levitettiin 14 t levittimellä. Se on raskaampi kuin PAB-V -töissä yleensä käytetyt levittimet. Saatujen kokemusten mukaan massaa, jonka vastusvoima on 80 N, on vielä helppo levittää (kuva 8). Vuoden 1994 havaintoihin perustui arvio, jonka mukaan sideaineella V1500 tehtyjen massojen levitettävyydessä tulee ongelmia, kun ilman (ja massan) lämpötila laskee 10 °C:een tai sen alle. Käytännön kokemusten mukaan näin käy myös PAB-O -massojen levityksessä.



Kuva 8. Massaviskometritulosten ja kenttähavaintojen vertailu.

Massaviskometritulosten mukaan emulgoidut massat ovat helpompia levittää kuin emulgoimattomat, vaikka niiden sideaineen viskositeetit olivat tutkimushetkellä suunnilleen samalla tasolla. Sideaineen viskositeetti tutkimushetkellä vaikuttaa kokeessa mitattuun vastusvoimaan, samoin kiviaineksen raemuoto. Mitä pyöreämpi raemuoto kiviaineksella on, sitä helpompi massaa on levittää. Massaviskometrikokeiden mukaan levityslämpötilalla on

kuitenkin suurin vaikutus työstettävyyteen. Massan vesipitoisuuden vaikutusta työstettävyyteen ei voida arvioida tehtyjen kokeiden perusteella.

Massaviskometritulosten perusteella massan ikä ei vaikuta levitettävyyteen, mikä havaittiin myös kenttäkokeessa. Kenttäkokeessa sideaineen viskositeetti ei vaikuttanut levitettävyyteen käytetyllä levittimellä ainakaan sideaineilla V1500 ja V3000.

Norvajärven levitettävyysskokeen tulokset perustuvat vain silmämääräiseen arviointiin. Koetieltä mitattiin IRI-arvot, mutta koska koeosuudet ovat niin lyhyitä, eivät ne erotu tuloksissa. Massan paakkuisuuden aiheuttamaa epätaisaisuutta ei pystytä arvostelemaan IRI-tulosten perusteella pohjan epätasaisuuden takia.

4 MASSOJEN LUJUUS JA VEDENKESTÄVYYS

4.1 Laboratoriokokeet

4.1.1 Koejärjestely

Vedenkestävyyttä arvioitiin tässä selvityksessä tarttuvuuslukumäärittämisin. Menetelmä oli käytännöllinen, koska tiivistymistarkkailua varten tehtyjä koekappaleita voitiin käyttää halkaisuvetoluusmäärittämisissä. Jos suhteitusta ei tehdä, on esisuunnittelussa kätevämpää käyttää kenttälaboratorion tapaan MYR-koetta pehmeiden päällysteiden vedenkestävyyden arvioinnissa.

Tarttuvuusluku määritettiin kiertotiivistimellä valmistetuista koekappaleista. Halkaisuvetolujuudet määritettiin 7 vrk:n ikäisistä näytteistä. Koekappaleita säilytettiin aluksi viisi vuorokautta kuivana huoneenlämmössä. Tänä aikana kiviaineksessa ollut kosteus (3 % tai 5 %) sai haihtua kappaleista ja kaikkien koekappaleitten stabiliteetti kasvaa yhtäläisesti. Viiden vuorokauden jälkeen puolet koekappaleista asetettiin veteen siten, että koko kappale oli veden alla. Viimeisen vuorokauden aikana koekappaleet temperoitiin 5 °C lämpötilaan, jossa lujuudet määritettiin. Kuivina koestetut kappaleet temperoitiin kuivina ja märkinä koestetut vedessä. Lämpötilana käytettiin tarttuvuusluvun määrittäsohjeesta (PANK 4301) poiketen 5 °C, joka on vakiintunut pehmeiden päällysteiden halkaisuvetolujuuden määrittäslämpötilaksi.

4.1.2 Mittaustulokset

Tiivistymisen tarkkailua varten valmistettiin jokaisella tutkitulla muuttujien yhdistelmällä neljä rinnakkaista koekappaleetta. Näistä puolet koestettiin kuivina ja puolet märkinä, joten saadut halkaisuvetolujuudet ovat kahden mittaustuloksen keskiarvoja. Eri massojen lujuuksien vertailuun on käytetty kuivien koekappaleitten halkaisuvetolujuuksia.

Taulukko 11. Halkaisuvetolujuudet (5 °C, 7 vrk) ja tarttuvuusluvut, kun massan sekoituslämpötila on 40 °C.

Sideaine	Tartuke	HALKAISUVETOLUJUUS (kPa)				TARTTUVUUSLUKU (%)	
		VESI 3 %		VESI 5 %			
		kuiva	märkä	kuiva	märkä	VESI 3%	VESI 5%
V1000	0,4 %	89	79	79	75	89	95
	0,8 %	87	73	88	82	84	93
V1500	0,4 %	98	99	139	123	101	88
	0,8 %	138	136	159	151	99	95
V3000	0,4 %	199	146	252	235	73	93
	0,8 %	264	220	249	238	83	96

Taulukko 12. Halkaisuvetolujuudet (5 °C, 7 vrk) ja tarttuvuusluvut, kun massan sekoituslämpötila on 60 °C.

Sideaine	Tartuke	HALKAISUVETOLUJUUS (kPa)				TARTTUVUUSLUKU (%)	
		VESI 3 %		VESI 5 %			
		kuiva	märkä	kuiva	märkä	VESI 3%	VESI 5%
V1000	0,4 %	85	84	96	82	99	85
	0,8 %	89	84	91	104	94	114
V1500	0,4 %	163	155	163	150	95	92
	0,8 %	159	158	176	160	99	91
V3000	0,4 %	262	238	277	257	91	93
	0,8 %	264	256	277	263	97	95

4.2 Tulosten tarkastelu

4.2.1 Massan koostumuksen vaikutus lujuteen

Viikon ikäisenä koekappaleiden lujuuDET olivat öljysoraan verrattuina korkeita, kun sideaineena käytettiin V1500 tai V3000. Sideaineella V1000 saavutettiin alimmillaankin noin 80 kPa halkaisuvetolujuus. Alkustabiilitetti on pehmeillä päällysteillä riittävä myös pehmeimmällä sideaineella, eikä sekoituslämpötilan nosto tuoreen päällysteen vaurioitumisen välttämiseksi ole tarpeellista. Kuitenkin on muistettava, että lujuden kasvu on vähäistä, joten alkustabiilitetin olisi hyvä ollakin öljysoralla totuttua korkeampi.

Koemassojen lujuuksista havaitaan tulosten perusteella:

- Lujuus kasvaa tartukepitoisuuden kasvaessa etenkin alhaisissa sekoituslämpötiloissa ja sideaineen viskositeetin kasvaessa. Korkeammassa sekoituslämpötilassa ei tartukkeen lisäyksellä saada parempaa lujutta.
- Lujuus kasvaa sekoituslämpötilan noustessa etenkin sideaineilla V1500 ja V3000.

Käytetyllä kiviaineksella tartukepitoisuuden nousu 0,4 %:sta 0,8 %:iin kasvatti lujuuksia saman verran kuin sekoituslämpötilan nosto 40 °C:sta 60°C:een. Tulos perustuu vain yhdellä kiviaineksella saatuihin tuloksiin. Edellä mainittujen muuttujien vaikutusten suuruuksiin on vaikutusta myös kiviaineksella. Sopivan kombinaation valitseminen edellyttää ennakkokokeita käytettävillä materiaaleilla. Kun kiviaineksen muuttujille asettamat raja-arvot tunnetaan, voidaan päällysteen sekoituslämpötila ja sideaineen tartukepitoisuus valita kiviaineksen asettamissa rajoissa käytettävissä olevan kaluston mukaan kustannukset minimoiden.

4.2.2 Massan koostumuksen vaikutus vedenkestävyyteen

Tarttuvuusluvun perusteella vedenkestävyyksissä ei ollut suuria eroja ja erot ovat selitettävissä pelkästään rinnakkaisten koekappaleiden lujuuksien hajonnalla. Kaikki tarttuvuusluvut olivat PAB-V:lle annetun vaatimusrajan 60 % selvästi ylittäviä ja useimmilla massoilla vesisäilytys ei alentanut lujuuksia lainkaan.

Koemassojen tarttuvuuksista havaitaan tarttuvuuslukutulosten perusteella

- tartukepitoisuuksien vaihtelut eivät näkyneet tarttuvuuslukutuloksissa lainkaan, tartukkeen lisäys kasvatti yhtäläillä sekä kuivien että märkien kappaleitten lujuuksia
- massan vesipitoisuus sekoitettaessa ei vaikuta vedenkestävyyteen
- vedenkestävyys huononee sekoituslämpötilan laskiessa, kun massan vesipitoisuus on alhainen.

Havaitut erot ovat pieniä eivätkä anna riittävästi tietoa eri massojen käyttäytymisestä. Osittain tähän voi olla syynä menetelmän huono erottelukyky, kun kyseessä ovat hyvin pehmeät päällysteet. Altistus vedelle on lyhytaikainen, eikä vesi välttämättä pääse tunkeutumaan huokosiin niin tehokkaasti, että koko huokostila on veden täyttämä. Jos altistus vedelle ei ole tehokasta, jää vesisäilytyksen aiheuttama vaikutus lujuuteen vähäiseksi. Tähän viittaavat myös tulokset, joiden mukaan koekappaleen lujuus olisi kasvanut vesisäilytyksen aikana. Asfalttinormien 1995 mukainen tarttuvuuden vaatimusraja pehmeille päällysteille 60 % vaikuttaa liian alhaiselta näiden tutkimustulosten perusteella. Tosin näissä kokeissa tutkittiin vain yhdestä kiviaineksesta tehtyjä massoja.

Käytännön kokemukset osoittavat että kiviaineksen pinnan ominaisuudet, etenkin hienoaineksen määrä ja laatu, ovat keskeisessä asemassa vedenkestävyyden kannalta. Tässä tutkimuksessa selvitettiin massojen ominaisuuksia ainoastaan yhdellä kiviaineksella, joten nämä kiviaineksesta johtuvat erot eivät tule näkyviin.

5 TARTUKE- JA LÄMPÖTILAKOKEILU

5.1 Esitutkimukset

Kesällä 1995 Kaakkois-Suomen tiepiirissä tehdyllä PAB-V-kokeilulla haluttiin selvittää aiemmin laboratoriossa tutkittujen muuttujien, tartukepitoisuuden ja sekoituslämpötilan, vaikutuksia päällysteen ominaisuuksiin todellisissa olosuhteissa. Ennakkokokeina tehtiin kokeilukohteen kiviainekselle suhteitus ja selvitettiin käytettävän kiviaineksen vedenkestävyyttä kokeiltavien tartukepitoisuuksien määrittämiseksi.

Koekohteen kiviaineksena oli Virtasalmen SrM 0-16 mm. Sideaineena käytettiin pehmeää bitumia V1500, johon tartuke Raisamin DT lisättiin laboratoriossa.

Suhteitus tehtiin murskausaikaisen rakeisuuden keskiarvokäyrälle. Seuraavassa esitettyjen kiertotiivistyslaitteella määritettyjen tilavuussuhdetietojen perusteella sideainepitoisuutena suositeltiin käytettäväksi 3,3 %.

Tilavuussuhteet (%)	Sideainepitoisuus (%)		Ohjearvo (%)
	3,3	3,5	
KAT	20,1	20,4	18-23
TT	12,7	12,6	11-15
TA	36,8	38,4	32-38

Vedenkestävyyttä tutkittiin MYR-kokeilla ja tarttuvuuslukujen avulla. MYR-kokeita tehtiin optimisideainepitoisuudella kolmella sideaineen tartukepitoisuudella, ja massan sekoituslämpötiloja oli kaksi erilaista. Taulukossa 13 esitetyt MYR-tulokset ovat kahden kokeen keskiarvoja. Tarttuvuusluvut määritettiin samoille massoille, joista MYR-kokeet tehtiin lukuun ottamatta tartukkeettomia massoja. Halkaisuvetolujuudet on määritetty 7 vrk ikäisille koekappaleille 5 °C:ssa.

Taulukko 13. Vedenkestävyyskoetulokset eri tartukepitoisuuksilla.

Sek.lämpötila (°C)	Tartukepit. (%)	MYR-ARVO (g)	HVLkuiva (kPa)	HVLmärkeä (kPa)	Tarttuvuusluku (%)
40	0	8,7	-	-	-
	0,4	3,5	205	150	73
	0,8	0,8	247	227	92
60	0	8,8	-	-	-
	0,4	2,0	183	159	87
	0,8	0,2	238	227	95

Kiviaines osoittautui esikokeissa herkäksi tartukepitoisuuden vaihteluille, mutta eri sekoituslämpötiloilla ei ollut suurta vaikutusta vedenkestävyyteen. Tulosten perusteella koekohteessa ehdotettiin käytettäväksi sekoituslämpötiloina 30 ja 60 °C sekä tartukepitoisuuksina 0,2, 0,4 ja 0,8 %.

5.2 Koekohde pt 15283 Mataramäki

Koekohteena oli pt 15283 Mataramäki (kuva 9) Pieksämäen maalaiskunnassa. Työt aloitettiin 4.8. KaS-piirin normaalisti käyttämän tavan mukaan niin, että tartukepitoisuus on 0,6 % ja sekoituslämpötila 40 °C. Massa valmistettiin tiepiirin omalla MX-30 -asemalla, jossa on höyrylämmitin.



Kuva 9. Pt 15283 Mataramäki.

Varsinaisten koeosuuksien tekeminen aloitettiin 7.8. Osuuksia 1-2 varten oli varattu yksi säiliö sideainetta V1500 T08. Koeosuus 1, jossa tartukepitoisuus oli 0,8 % ja sekoituslämpötila 60 °C (T08/60 °C), tehtiin vasemmalle kaistalle plv 3030-2521 ja oikealle kaistalle plv 3205-2590.

Koeosuus 2 (T08/30 °C) tehtiin vasemmalle kaistalle plv 2521-2088 ja oikealle kaistalle plv 2590-2198. Noin pl 2585 kohdalla on liittymä kaatopaikalle, jonne viedään noin 30 000 asukkaan jätteet Pieksämäen suunnasta. Kaikkien muiden paitsi osuuden 1 osalle tulee siis kaatopaikalle suuntautuvaa liikennettä.

Koeosuuksia 3-4 varten oli varattu yksi säiliö sideainetta V1500 T04. Koeosuus 3 (T04/60 °C) tehtiin oikealle kaistalle plv 2198-1579 ja vasemmalle kaistalle plv 2088-1476. Koeosuus 4 (T04/30 °C) tehtiin oikealle kaistalle plv 1579-857 ja vasemmalle kaistalle plv 1476-835.

Koeosuuksia 5-6 varten oli varattu säiliöllinen sideainetta V1500, jossa tartuketta ei ollut lainkaan. Raisiolta oli tilattu nestemäistä diamiinitartuketta OLB, jota lisättiin sideaineseen niin, että sen tartukepitoisuudeksi saatiin 0,2 %. Sideainetta kierrätettiin sekoitusasemalla niin, että tartuke sekoittui siihen tasaisesti. Koeosuus 5 (T02/60 °C) tehtiin vasemmalle kaistalle plv 835-447 ja oikealle kaistalle plv 857-524. Koeosuus 6 (T02 / 30 °C) tehtiin vasemmalle

kaistalle plv 447-131 ja oikealle kaistalle plv 524-340. Loppuosuus ennen risteystä tehtiin vielä "normaalireseptillä" (T06 / 40 °C).

Kuvassa 10 on esitetty kaavio koeosuuksista ja kuvassa 11 valokuva jokaisen koeosuuden pinnasta.

Mt. 15283 Mataramäki, Pieksämäen mlk

01/4305

01/3030	1. (509 m)	1. (615 m)	01/3205
01/2521	2. (433 m)	2. (392 m)	01/2590
01/2088	3. (612 m)	3. (619 m)	01/2198
01/1476	4. (641 m)	4. (722 m)	01/1579
01/835	5. (388 m)	5. (333 m)	01/857
01/447	6. (316 m)	6. (184 m)	01/524
01/131			01/340
01/0			01/0

Pieksämäki

Nro	MASSA	LÄMPÖTILA
	KaS-piirin "normaali" PAB-V1500 TARTUKETTA 0,6 %	40 °C
1.	PAB-V1500 TARTUKETTA 0,8 %	60 °C
2.	PAB-V1500 TARTUKETTA 0,8 %	30 °C
3.	PAB-V1500 TARTUKETTA 0,4 %	60 °C
4.	PAB-V1500 TARTUKETTA 0,4 %	30 °C
5.	PAB-V1500 TARTUKETTA 0,2 %	60 °C
6.	PAB-V1500 TARTUKETTA 0,2 %	30 °C

Kuva 10. Koeosuuksien sijaintikaavio.

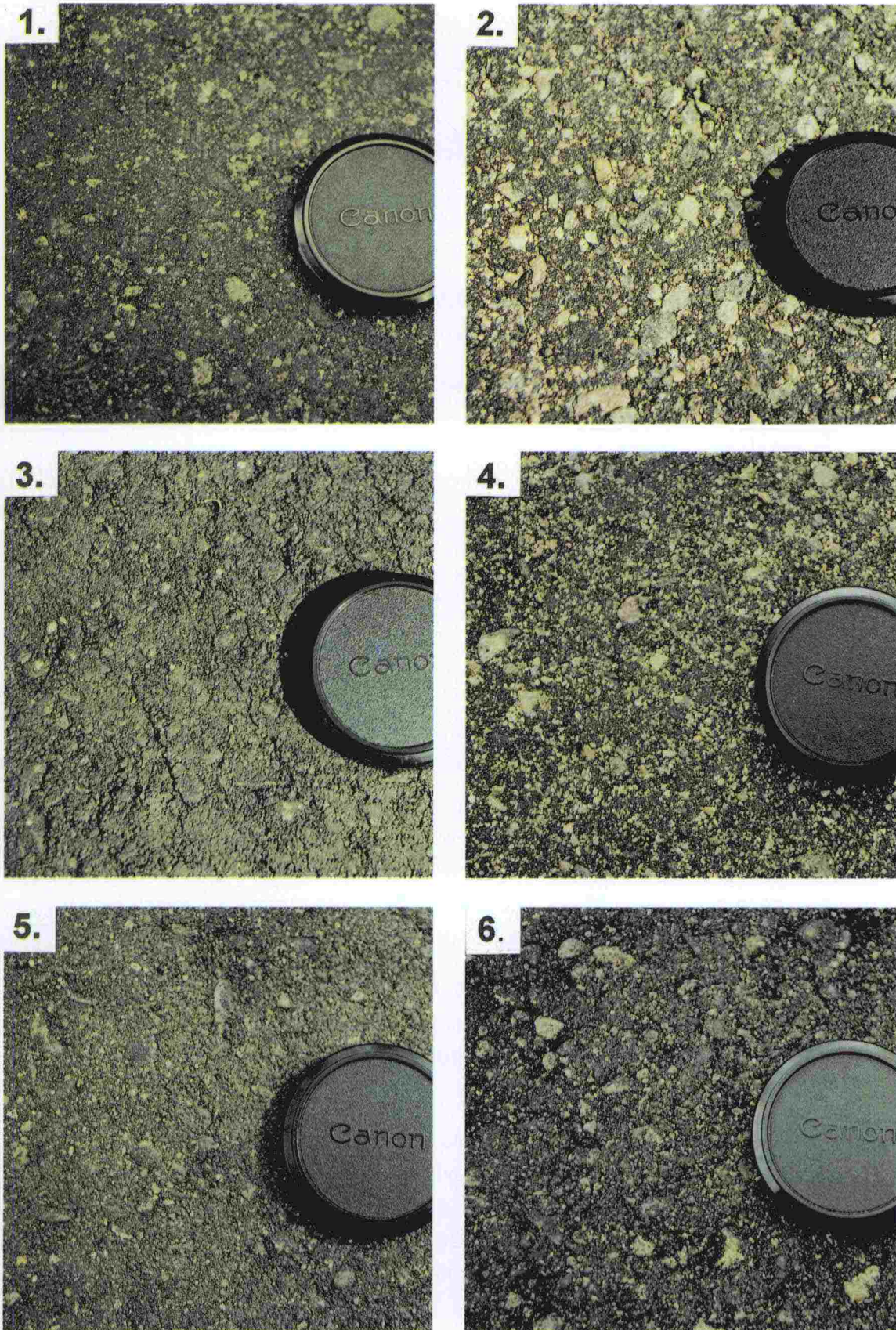
KOEOSUUS	YLEISILMEEN ARVIOINTI 29.9.95 *
Osuus KaS-piirin tavallisella reseptillä T06 / 40 °C	7
1. T08 / 60 °C Pinta näytti samanlaiselta kuin KaS-piirin normaalisti käyttämällä reseptillä T06 / 40 °C tehty pinta. Puhtaus jääneitä isoja kiviä oli jonkin verran, mutta ne olivat hyvin tiiviisti kiinni pinnassa mastiksin ympäröiminä. MYR-tulokset olivat 1,5 g ja 1,5 g.	8
2. T08 / 30 °C Pinta oli samalla tavalla kirjava kuin 1.osuudellakin, vaaleita kiviä oli enemmän. MYR-arvo oli 0,6 g.	5
3. T04 / 60 °C Massasta tuli aivan mustaa. Peittoaste on 100 %. MYR-arvot olivat 8,3 g ja 5,8 g.	9
4. T04 / 30 °C Pinta oli samalla tavalla kirjavaa kuin 2.osuudellakin. MYR-arvo oli 1,9 g.	5
5. T02 / 60 °C Massa oli heti levitettäessä ruskeaa, mutta muuttui melkein heti mustaksi. Peittoaste on 100 %. MYR-arvo oli 19 g.	9
6. T02 / 30 °C Massa oli vielä ruskeampaa kuin 5. osuuden massa, eikä se heti muuttunut mustaksi. Peittoaste oli noin 90 %. Ihan puhtaus jääneitä kiviä oli hiukan. MYR-arvo oli 8,9 g.	8

*) Lasse Nurhosen arvio asteikolla 4...10

3. ja 5. osuuksien MYR-arvot nousivat korkeiksi, vaikka juuri näiden massojen peittoasteet olivat 100 %. Sideaine näytti olevan hyvin ohuena kalvona kaikkien, myös isojen kivien pinnalla. Ilmeisesti tällöin MYR-kokeessa sideaine ja hienoaines irtoaa helpommin kuin niistä massoista, joissa sideaine on tiiviisti mastiksissa hienoaineksen kanssa jättäen isot kivet paljiksi.

Kun tartukepitoisuus oli suurin 0,8 %, sekoituslämpötilan nostaminen paransi massan peittoastetta ja huononsi MYR-arvoa. Kun tartukepitoisuus oli 0,4 %, lämpötilan nostaminen huononsi MYR-arvoa huomattavasti ja nosti peittoasteen 100 %:iin.

Suuremmalla tartukepitoisuudella (tällä kiviaineksella $\geq 0,6$ %) sideaine ja hienoaines toimivat samalla tavalla mastiksissa lämpötilasta riippumatta. Pienellä tartukepitoisuudella (tällä kiviaineksella $\leq 0,4$ %) lämpötilaa nostettaessa sideaine jakautuu tasaisemmin kiviainekseen, eikä mastiksi muodostu samalla tavalla kuin alhaisemmassa lämpötilassa.



Kuva 11. Koeosuudet 1-6.

Massa oli hyvin pehmeää, askelten kuvat painuivat jyräämättömälle pinnalle. Jyrä painoi 9 t ja oli ehkä hieman liian painava tälle pinnalle. Kun tartukepitoisuus oli 0,8 %, jyräys oli helpompaa. Kun tartukepitoisuus pieneni, niin etenkin 60 °C:ssa tehdyillä massoilla syntyi pintaan tien poikkisuuntaisia hiushalkeamia, mutta myös 30 °C:ssa niitä ilmeni jonkin verran.

Suhteitukseen lähetetyn rakeisuuskäyrän mukainen massan sideainepitoisuuden ohjearvo oli 3,3 %, jota käytettiin alussa. Massa näytti kovin kuivalta, ja koska massanäytteissä hienoaineksen (< 0,074 mm) läpäisyprosentti oli ennakkotietoa suurempi, nostettiin ohjepitoisuutta. Se oli 3,4 % koeosuudelta 3 alkaen.

Taulukossa 14 on esitetty massanäytteiden (7 kpl) tulokset ja liitteessä 4 ki-vaikeuden rakeisuus (murskausaikainen keskiarvokäyrä ja massanäytteiden keskiarvokäyrä). Jokaiselta osuudelta otettiin yksi massanäyte tieltä ja 1-2 asemanäytettä MYR-koetta varten kuormasta. MYR-kenttäkokeiden tulokset on esitetty taulukossa 15. MYR-kokeet tehtiin kentällä heti, noin tunnin kuluttua massan valmistuksesta. Jokaiselta koeosuudelta otettiin myös massanäyte, josta tehtiin MYR-koe 29.8. VTT:n laboratoriossa. Myös nämä tulokset on esitetty taulukossa 15.

Taulukko 14. Tieltä otettujen massanäytteiden tulokset.

päivä	paalu	koeosuus	sideainepitoisuus		vesipit. (%)
			ohje (%)	toteut. (%)	
4.8.	3985 vas.	norm. T06 / 40 °C	3,4	3,24	2,02
7.8.	2965 vas.	1. T08 / 60 °C	3,3	3,27	2,46
	2465 vas.	2. T08 / 30 °C	3,3	3,58	2,36
	2005 vas.	3. T04 / 60 °C	3,4	3,24	2,27
8.8.	1150 vas.	4. T04 / 30 °C	3,4	3,3	2,34
	795 vas.	5. T02 / 60 °C	3,4	3,59	2,59
	395 vas.	6. T02 / 30 °C	3,4	3,43	2,73

Taulukko 15. Tuoreiden ja kolmen viikon vanhojen massojen MYR-arvot.

Koemassa	MYR-arvo (g) kenttäkokeessa 7.-8.8.	MYR-arvo (g) laboratoriossa 29.8.
1. T08 / 60 °C	1,5 / 1,5	0,9
2. T08 / 30 °C	0,6	0,5
3. T04 / 60 °C	8,3 / 5,8	5,7
4. T04 / 30 °C	1,9	1
5. T02 / 60 °C	19	8,9
6. T02 / 30 °C	8,9	3,4

Kaikkien massojen MYR-arvot olivat parantuneet kolmen viikon säilytyksen aikana. Säilytys tapahtui suljetuissa astioissa. Oleellisesti MYR-arvo parani vain niiden kahden massan, joiden tartukepitoisuus oli 0,2 %, osalta. Se

osoittaa, että näin pienellä tartukepitoisuudella aktiivinen tartunta on huono, mutta passiivinen tartunta riittävä. Jälkeenpäin tehdyt MYR-kokeet osoittavat, että heti lämpimästä massastakin tehdyt MYR-kokeet antavat oikean suuruisen tuloksen, kun sideaineen tartukepitoisuus on 0,4...0,8 % ja massan lämpötila 30...60 °C.

Massan vesipitoisuus ei kasvanut sekoituslämpötilan mukaan, vaan kaikissa massanäytteissä se oli 2,02-2,73 %. Vesipitoisuudet määritettiin tieltä otetuista näytteistä. Niissä ei todennäköisesti enää näy massan todellinen kosteus sekoitettaessa, jonka kyllä oletetaan kasvavan turbon lämpötilaa nostettaessa.

5.3 Esitutkimusten ja kenttäkokeiden vertailu

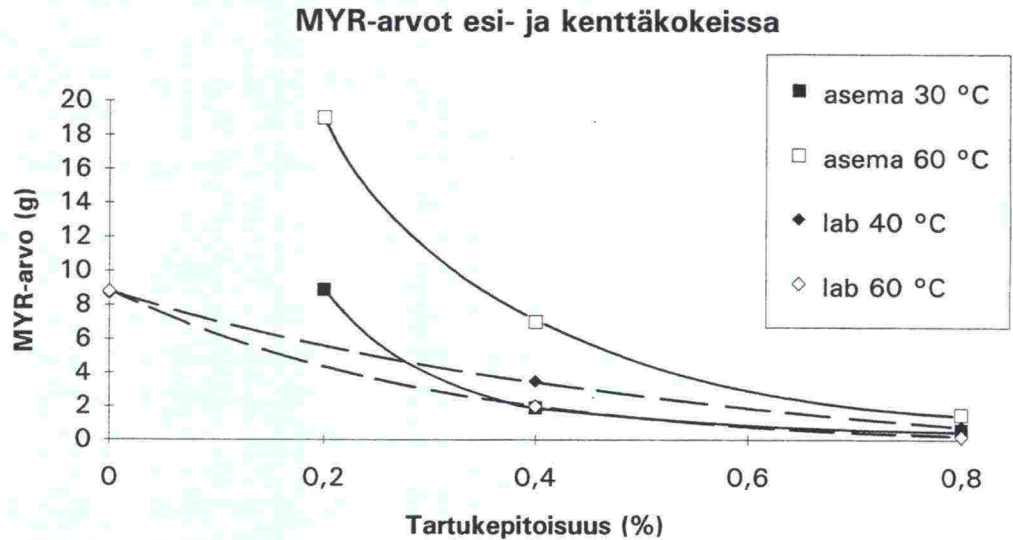
Ennakkoon tehdyissä MYR-kokeissa havaittiin koekohteen kiviaineksen reagoivan herkästi tartukepitoisuuden vaihteluille, mutta olevan lähes tunneton sekoituslämpötilan muutokselle MYR-arvojen oltua kuitenkin hieman parempia lämpötilaa nostettaessa. Näin tapahtui myös vuoden 1994 laboratorio-tutkimuksissa.

Kenttäkokeessa tartukepitoisuuden vaikutus MYR-arvoon oli odotettu. Kun tartukepitoisuus kasvoi, MYR-arvo parani. Kenttäkokeessa kuitenkin havaittiin myös sekoituslämpötilan vaikuttavan MYR-kokeen tulokseen, ja juuri päinvastaisella tavalla kuin odotettiin. Sekoituslämpötilan nostaminen huononsi MYR-arvoa (kuva 12).

Tähän syyksi on arveltu laboratorio- ja turboasemasekoituksen eroa. Laboratoriossa kiviaines lämmitetään uunissa, jonka jälkeen ennen sideaineen lisäämistä kiviainekseen sekoitetaan haluttu vesimäärä. Turbolämmityksessä sen sijaan vesi on läsnä myös kiviainesta lämmitettäessä. Höyrystä jäävä vesi tiivistyy kiviaineksen pintaan ja vaikuttaa tartuntaan. Tämän seikan vaikutusta ei ole aikaisemmin arvioitu ja sitä on syytä selvittää, jotta esikokeet saadaan kuvaamaan käytännön työtä mahdollisimman hyvin.

Kentällä turbosekoituksessa havaittiin myös peittoasteen parantuminen sekoituslämpötilaa nostettaessa, niin että se oli jopa 100 %. Esikokeissa laboratoriosekoituksessa ei sen sijaan saatu aikaan täysin peittynyttä massaa lainkaan. Tämä seikka liittyy todennäköisesti myös sekoitusmenetelmien eroavaisuuksiin.

Kenttäkokeessa 0,2 %:n tartukemäärä sekoitettiin sideaineeseen työmaalla, joten takuuta sen tasaisesta jakautumisesta sideaineeseen ei ole.



Kuva 12. Laboratorio- ja asemasekoituksessa saadut MYR-arvot eri tartukepitoisuuksilla ja eri lämpötiloissa.

6 PAB-V -PÄÄLLYSTEIDEN SUUNNITTELU

Saatujen kokemusten perusteella pehmeiden päällysteiden onnistumisen takaamiseksi esitutkimukset ensimmäistä kertaa käyttöön otettavilla materiaaleilla ovat suositeltavia. Etenkin vedenkestävyyden varmistaminen ennakkoon aina uutta reseptiä käytettäessä on tärkeää. Toinen lopputuloksen kannalta tärkeä seikka on massan homogeenisuus. Esitutkimusten tarkoituksena on varmistaa, ettei päällysteen kestoikä lyhene purkautumisen takia. Esitutkimuksina PAB-V-päällysteille soveltuvat seuraavat kokeet.

1. Sopivan sekoituslämpötilan ja tartukepitoisuuden määrittämiseksi tutkitaan vedenkestävyyttä MYR-kokeilla. Tartukepitoisuutta lisätään 0,4 %-yksikön ja sekoituslämpötilaa nostetaan 20 °C:n välein. MYR-kokeiden tuloksena saadaan selville, kuinka suuri vaikutus sekoituslämpötilalla ja tartukepitoisuudella on vedenkestävyyteen kyseisellä kiviaineksella. Koemassoista voidaan silmämääräisesti arvioida myös massan peittoastetta ja homogeenisuutta. Käytettävä lämpötila-tartuke-yhdistelmä valitaan tulosten perusteella ottaen huomioon lisäksi kaluston asettamat rajoitukset ja taloudellisuus.

2. Suhteitus tehdään tilavuussuhdetietojen perusteella. Jotta tulokset olisivat käyttökelpoisia, suhteitus on syytä tehdä samalla reseptillä, jota toteutuksessa aiotaan käyttää. Varsinkin sideaineen viskositeetin merkitys on ratkaiseva pyrittäessä asfalttinormien edellyttämiin sideaineen jäykkyyden mukaisiin optimitäyttöasteisiin. Samalla tarkistetaan, että KAT ja TT ovat ohjealueella. Jos kiviaineksen tyhjätila on alhainen, selvitetään, millä kiviaineksen vesipitoisuudella on vaara tuoreen päällysteen huokostilan ylitäytymisestä. Kiviaines kastellaan laboratorioskokeissa 3 % vesipitoisuuteen.

Useimmiten suhteituksen tekeminen ja vedenkestävyyden varmistaminen riittävät pehmeiden päällysteiden esisuunnitteluksi. Tarvittaessa voidaan lisäksi tutkia massan koossapysyvyyttä ja kiviaineksen mekaanista lujuutta halkaisuvetokokein. Lisäksi suositellaan kiviaineksen hienoaineksen laadun (ominaispinta-ala, veden adsorptio) tutkimista, kun käyttöön otetaan uusi kiviaines.

Tutkimustulosten perusteella on selvää, että massan käyttötarkoitus ohjaa sideaineen valintaa. Varastokasaan massaa tehtäessä on syytä käyttää sideaineena V1500. Tulosten perusteella näyttää myös siltä, että sideaineella V1500 tehdyt massat vastaavat ominaisuuksiltaan parhaiten PAB-O-massoja.

Tutkimustyö laboratoriomenetelmien ja kenttäolojen vastaavuudesta jatkuu. Tavoitteena on kehittää laboratoriosekoitusmenetelmä vastaamaan entistä paremmin (turbo)asemasekoitusta, jotta esikokeissa saadaan kaikissa oloissa luotettavia tuloksia.

Lämmitystekniikan valinta saattaa vaikuttaa massan ominaisuuksiin, mikä tulisi ottaa huomioon varastoon massaa valmistettaessa. Jos massa valmistetaan asfalttiasemalla, massan kuivuus saattaa aiheuttaa massan liiallisen kovettumisen. Massassa olevan kosteuden oletetaan nimittäin parantavan sen varastoitavuutta. Jos massa valmistetaan asfalttiasemalla, on se varmempaa levittää heti.

7 YHTEENVETO

Tässä tutkimuksessa selvitettiin emulgoimattomasta pehmeästä bitumista valmistettujen PAB-V -massojen käyttäytymistä ja ominaisuuksia massan valmistuksessa, varastoinnissa, työstettävyydessä ja levitettävyydessä. Tutkituista menetelmistä parhaiten PAB-V-päällysteiden tutkimiseen soveltuivat:

- kiertotiivistin => tilavuussuhdetiedot
- massaviskometri => työstettävyys
- MYR-koe => vedenkestävyys
- halkaisuvetokoe => lujuus

Esikokeiksi soveltuvat vedenkestävyyden tarkistaminen MYR-kokeella ja tilavuussuhdetietoihin perustuva suhteitus ja ne suositellaan tehtäväksi aina uusia materiaaleja käyttöön otettaessa. Tärkeää on tehdä esikokeet juuri sillä reseptillä, jota aiotaan käyttää. Sideaineen viskositeetti, tartukepitoisuus, massan vesipitoisuus ja sekoituslämpötila vaikuttavat tilavuussuhteisiin liitteessä 5 esitetyllä tavalla.

Massaviskometrikokeiden ja kenttäkokeilun avulla pyrittiin selvittämään massan työstettävyttä kuvaavan vastusvoiman raja-arvo varastomassoille. Kaikkien kenttäkokeessa mukana olleiden 1..3 vuoden ikäisten varastomassojen levitys onnistui käytetyllä levittimellä hyvin riippumatta massan sideaineesta (V1500/V3000) tai iästä. Siksi raja-arvoa massaviskometrikokeesta saatavalle vastusvoimalle ei löydetty. Kenttäkokeen tulokset viittaavat siihen, että työstettävyys ei ole ongelma, kun käytetään riittävän järeää kalustoa. Varastomassojen sideaineeksi on kuitenkin varmempaa valita V1500.

KaS-piirin kenttäkokeessa pyrittiin selvittämään tartukepitoisuuden ja sekoituslämpötilan vaikutusta massan ominaisuuksiin käytännössä. Kokeilu osoitti, että laboratoriossa käytetty massan valmistustekniikka ei vastaa todellisuutta ainakaan turboasemalla ja tutkitulla kiviaineksella. Kenttäkokeessa MYR-koe reagoi odotetusti tartukepitoisuuteen, mutta sekoituslämpötilaan eri tavalla kuin laboratorioskokeissa. Hyvän MYR-arvon ja hyvän peittoasteen vaikutus päällysteen kestävyteen selvinnee KaS-piirin koetieltä saatavista tuloksista.

Jatkotutkimuksissa ensisijaisena tavoitteena on löytää esitutkimuksiin mahdollisimman hyvin asemasekoitusta vastaava laboratoriomenetelmä, jotta esikokeilla saavutetaan suurin mahdollinen hyöty. Lisäksi tulisi selvittää, minkälainen on ongelmallinen kiviaines ja mitä sitä käytettäessä massan valmistuksessa, lähinnä turboasemasekoituksessa, on otettava huomioon. Idea siitä, että massan vesipitoisuutta nostamalla sen varastoitavuutta voitaisiin parantaa, jäi vielä kokeilematta. Levityskalustolle asetettavia vaatimuksia varastomassojen levityksessä ja asfalttiasemalla sekoitettavien varastomassojen levitettävänä säilymistä tullaan selvittämään kenttäkokeilla.

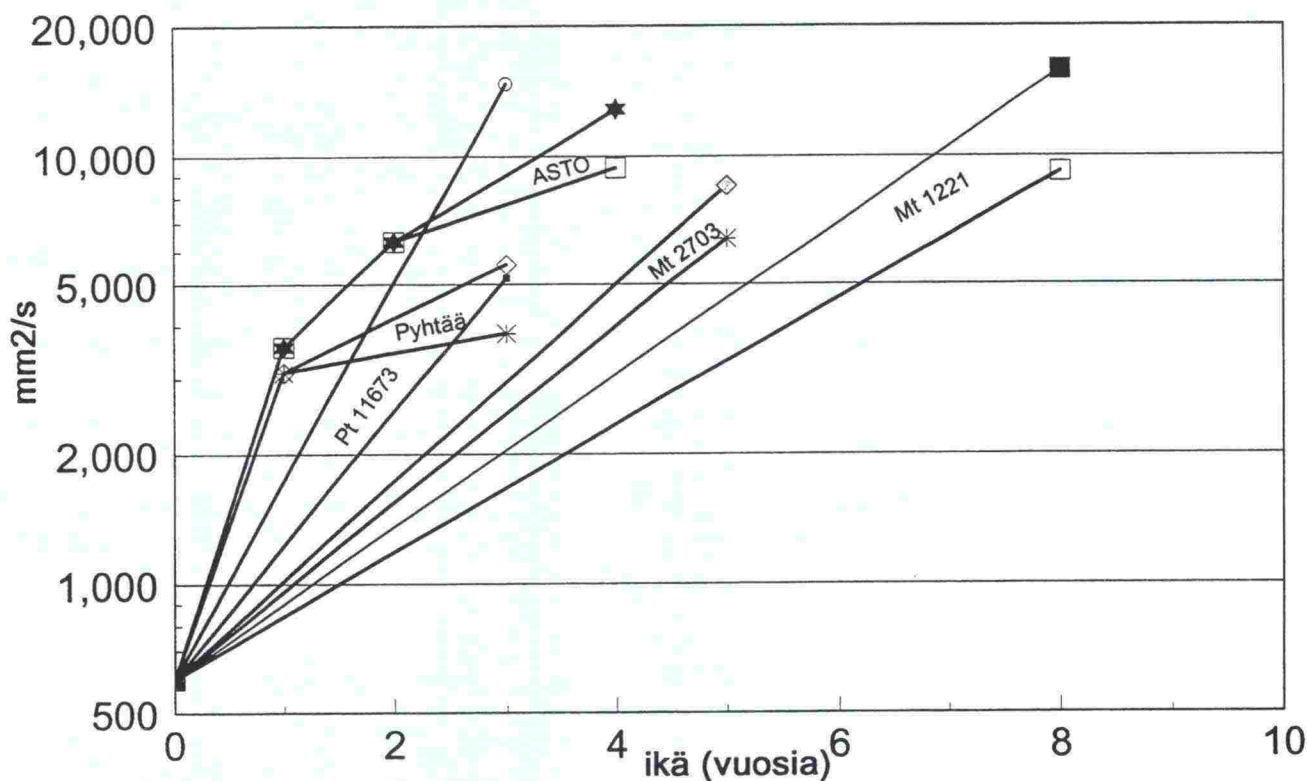
8 LIITTEET

1. Tietoja tutkituista päällyste- ja varastomassanäytteistä
2. Viskositeetin kehittyminen päällyste- ja varastomassanäytteissä
3. Uutoksissa käytetyt yhdenmukaistukset
4. KaS-piirin kokeilussa käytetyn kiviaineksen rakeisuuskäyrä
5. Tilavuussuhdetietoja koemassoista

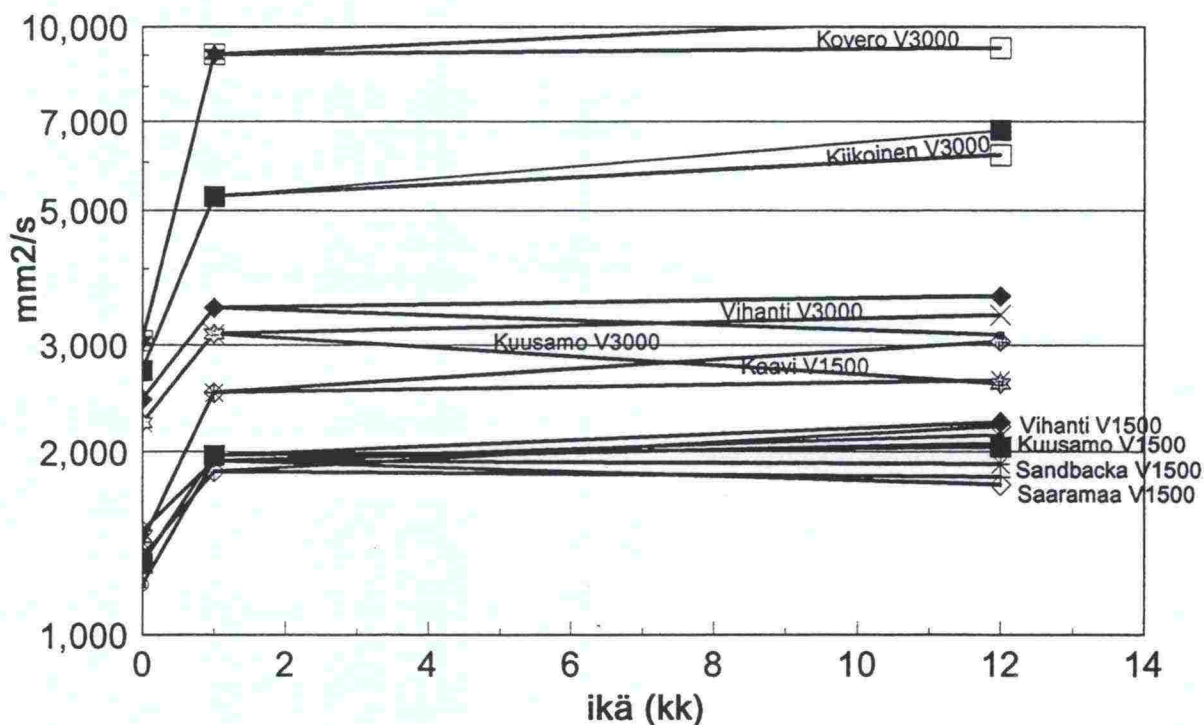
PÄÄLLYSTENÄYTTEET KOHDE	TIE- PIIRI	VALM. VUOSI	SEK. LÄMPÖ- TILA (C)	TAVOITE SIDEAINE- PIT. (%)	SIDEAINE	VISKOSI- TEETTI (mm2/s)	VISKO 1-2 kk (mm2/s)	VISKO 1v. (mm2/s)	VISKO 2v. (mm2/s)
Mt 1221 Vanha Porintie-Vihti, 5km vanhalta Porintieltä Vihdin suuntaan (peltoaukeama)	U	1 987	100		BÖ2 T				
Mt 2703 Sammi-Pyntäinen, Siikainen	T	1 990			BÖ2 T				
Mt 246 Harjavalta ASTO 1.2	T	1 991	14	3,4	BÖ2 T13	2 704		3 569	6 330
Mt 246 Harjavalta ASTO 1.7	T	1 991	19	noin 3,8	BE 3000	3 042		6 410	11 100
Mt 246 Harjavalta ASTO 1.8	T	1 991	21	noin 3,9	BE 6000	8 222			
Mt 246 Harjavalta ASTO 1.9	T	1 991	102	4,1	V 3000 T06				
Mt 246 Harjavalta ASTO 1.10	T	1 991	124	4,3	V 6000 T06	6 839			
Pt 11673 Haarajoki-Ohkola, Mäntsälä (Haarajoen päässä olevan koulun kohdalta)	U	1 992	100		BÖ2 T				
Pt 14535 Purola-Munapirtti, Pyhtää	KaS	1 992	20	3,6	BE 3000T	3 008		5 192	
Pt 14535 Purola-Munapirtti, Pyhtää	KaS	1 992	45	3,5	BÖ2 T			3 100	
Mt 210 Yläne -Virttaa, Yläne	T	1 992	45	3,5	BE 1500 T085	1 590		2 885	
Mt 210 Yläne -Virttaa, Yläne	T	1 992	45	3,5	BE 3000 T085	3 008		5 750	
Mt 852 Hyry-Ylikärppä (nro15), Kuivaniemi	O	1 993	27	3,4	BE 1000 T	884			
Mt 1835 Kumpula -Kemiö, Halikko	T	1 993	20	3,5	BE 1000 T	1 372			
Mt 247 Peipohja-Kiikoinen, Kiikoinen	T	1 994	66	3,7	V 3000 T06	2 720	5 270		
Pt 14687 Saaramaa , Anjalankoski	KaS	1 994	48	3,4	V 1500 T06	1 480	1 930		
Mt 5731 Kaavi -Sivakkavaara, Kaavi	SK	1 994	60	3,5	V 1500 T10	1 420	2 500		
Mt 6991 Kovero -Paavola, Lapua	V	1 994	40	3,5	V 3000 T08	3 050	9 020		
Pt 17965 Sandbacka -Såka, Kruunupyä	V	1 994	60	3,5	V 1500 T06	1 340	1 850		
Kt 88 Vihanti -Alpua, Vihanti	O	1 994	38	3,2	V 1500 T06	1 310	1 970		
Kt 88 Vihanti -Alpua, Vihanti	O	1 994	39	3,4	V 3000 T06	2 440	3 460		
Mt 8694 Viipusjärvi-Jyrkänkoski, Kuusamo	O	1 994	42	3,4	V 3000 T	2 236	3 130		
Mt 8694 Viipusjärvi-Jyrkänkoski, Kuusamo	O	1 994	60	3,4	V 1500 T06	1 210	1 930		

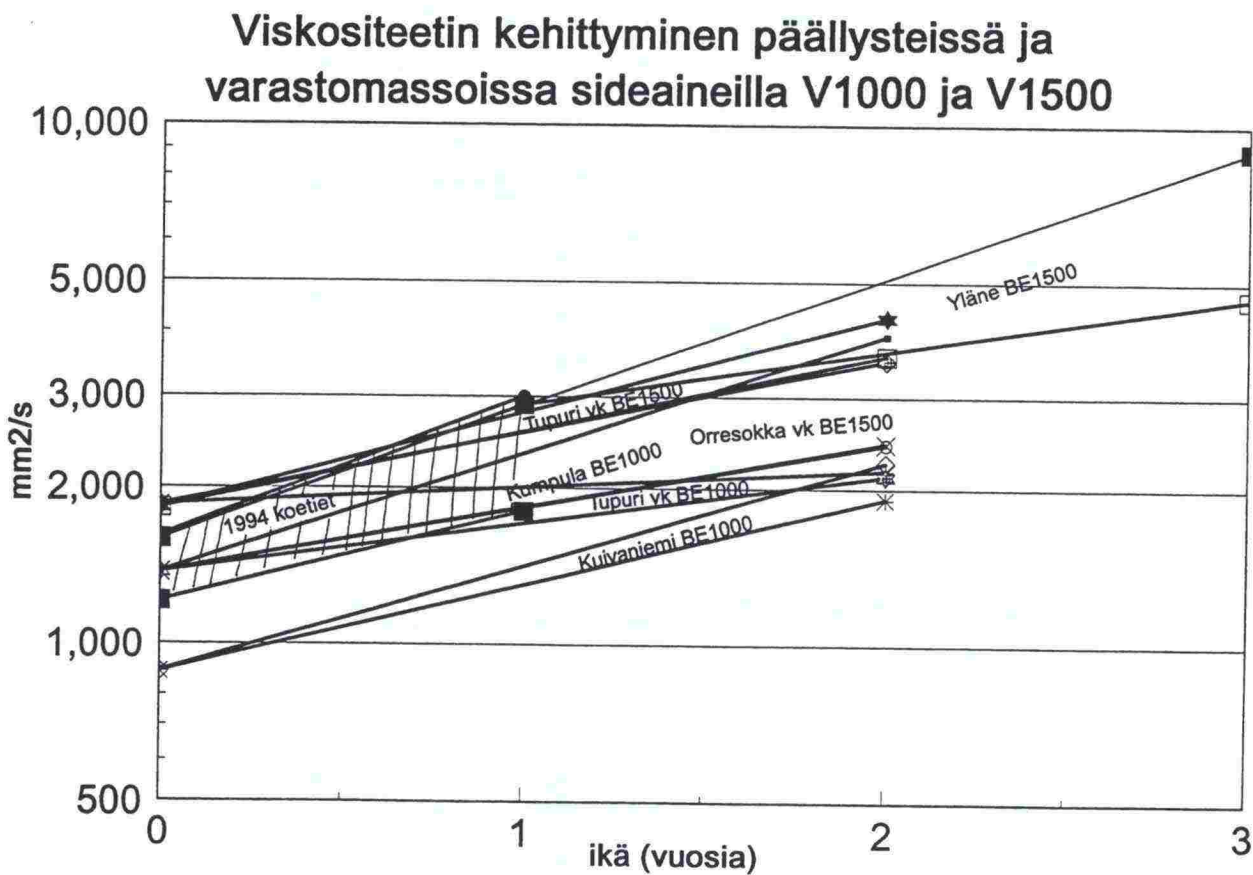
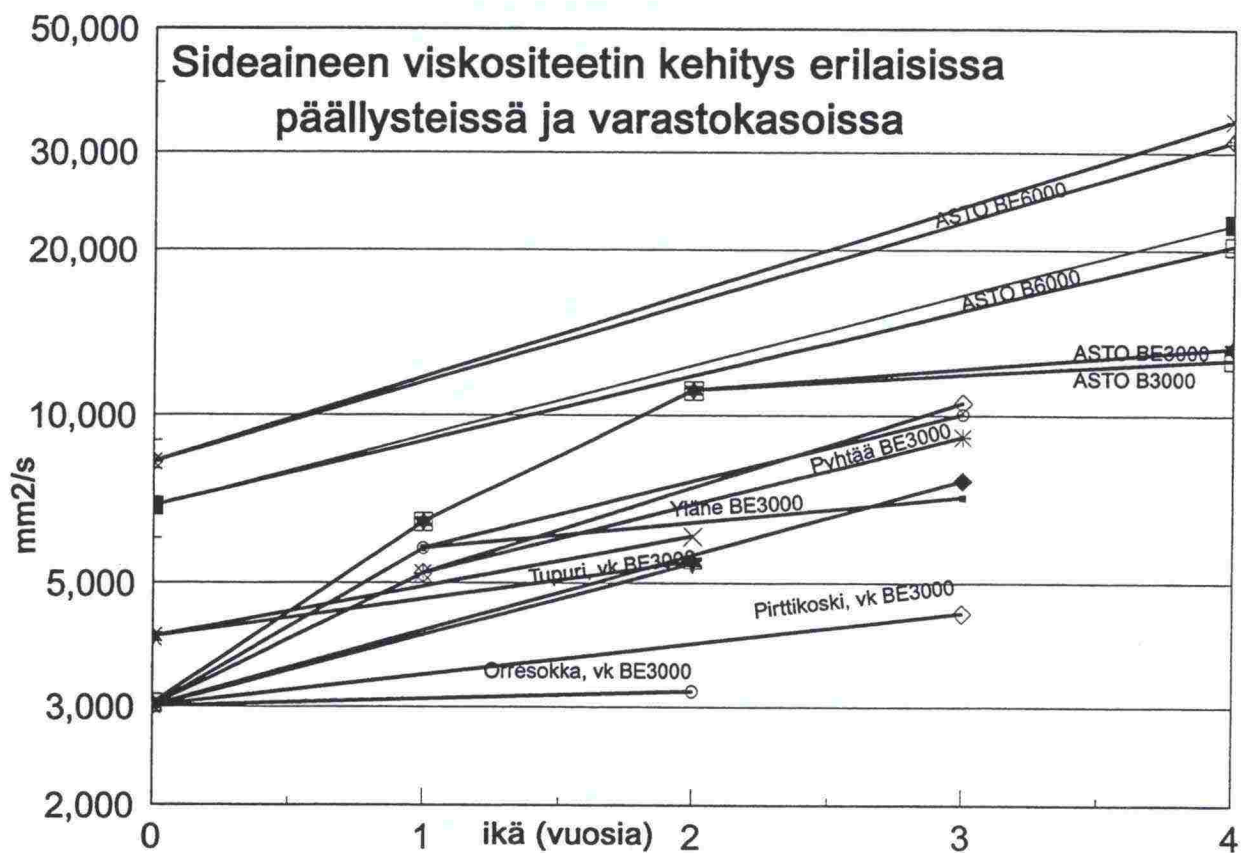
VARASTOKASAMASSANÄYTTEET KOHDE	PIIRI	VALM. VUOSI	SEK. LÄMPÖ- TILA (°C)	TAVOITE SIDEAINE- PIT. (%)	SIDEAINE	VISKOSI- TEETTI (mm ² /s)
Pirttikoski, Rovaniemi	L	1 992	20-30/ 40-50	3,6	BE 3000 T06..16	3 008
Orresokka, Sodankylä	L	1 993	52	3,4	BE 3000 T08	3 410
Orresokka, Sodankylä	L	1 993	50-58	3,4	BE 1500 T08	1 850
Tupuri, Salo	T	1 993	20		BE 3000	3 994
Tupuri, Salo	T	1 993	20		BE 1500	1 823
Tupuri, Salo	T	1 993	20		BE 1000	1 372
Palovaara, Tornio	L	1 994	50-60	3,4	BE 3000	2 940
Hommaselkä, Salla	L	1 994	50-60	3,4	V 1500 T08..10	1 610
Askankangas, Kemijärvi	L	1 994	50-60		BE 3000 T04	2 880
Niinimaa, Salla	L	1 994	50-60		V 3000 T10	2 830

BÖ2:n viskositeetin kehittyminen vuosina 1987, -90, -91 ja -92 tehdyissä PAB-O -päällysteissä



Sideaineen viskositeetin kehitys 1994-95 vuoden 1994 PAB-V -koeteillä





PEHMEÄN ASFALTTIBETONIN UUTOKSET 1995

Geokeskus, Neste Oy, VTT

1. Massaa ei kuivateta lämmittämällä. Se kuivatetaan huoneilmassa.
2. Liutinaine Tri+ liuottaa sideaineen noin tunnissa massanäytteestä.
3. Rotavapor /Lämpötilat, paineet ja ajat :

vaihe 1	125 °C	900-1000 mbar	1-2 h
vaihe 2	125 °C	158 mbar	5 min
vaihe 3	145 °C	26 mbar	10 min

Sideaineen viskositeetin, massan vesipitoisuuden, tartukepitoisuuden ja sekoituslämpötilan vaikutus tilavuussuhdetietoihin koemassoilla, joiden sideainepitoisuus oli 3,5 % ja kiviaines Teiskon granodioriitti.

Taulukko 1. Tilavuussuhteet, kun massa on sekoitettu +40 °C:ssa.

Sideaine	Vesipit. (%)	Tartukepit. (%)	TT (%)	KAT (%)	TA (%)
V1000	3	0,4	11,4	19,2	41,2
V1000	5	0,4	10,2	18,2	45,5
V1000	3	0,8	10,6	18,6	42,5
V1000	5	0,8	9,4	17,4	46
V1500	3	0,4	12,8	20,5	37,6
V1500	5	0,4	10,7	18,6	42,5
V1500	3	0,8	11,5	19,3	40,6
V1500	5	0,8	9,5	17,5	45,8
V3000	3	0,4	12,7	20,4	37,9
V3000	5	0,4	10,9	18,7	42,1
V3000	3	0,8	11,9	19,7	39,6
V3000	5	0,8	13,4	21,1	36,4

Taulukko 2. Tilavuussuhteet, kun massa on sekoitettu +60 °C:ssa.

Sideaine	Vesipit. (%)	Tartukepit. (%)	TT (%)	KAT (%)	TA (%)
V1000	3	0,4	12,5	20,2	38,2
V1000	5	0,4	10,3	18,2	43,7
V1000	3	0,8	10,9	18,7	42,1
V1000	5	0,8	9,5	17,5	45,8
V1500	3	0,4	12,2	20	38,8
V1500	5	0,4	9,5	17,5	45,7
V1500	3	0,8	11,3	19,2	40,9
V1500	5	0,8	9,3	17,3	46,4
V3000	3	0,4	12,3	20,1	38,7
V3000	5	0,4	9,9	17,9	44,6
V3000	3	0,8	11,7	19,5	40,1
V3000	5	0,8	9,1	17,1	47

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 56/1995 Talvi ja tieliikenne; Yhteenveto tutkimusohjelman julkaisuista. TIEL 3200332
- 57/1995 Road Traffic in Winter; Summary of publications in the research programme. TIEL 3200332E
- 58/1995 Kestävän kehityksen tierakenteet - Ideakilpailu. TIEL 3200333
- 59/1995 Laatukriteerien määrittäminen laatuvaaturakentamista varten. TIEL 3200334
- 60/1995 Tien rakenteellisten hidastimien vaikutus ajodynamiikkaan. TIEL 3200335
- 61/1995 Tie maaseudun mahdollisuuksiin. TIEL 3200336
- 62/1995 Soratien tasaisuustunnusluku. TIEL 3200337
- 63/1995 Riista-aitakokeilu valtatiellä 6. TIEL 3200339
- 64/1995 Pääväylät kaupunkialueella - Kaupunkikuvalliset lähtökohdat. TIEL 3200339
- 65/1995 Tiehankkeen suunnittelu- ja päätöksentekoprosessin analyysi: Valtatie 7 välillä Koskenkylä-Loviisa. TIEL 3200340
- 66/1995 Teknologian siirto; Bauma 1995 -messut. TIEL 3200341
- 67/1995 Teiden ja siltojen kaiteet; Tyypipiirustuskaiteiden muotoitumahdollisuudet ulkonäön ja turvallisuuden kannalta, kaiteiden ja melusteiden liittäminen penkereeltä sillalle. TIEL 3200343
- 68/1995 Mikkelin ohikulkutien vaikutusten jälkiseuranta. TIEL 3200344
- 69/1995 Asfalttimassan ominaisuuksien parantaminen lentotuhkalla. TIEL 3200345
- 70/1995 Suomalaisen päivittäiset toiminnot ja liikkumistarpeet. TIEL 3200246
- 71/1995 Liikennepoliittikkaa etsimässä. TIEL 3200347
- 72/1995 Tienrakennushankkeen suunnitelmien taloudellisuuden ohjaus. TIEL 3200348
- 73/1995 Polttoaineen hinta ja kotitalouksien autonkäyttö. TIEL 3200349
- 74/1995 Kunnittainen liikenne-ennuste 1995-2020. TIEL 3200350
- 75/1995 Teiden rakentamisen teknologian siirto ja innovaatiot, IV SPRINT Workshop
- 76/1995 Vt 3 väyläarkkitehtuuri. TIEL 3200351
- 77/1995 Liikenteen optimaalinen nopeus - onko sellaista? TIEL 3200352
- 78/1995 Liikennesektorin strateginen suunnittelu. TIEL 3200353
- 79/1995 Geotekniikan informaatiojulkaisuja: Tieleikkausten pohjatutkimukset. TIEL 3200354
- 80/1995 Liikennejärjestelmän yhteiskuntataloudellinen perusta; Tutkimusohjelma. TIEL 3200355
- 81/1995 Bitumiemulsion murtumisajan määrittäminen. TIEL 3200356