

# Tielaitoksen selvityksiä 49/1997

Laura Apilo, Katri Eskola

## PAB-V-päällysteiden suunnittelu

ISBN 951-726-396-1  
ISSN 0788-3722  
TIEL 3200497

Oy Edita Ab  
Helsinki 1998

Julkaisua myy:  
Tielaitos, Kirjasto  
telefax 0204 44 2652

Tielaitos  
TIEHALLINTO  
Tie- ja liikennetekniikka  
Opastinsilta 12 A  
PL 33  
00521 HELSINKI  
Puhelinvaihte 0204 44 150

## TIIVISTELMÄ

Tämä tutkimus on osa laajempaa vuonna 1994 aloitettua pehmeiden päällysteiden tutkimuskokonaisuutta. Hankkeen tarkoituksena on ollut öljysoran korvaaminen ympäristöystävällisemmällä pehmeillä päällysteillä. Tämä on edellyttänyt sideainevaihtoehtojen ja tuotantotekniikan kehittämistä. Lisäksi on haluttu kehittää pehmeiden päällysteiden suunnitteluvalmiuksia siten, että päällysteiden onnistuminen voidaan varmistaa ennakkoon. Tässä julkaisussa annetut suunnitteluohjeet perustuvat pehmeiden päällysteiden tutkimushankkeessa useiden vuosien aikana kerättyihin tuloksiin ja kokemuksiin.

PAB-V-päällysteiden laatuun ja kestoikään vaikuttavat eniten sideainepitoisuus ja vedenkestävyys. Pehmeät päällysteet sekoitetaan nykykäytännön mukaan yleensä lämpiminä, ja kuivaamaton kiviaines lämmitetään höyryllä. Kokemukset ovat osoittaneet, että tietyillä kiviaineksilla höyrykuumennus saattaa aiheuttaa vedenkestävyysongelmia pian päällysteen tekemisen jälkeen. Tutkimukseen on kerätty 27 PAB-kiviaineksen ominaisuudet ja verrattu niitä päällysteiden käyttäytymiseen.

Optimisideainepitoisuuteen vaikuttavat kiviainesrakeiden väliin jäävän tyhjätilan suuruus ja ominaispinta-ala. Tarvittava sideainepitoisuus kasvaa molempien edellä mainittujen suureiden funktiona. Pehmeiden päällysteiden optimisideainepitoisuuden määrittämiseksi käytettävän kiviaineksen hienoaineksesta < 0,063 mm tutkitaan tyhjätila (HKAT) ja ominaispinta-ala. Tyhjätilan suositusalue on 36 - 44 %. Lisäksi tulee tuntea kiviaineksen murskauskäyrä. Kiviaineksen tyhjätila (KAT) määritetään laskennallisesti, ja sen ohjealue on 16 - 21 %. Kun HKAT ja KAT täyttävät asetetut vaatimukset, saavutetaan sideainepitoisuuden optimi 42 - 45 % täyttöasteella.

Vedenkestävyyden varmistamiseksi lasketaan kiviaineksen hydrofiilisyyden, joka saadaan veden adsorption ja ominaispinta-alan suhteena. Jos hydrofiilisyyden on alle 5 mg/m<sup>2</sup>, ei päällysteen vedenkestävyydessä ole odotettavissa ongelmia. Korkeampi hydrofiilisyyden saattaa aiheuttaa ennenaikaista vaurioitumista. Vedenkestävyyden varmistamiseksi määritetään riittävä tartukepitoisuus ennakkoon MYR-kokeilla aina, kun hydrofiilisyyden on suurempi kuin 7 mg/m<sup>2</sup>.

PAB-V-massojen varastoitavuutta tutkittiin neljällä asemapaikalla vuonna 1997. Varastoon valmistettuja massoja levitettiin eri ikäisinä erilaisissa lämpötiloissa ja erilaisilla levittimillä. Työn onnistumista arvioitiin mittaamalla päällystyskohteiden IRI<sub>4</sub>-tasaisuudet. Tulosten perusteella laatuvaatimukset täyttävään IRI<sub>4</sub>-tasaisuuteen on erittäin vaikea päästä eikä kokonaisten kohteiden päällystämistä PAB-V-varastomassoilla voi pitää suositeltavana. Sen sijaan paikkauskäytössä ja REMO-lisämassana PAB-V1500-varastomassoista on saatu hyviä kokemuksia.

**Key words** soft asphalt pavement, soft bitumen, test roads

## ABSTRACT

This study belongs as part to an extensive research program concerning soft asphalt pavements which was started in 1994. The aim of this study has been to replace oil gravel with soft asphalt mixtures less harmful to the environment. In order to reach this aim binders and production of soft mixtures have been developed. Additionally it was desirable to develop design method for soft asphalt to be able to ensure pavement quality in advance. Design methods presented in this publication are based to results and experiences collected in soft pavement research project during several years.

The quality and service life of soft pavement is effected mostly by binder content and water resistance. Usually soft pavements are made from undried aggregate which is heated with steam. Based on field experiences the steam heating can cause reduction in water resistance soon after paving for some aggregates. In this research the properties of altogether 27 aggregates have been studied and compared to the pavement behaviour observed in the field.

The optimum binder content is influenced by voids in mineral aggregate (VMA) and specific surface area. Binder content needed increases with increasing of both of these factors. To determine the optimum binder content for soft asphalt pavements voids and specific surface area are investigated from aggregate fines (fraction < 0,063 mm). The voids in this fraction should be 36 - 44 %. Additionally the grading of mineral aggregate is to be known. The voids in mineral aggregate are calculated and they should be 16 - 21 %. Men recommendations given ahead are fulfilled the optimum binder content is reached with 42 - 45 % voids filled with binder.

To ensure the water resistance aggregate hydrophilicity is determined as ratio of water adsorption and specific surface area. If this ratio is below 5 mg/m<sup>2</sup> the water resistance is adequate. With increasing hydrophilicity value pavement service life can be decreased due to lack in water resistance. To determine a sufficient content of antistipping agent MYR-test is used for hydrophilicity values greater than 7 mg/m<sup>2</sup>.

The storability of soft asphalt mixtures was studied on field in 1997 by laying mixtures from stockpiles at different ages in different air temperatures and with different layers. The quality of new pavement was evaluated by measuring the roughness (RI4 value). Based on the results, it is very difficult to perform the quality requirements of new pavement evenness when laying soft asphalt mixtures from stockpiles. Because of that, it is not recommended to lay soft asphalt mixtures from stockpiles on bigger work sites. Instead of that, there are good experiences when using stored soft asphalt mixture in patching and as an additional mixture in the soft asphalt remixing method.

## ALKUSANAT

Tutkimuskokonaisuus pehmeiden päällysteiden ja niiden suunnittelu- ja laadunvarmistusmenetelmien kehittämiseksi on ollut käynnissä vuodesta 1994 alkaen. Tutkimusohjelmaan on kuulunut sekä laboratorio- että kenttäkokeita. Tähän julkaisuun on koottu pehmeiden päällysteiden kiviaineksista vuodesta 1994 alkaen tehtyjen hienoainestutkimusten tulokset ja laadittu niiden ja aiemmissa PAB-V-raporteissa esitettyjen tutkimustulosten perusteella suunnitteluohjeet pehmeille päällysteille. Tutkimustulosten perusteella on tarkennettu Asfalttinormeissa 1995 esitettyjä pehmeitä päällysteitä koskevia vaatimuksia. Muutokset on myös otettu huomioon Asfalttinormeihin vuonna 1998 ilmestyneessä lisälehdessä. Lisäksi julkaisussa on raportoitu vuonna 1997 tehtyjen PAB-V-varastokasamassojen levityskokeilujen tulokset.

Tutkimuksia on johtanut vuonna 1994 perustettu työryhmä, johon vuonna 1997 kuuluivat *Clas Nyberg* (Neste Oy), *Siv Schüller* (Neste Oy), *Kalevi Luiro* (TIEL/Lapin tiepiiri), *Esko Laitinen* (TIEL/Oulun tiepiiri), *Lasse Nurhonen* (TIEL/Kaakkois-Suomen tiepiin), *Raimo Ledentsä* (TIEL/Savo-Karjalan tiepiin), *Kalevi Toikkanen* (TIEL/Tie- ja liikennetekniikka), *Katri Eskola* (TIEL/Tie- ja liikennetekniikka), *Jarkko Valtonen* (TKK) ja *Laura Apilo* (VTT/Yhdyskuntatekniikka). Julkaisun ovat kirjoittaneet *Laura Apilo* ja *Katri Eskola*.

Helsingissä kesäkuussa 1998

*Tielaitos*  
*Tie- ja liikennetekniikka*

---

## SISÄLTÖ

1 JOHDANTO	9
2 KIVIAINESTEN HIENOAINESTUTKIMUKSET	10
2.1 Yleistä	10
2.2 Tutkimusmenetelmät	12
2.2.1 Ominaispinta-ala typpiadsorptiomenetelmällä	12
2.2.2 Vedenadsorptio	13
2.2.3 Mineraalikoostumus	13
2.2.4 Hienoaineksen tyhjätila	14
2.2.5 Rakeisuusmäärittäminen	15
2.2.6 Humuspitoisuus	15
2.3 Tutkimustulokset	15
2.4 PAB-V-päällysteiden suhteitus	17
2.4.1 Pehmeiden päällysteiden koostumus ja tilavuussuhteet	17
2.4.2 Puolianalyttinen suhteitusmenetelmä	19
2.4.3 Suhteitus tutkituilla kiviaineksilla puolianalyttisesti	20
2.5 Kiviaineksen ja suhteituksen vaikutus PAB-V-päällysteiden ominaisuuksiin	26
2.5.1 Kiviaineksen ominaisuuksien vaikutukset vedenkestävyyteen	26
2.5.2 Kiviaineksen ominaisuuksien vaikutukset päällysteen laatuun	27
3 PAB-V-PÄÄLLYSTEIDEN SUUNNITTELUOHJEITA	29
3.1 Hienoainessuosituksien	29
3.2 Suhteitus	30
3.3 Vedenkestävyys	31
4 VARASTOKASAMASSOJEN LEVITYSKOKEILUT	32
5 YHTEENVETO	37
6 KIRJALLISUUSVIITTEET	39
7 LIITTEET	39

---

## 1 JOHDANTO

PAB-V-päällysteiden suunnittelua ja laadunvarmistusta on tutkittu paljon 1990-luvun aikana. Tutkimukset käynnisti alunperin pyrkimys siirtää käyttämään öljysoran sijasta ympäristön kannalta parempia pehmeitä päällysteitä. Tämä edellytti tuotantotekniikan kehittämistä siten, että liuottimien lisääminen sideaineeseen korvataan joko kiviaineksen lämmityksellä tai sideaineen emulgoinnilla. Lämmitystekniikka höyrykuumennusta käyttäen on nopeasti yleistynyt pehmeiden päällysteiden valmistuksessa. Öljysoran käytöstä yleisten teiden päällysteenä on Suomessa luovuttu lähes kokonaan viime vuosien aikana.

Valmistusmenetelmien ja sideainevaihtoehtojen kehittämisen ohella on tutkimuksilla haluttu selvittää pehmeiden päällysteiden laatuun vaikuttavat materiaali- ja suhteitusominaisuudet. Pehmeiden päällysteiden suunnitteluun tai laadunvalvontaan ei ole käytettävissä erillisiä ohjeita, vaan päällyste-suunnittelu on tehty kokemusperäisesti öljysoralla hyväksi havaittuja käytäntöjä noudattaen. Ongelmia saattavat tällöin aiheuttaa esim. totutusta poikkeavat materiaalit. Varsinaisia epäonnistumisia on viime vuosina PAB-päällysteiden valmistuksessa kuitenkin tapahtunut melko harvoin. Suunnitteluohjeen puuttuminen on vaikeuttanut massanvalmistusta ongelmallisiksi osoittautuneilla materiaaleilla. Massan koostumuksen (sideainepitoisuus, tartukepitoisuus) ja sekoitusolojen (lämpötila, kosteus) vaikutuksia massan laatuun ei ole tunnettu, mikä on vaikeuttanut ongelmallisissa kohteissa parannuskeinojen valitsemista.

Kuivaamattomasta kiviaineksestä valmistettavien pehmeiden päällysteiden onnistumisen ja kestoajan kannalta keskeisiä seikkoja ovat sideainepitoisuus ja vedenkestävyys. Tutkimuksessa on selvitetty kiviaineksen ominaisuuksien ja valmistusolojen, kuten sekoituslämpötilan, vaikutuksia päällysteen ominaisuuksiin. Lisäksi on tutkittu PAB-V-varastomassojen levitettävyyttä ja työstettävyyttä.

PAB-tutkimusten tavoitteena vuonna 1997 oli suunnitteluohjeen laatiminen pehmeiden päällysteiden laadun varmistamiseksi. Kaikkien tämän tutkimushankkeen aikana tehtyjen laboratorio- ja kenttäkokeiden tulosten perusteella laadittiin lopuksi PAB-V-päällysteiden suunnitteluohje ja samalla tarkistettiin Asfalttinormeissa 1995 pehmeille päällysteille ja niiden raaka-aineille asetettuja vaatimuksia.

Mahdollisimman suuren aineiston kokoamiseksi kerättiin tähän tutkimukseen käytettävissä olevat tiedot kaikista vuodesta 1993 alkaen tehdyistä PAB-V-kiviaineskokeista. Pääosaa kiviaineksista on käytetty kokeilukohteissa (1993 emulsiopäällystekokeilut, 1994 pehmeän bitumin kokeilut, 1995 tartuke- ja lämpötilakokeilu ja 1996 höyrylämmitystutkimus). Kiviainesten käyttökohteet ja niistä tehtyjen päällysteiden tiedot on koottu liitteeseen 1.

Kokeilujen yhteydessä kiviainesominaisuudet on määritetty tavanomaista tarkemmin. Varsinainen kiviainesominaisuuksien ja massan laadun välisen Yhteyden tutkiminen käynnistyi vuonna 1996, kun höyrylämmitystutkimusta varten kartoitettiin viime vuosien ongelmallisia höyrylämmitystekniikalla toteutettuja kohteita /5/. Tiepiireihin tehdyn kyselyn tulosten perusteella valittiin tutkimukseen seitsemän kiviainesta, joilla päällysteen stabiilisuudessa tai vedenkestävyydessä oli todettu ongelmia Päällystystyön aikana ja joista kiviainesta oli vielä saatavilla. Samalla mietittiin hienoaineksen merkitystä ja vaikutusta ongelmien syntymiseen.

Keskimäärin vuosittain saattaa ilmetä yksi varsinainen ongelmakohde, jossa Päällyste vaurioituu niin pahoin, että se on seuraavana kesänä korjattava. Tutkimuksessa tarkasteltiin ongelmallisina myös niitä päällystyskohteita, joissa työnaikana havaittiin vaikeuksia vedenkestävyydessä tai massan stabiilisuudessa. Näissä kohteissa ongelma saatiin hallintaan massan koostumusta tai sekoituslämpötilaa muuttamalla tai uuden päällysteen hiekoituksella, mutta syy-yhteys toimenpiteiden ja massan käyttäytymisen välillä jäi epäselväksi. Todellisia vaikeuksia on PA13-V-päällysteillä ilmennyt ainoastaan silloin, kun olot ovat heikot vesisateen vuoksi. Toisaalta kuivalla säällä levitetty päällyste ei ole herkkä vaurioitumaan. Vaikka MYR-kokeella määritetty vedenkestävyys olisi huono, on päällyste onnistunut hyvissä sääoloissa.

Tässä tutkimuksessa tarkastelluista kiviaineksista on valmistettu PAB-V\_ päällysteitä kylmänä tai lämmitettynä höyrykuumennuksella. Mukana on myös muutama PAB-O-kohde. Tehdyt päätelmät ja annetut suunnitteluohjeet eivät siten koske kuumatekniikalla valmistettavia pehmeitä päällysteitä. Myöskään päällysteiden kestoikää ja tutkittujen ominaisuuksien vaikutusta siihen ei vielä pystytä arvioimaan. Muutaman vuoden ikäisinä kaikki päällysteet olivat vielä lähes yhtä hyvässä kunnossa.

## **2 KIVIAINESTEN HIENOAINESTUTKIMUKSET**

### **2.1 Yleistä**

Tällä tutkimuksella haluttiin selvittää kiviaineksen merkitystä pehmeän päällysteen ominaisuuksien, etenkin vedenkestävyyden ja suhteituksen kannalta. Käytännön ongelmia on joissain kohteissa ilmennyt päällystystyön aikana. Vaurioituminen voi tapahtua heti ensimmäisinä vuorokausina päällystämisen jälkeen tai myöhemmin talven jälkeen jäätyminen rasiitettua päällystettä. Työnaikaisiin ongelmiin on löydetty ratkaisu sideaine- tai tartukepitoisuutta tai sekoituslämpötilaa muuttamalla tai usein näiden toimenpiteiden yhteisvaikutuksena. Selkeää yhteyttä massan käyttäytymisen ja em. muutostoi-  
menpiteiden välillä ei tunneta.



Pääasiallisina syinä pehmeiden päällysteiden edellä kuvattuihin ongelmiin arveltiin tutkimusta käynnistettäessä olevan

### 1. Puutteellinen vedenkestävyys

- pieni tartukepitoisuus
- huono mekaaninen kiinnittyminen
- vesihakuisuus (hydrofiilisyyys)

### 2. Virheellinen suhteitus

- pieni sideainepitoisuus
- huokostilan ylitäytyminen

Koska pehmeät päällysteet valmistetaan kuivaamattomasta kiviaineksesta, määritettiin kiviaineksesta sen käyttäytymiselle veden kanssa keskeiset ja sen koostumusta kuvaavat tunnusluvut. Tutkittaviksi ominaisuuksiksi valittiin ominaispinta-ala, veden adsorptio, mineraalikoostumus, savilajitteen määrä sekä humuspitoisuus. Kiviaineksen ominaisuuksia on verrattu kenttälaboratorioissa määritettyihin MYR-kokeiden tuloksiin. Asfalttinormien 1995 mukaan saa PAB-V-päällysteen MYR-arvo olla enintään 3,0 g. Jos sideaine lisätään emulgoituna, on vastaava arvo 4,0 g.

Päällysteen käyttäytymisen kannalta keskeiseksi seikaksi on monissa työkohteissa arveltu päällystekiviaineksen hienoainesta; sen määrää ja laatua. Kiviaineksen ominaisuuksia on tässä tutkittu hienoaineksesta < 0,063 mm. Hienoaineksen merkitys korostuu PAB-V-päällysteillä, jotka sekoitetaan ilman kiviaineksen kuumentamista ja joissa massan sideainepitoisuus on alhainen. Mastiksilla on tärkeä merkitys päällysteen vedenkestävyyden ja koossapysymisen kannalta. Asfalttinormeissa 1995 on määritelty hienoainekselle laatuvaatimukset, jotka päällystekiviaineksen tulee täyttää. Nämä taulukon 1 mukaiset vaatimukset on asetettu lähinnä kuumasekoitteisia päällysteitä ajatellen. Tällä tutkimuksella haluttiin selvittää hienoainesvaatimusten soveltuvuus pehmeille päällysteille. Tulosten perusteella määriteltiin erikseen PAB-päällysteille hienoaineksen tutkimusmenetelmät vaatimusrajoineen.

*Taulukko 1. Hienoaineksen laatuvaatimukset Asfalttinormien 1995 mukaan.*

Ominaisuus	Yksikkö	Vaatus
Raekoko < 0,002 mm	massa-%	≤10
Tyhjätila	%	36-44
Vesipitoisuus	massa-%	< 0,6
Ominaispinta-ala	m <sup>2</sup> /kg	1000-5000

Vaikka Asfalttinormien hienoainesvaatimukset periaatteessa koskevatkin tällä hetkellä kaikkia Päällysteitä, ei hienoaineksen ominaisuuksia ole ollut tapana tutkia pehmeiden päällysteiden kiviaineksista. Kiviaineksista on yleensä tutkittu vain humus- ja lietepitoisuus ja joissakin tiepiireissä myös vedenadsorptio, Sideainepitoisuus on määritetty kokemusperäisesti ilman erillisiä tiivistyskokeita. Vedenkestävyyttäkin ei määritetä yleensä ennakoon, mutta työnaikaisessa laadunvalvonnassa on tehty MYR-kokeita päällysteiden vedenkestävyyden selvittämiseksi.

PAB-V-päällysteiden suunnittelua haluttiin tarkentaa siten, että sekä suhteitus että vedenkestävyys pystytään määrittämään materiaaliominaisuuksien Perusteella mahdollisimman vähäisin laboratoriotutkimuksin. Yksinkertaiset esitutkimusmenetelmät tekevät mahdolliseksi vakiinnuttaa suunnittelukäytäntö myös pehmeille päällysteille. Suhteitusta varten selvitettiin hienoaineksen tyhjätilat.

Tässä tutkimuksessa on tarkasteltu yhteensä 27 kiviaineksen hienoainesominaisuuksia. Näitä kiviaineksia on käytetty vuosina 1993-96 kiviaineksina pääosin pehmeiden Päällysteiden koeteillä eri puolilla Suomea, joten kiviainestietojen lisäksi on saatu kokemusta myös päällysteiden käyttäytymisestä. Kiviaineksista seitsemällä on todettu tiepiireihin vuonna 1996 tehdyn kyselyn mukaan työnaikaisia ongelmia. Muiden kiviainesten on katsottu edustavan tavanomaisia pehmeiden päällysteiden kiviaineksia, joilla lopputulos on ollut onnistunut. Koska hienoainesta ei yleensä tutkita, valittiin tutkimukseen mukaan ne kiviainekset, joista määritykset oli vuoden 1993 jälkeen tehty. Tähän raporttiin on koottu saatavilla olleet hienoainestutkimusten tulokset. Lisäksi osasta koemassoja on määritetty tarttuvuusarvo MYR-kokeella. Aineiston perusteella on tarkasteltu kiviainesominaisuuksien vaikutusta tarvittavaan sideaineen määrään ja päällysteen vedenkestävyyteen ja asetettu hienoaineksen ominaisuuksille vaatimusrajat.

## **2.2 Tutkimusmenetelmät**

### **2.2.1 Ominaispinta-ala typpiadsorptiomenetelmällä**

Ominaispinta-ala määritellään kivirakeen ulkopinnan alana massayksikköä kohden, ja sen yksikkönä käytetään m<sup>2</sup>/g. Ominaispinta-alaan vaikuttavat kiviaineksen rakeisuus, rakeiden muoto ja niiden pinnan ominaisuudet. Ominaispinta-ala kasvattaa voimakkaasti rakeiden suuri mikrokarkeus. Hienoaineksen ominaispinta-alaan vaikuttavat sekä rakeiden pintarakenne että hienoaineksen rakeisuus. Jos hienoaineksen ominaispinta-ala on hyvin suuri, hienoaines sisältää todennäköisesti runsaasti siltti- ja savifraktioita. Ominaispinta-alalla on merkitystä tarttuvuuden, optimisideainepitoisuuden ja massan sekoittuvuuden kannalta /9/.

Kiviainesrakeiden pintojen alaa voidaan mitata erilaisilla adsorptiomenetelmillä. Tässä tutkimuksessa käytettiin typpiadsorptiomenetelmää (PANK-2401), jossa rakeiden pinnoille kiinnittyneen typpikaasun määrän avulla saadaan ominaispinta-ala laskettua /7/. Tuloksena saadaan massayksikköä kohden laskettu rakeiden yhteispinta-ala.

### 2.2.2 Vedenadsorptio

Vedenadsorptio määritetään, jotta kiviaineksen hydrofiilisyyttä voidaan arvioida. Hydrofiilisyydellä tarkoitetaan kivirakeen kykyä adsorboida eli kiinnittää fysikaalisesti pinnalleen vesimolekyylejä. Hydrofiilinen eli vesihakuinen materiaali kostuu helpommin vedellä kuin öljyllä. Kiviaineksen adsorptiokykyyn vaikuttavat ainakin rakeisuus ja ominaispinta-ala. Vedenadsorptiokyky ilmoitetaan vedenadsorptiolukuna (%) tai kiviainekseen sitoutuneen veden määränä (mgH<sub>2</sub>O/g).

Adsorptiokokeet tehdään menetelmän PANK-2108 mukaisesti säilyttämällä kiviainenäytettä avoimessa lasimaljassa eksikkaattonssa 100 % suhteellisessa kosteudessa, jotta adsorboituva vesimäärä olisi mahdollisimman suuri ja mittausten suhteellinen virhe pieni. Koe tehdään yleensä hienoainenäytteelle, jonka kuivapaino on määritetty kuivaamalla se uunissa. Kokeen tuloksena määritetään vedenadsorptioluku, jolla tarkoitetaan tietyssä ajassa näytteeseen adsorboituneen veden määrää painoprosentteina näytteen kuivapainosta ilmaistuna. Kiviainenäytteitä säilytetään eksikkaattorissa niin kauan, että rakeiden pinnoille ei enää adsorboidu lisää kosteutta /7/.

### 2.2.3 Mineraalikoostumus

Kivet koostuvat mineraaleista, jotka ovat useiden alkuaineiden yhdisteitä. Mineraalikoostumuksella tarkoitetaan kiviaineksen muodostavien mineraalien suhteellisia osuuksia. Yksittäisessä kiviainesrakeessa on yleensä useita eri mineraaleja.

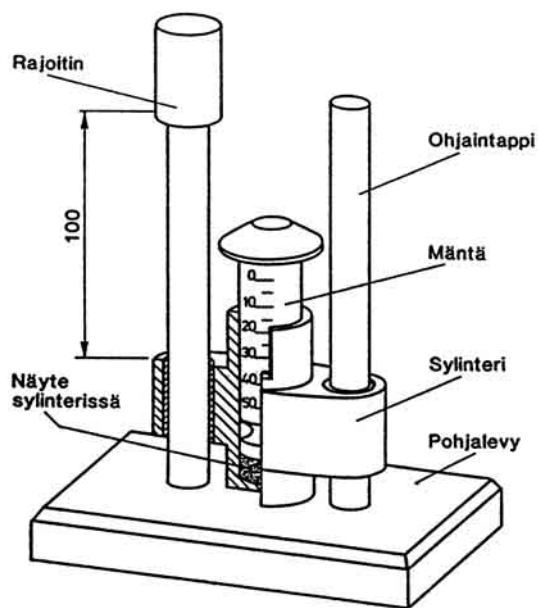
Murskeen mineraalikoostumus vaikuttaa sen lujuuteen, iskun- ja kulutuksen kestävyYTEEN sekä rapautumisherkkyyteen. Mineraalikoostumus on keskeinen ominaisuus päällysteen vedenkestävyyttä arvioitaessa, koska sillä on vaikutusta kiviaineksen ja sideaineen väliseen tartuntaan /10/.

Mineraalikoostumus määritetään röntgendiffraktioanalyysillä ns. puolikvantitatiivisella menetelmällä (PANK-2301) /7/. Menetelmällä saadaan selville, mitä mineraaleja kiviaineksessa on sekä karkeasti niiden suhteelliset määrät, joten tulokset kertovat mitkä ovat näytteen päämineraalit. Menetelmässä mineraali tunnistetaan kiteen hilatasosta heijastuvan säteen heijastuskulman perusteella. Mineraalin määrää kuvaa heijastuksen voimakkuus. Mineraalikoostumus määritetään hienoaineksesta, jossa heijastuvan säteen taittava kiderakenne parhaiten tulee esiin. Mineraalien erilainen lujuus saattaa vaikuttaa kiviainesta murskattaessa syntyvien lajitteiden mineraalikoostu-

muksiin siten, että heikoimmat mineraalit jauhautuvat kovia hienommiksi. Tästä syystä hienoaineksen ja karkeampien lajitteiden mineraalikoostumus ei aina ole täsmälleen sama.

#### 2.2.4 Hienoaineksen tyhjätila

Kappaleessa 2.4.2 esiteltävää pehmeän päällysteen puolianalyttistä suhteitusta varten kiviaineksen tyhjätila määritettiin myös laskennallisesti hienoaineksen tyhjätilan perusteella (PANK-2404) /7/. Menetelmällä määritetään hienoaineksen tyhjätila tiivistetystä, kuivasta näytteestä. Hienoaineksen tyhjätilan määrittämiseen käytetään Rigden-laitetta (kuva 1).



Kuva 1. Rigden-laite/7/

Laitteessa on sylinteri, jossa olevaa kiviainenäytettä tiivistetään vapaasti putoavan sylinterikappaleen ja männän avulla. Sadan pudotuskerran jälkeen mitataan tiivistyneen näytteen korkeus. Näytteen korkeuden, massan ja kiintotiheyden sekä sylinterin poikkipinta-alan perusteella lasketaan näytteen tyhjätila kaavalla 1.

$$HKAT = \left(1 - \frac{1000 \times m}{A \times D \times p}\right) \times 100 \text{ (kaava 1)}$$

jossa	HKAT	on	hienoaineksen tyhjätila, til-%
	m		tiivistetyn näytteen massa, g
	A		sylinterin poikkipinta-ala, mm <sup>2</sup>
	D		tiivistetyn näytteen paksuus, mm
	p		kiviaineksen kiintotiheys, g/cm <sup>3</sup>

Hienoaineksen tyhjätila ilmoittaa tilavuusprosentteina näytteen sisältämien huokosten määrän standardikokeessa /7/.

### 2.2.5 Rakeisuusmääritys

Päällystekiviaineksen hienoainespitoisuus ja hienoaineksen rakeisuusjakauma määritetään pesuseulonnan (PANK-2102) ja hydrometrikokeen (PANK-2103) tulosten summana /7/. Pesuseulonnalla määritetään tarkasti kiviaineksessa olevan < 0,063 mm aineksen määrä. Hydrometrikokeella taas tutkitaan hienoaineksen rakeisuusjakamaa mittaamalla hydrometrin avulla lietteen tiheyttä eri ajankohtina.

Hienoaineksen määrällä ja rakeisuudella on merkitystä ennen kaikkea tarvittavaa sideainepitoisuutta määritettäessä. Suuri hienoainespitoisuus ja hienoaineksen hienorakeisuus (savilajite < 0,002 mm) kasvattavat pinta-alaa, joka bitumin pitäisi peittää. Samanaikaisesti myös kiviaineksen tyhjätila kasvaa, mikä lisää bitumin täytettäväksi jäävän tyhjätilan osuutta. Tämä on otettava huomioon sideainepitoisuutta määritettäessä.

### 2.2.6 Humuspitoisuus

Humuspitoisuuden määrittäminen on tarpeen soramurskeilla, koska humus heikentää bitumin tarttumista kiviainekseen ja saattaa aiheuttaa vedenkestävyysongelmia. Humuspitoisuus ilmoittaa materiaalin orgaanisen aineksen määrän.

Soramurskeiden humuspitoisuuden määrittämiseen on käytettävissä poitton menetelmä ja NaOH-menetelmä, joista jälkimmäistä käytettiin tässä tutkimuksessa (PANK-2106) /7/. Humuksen tunnistaminen tällä menetelmällä perustuu natriumhydroksidin ja orgaanisten aineiden väliseen reaktioon, jonka seurauksena syntyneet yhdisteet värjäävät liuoksen. Humuspitoisuusluokkia on viisi, ja luokka määritetään silmämääräisesti liuoksen värin perusteella.

## 2.3 Tutkimustulokset

Selvityksessä mukana olleiden 27 kiviaineksen hienoainestutkimusten tulokset ja hienoainekselle Asfalttinormeissa esitetyt vaatimukset on koottu taulukkoon 2. Raekoko- ja humustiedot ovat käytettävissä vain osasta aineistoa. Lisäksi on osasta tutkituista kiviaineksista selvitetty myös mineraalikoostumukset, jotka on koottu liitteeseen 2.

Taulukkoon 2 on merkitty kurssiivilla ne kiviainekset, joiden käyttäytymisessä on havaittu vaikeuksia työn aikana tai tuoreessa päällysteessä.

*Taulukko 2. Hienoaineksista määritetyt tunnusluvut, jotka kuvaavat kiviainesten koostumusta ja käyttäytymistä veden kanssa.*

Kiviaines		Tartuke- pit. %	Raekoko < 0,002 mm (m-%)	Tyhjätila HKAT %	Kiinto- tiheys (g/cm <sup>3</sup> )	Veden- adsorptio %	Ominais- pinta-ala (m <sup>2</sup> /kg)	Hydro- fiilisyyys (mg/m <sup>2</sup> )	Humus luokka NaOH
Lukkarinmäki	SrM	0,3		42,1	2,77	3,24	5790	5,60	
Tupuri	SrM	0,3	13	43,3	2,74	3,50	5973	5,86	I
Ristivuori	SrM	0,6		42,6	2,71	1,71	6050	2,83	
Veskala	SrM	0,7		39,8	2,76	1,05	3320	3,16	II
Orresokka	SrM	1,2		38,6	2,69	1,32	4290	3,08	III
Kulkujoki	SrM	1,0		39,9	2,84	1,18	4000	2,95	I
Haapamaa	SrM	1,1		44,1	2,73	2,15	5680	3,79	I
Hailuoto	KaM	0,8		43,8	2,79	1,55	1590	9,75	0
Sukara	SrM	1,3		43,0	2,71	5,20	13200	3,94	
Hirvikallio	SrM	0,8-1,3	18	47,4	2,83	2,45	4937	4,96	0
Koskenkylä	KaM	0,8-1,0	17	41,7	2,76	1,55	2880	5,38	0
Lankila	SrM	0,6	14	45,1	2,72	1,62	4813	3,37	
Paapanluhta	KaM	1,2	10	40,5	2,72	1,84	2533	7,26	0
Kelloperä	KaM	1,0	10	38,9	3,06	1,43	2008	7,12	0
Yläne	KaM	0,9	13	45,5	2,76	1,86	3479	5,35	0
Pekastinvaara	KaM	1,0	9	42,1	2,96	1,36	2768	4,91	0
Sorjola	SrM		13	42,0	2,78	1,95	5575	3,50	
Loukola	SrM	0,2-0,8	17	45,6	2,77	3,24	8261	3,92	II
Huuhkonvuori	SrM	0,6	11	43,6	2,71	2,07	3316	6,24	
Laajakumpu	SrM	0,6	8	39,4	2,82	1,57	3419	4,59	0-I
Lövböle	KaM	1,0	12	40,9	2,98	2,21	2485	8,89	0
Honkanen	SrM	0,8	10	36,7	2,78	2,28	3902	5,84	0-I
Haikne	KaM	0,6	11	39,7	2,68	1,92	1707	11,25	0
Tupuri	KaM	1,0	11	43,6	2,78	2,25	2599	8,66	0
Kallioselkä	SrM	0,6	9	38,6	2,70	1,46	2561	5,70	II
Rähi	SN	0,7	11	42,0	2,79	2,56	5001	5,12	0
Risten	KaM	0,7	10	37,5	2,73	1,18	1981	5,96	0
VAATIMUS			≤10	36-44			1000- 5000	≤10	

Savilajitteen määrä oli useimmilla kiviaineksilla suuri riippumatta siitä, oliko kysymys sora- vai kalliomurskeista. Vain seitsemän kiviainesta täytti tässä suhteessa Asfalttinormien vaatimukset.

Humuspitoisuus tutkittiin osasta soramurskeita, kalliomurskeiden osalta humuspitoisuuden oletettiin olevan 0. Ennako-odotuksena oli, että soramurs-

keilla korkeaan savilajitepitoisuuteen saattaa olla syynä humus. Tämä oletus osoittautui oikeaksi Loukolan soramurskeella, mutta toisaalta esim. Kalliose-län kiviaineksella humuspitoisuus ei ilmennyt suurena savilajitteen määränä. Humuspitoisuus ja hienoaineksen rakeisuus eivät korreloi keskenään, joten molempien ominaisuuksien tutkiminen on tarpeen. Sen sijaan rakeisuuden hienous alle  $< 0,063$  lajitteessa ilmenee myös korkeina hienoaineksen tyhjätilan arvoina. Tätä tietoa voidaan hyödyntää sideainepitoisuutta määrittäessä.

Ominaispinta-ala oli useilla kiviaineksilla Asfalttinormien suositusta korkeampi tai lähellä suositusrajaa. Veden adsorptioarvot jäivät kaikilla tutkituilla materiaaleilla kuitenkin melko mataliksi, ja hydrofiilisyyden vaatimusraja ylityi vain yhdellä kiviaineksella. Muista kiviaineksista poikkesi selvimmin Sukan soramurske, jonka suuri ominaispinta-ala saattaa johtua kiviainesrakeiden pintojen rapautuneisuudesta.

Tyypillisten suomalaisten päällystekiviainesten tapaan monet kiviainekset sisälsivät kvartssia, kalimaasälpää ja kiillettä, jotka ovat vedenkestävyyden kannalta ongelmallisia kiviaineksen pinnan happamuutta lisääviä mineraaleja. Kahdessa kiviaineksessa oli runsaasti amfibolia.

Kiviainesominaisuuksien välillä todettiin seuraavia riippuvaisuuksia.

- Suuri ominaispinta-ala kasvattaa veden adsorboitumista kiviaineksen pinnalle, korrelaatio 0,82.
- Suuri savilajitepitoisuus kasvattaa hienoaineksen tyhjätilaa, korrelaatio 0,72.
- Ominaispinta-alan kasvu ei merkittävästi heikennä hienoaineksen tiivistymistä, korrelaatio 0,38.

Savilajitteen määrän kasvu ei kuitenkaan tee kiviainesta hydrofiiliseksi, eli kyky pidättää vettä ei ole riippuvainen rakeisuudesta. Myöskään hienoaineksen rakeisuuden ja humuspitoisuuden välillä ei ole yhteyttä.

## 2.4 PAB-V-päällysteiden suhteitus

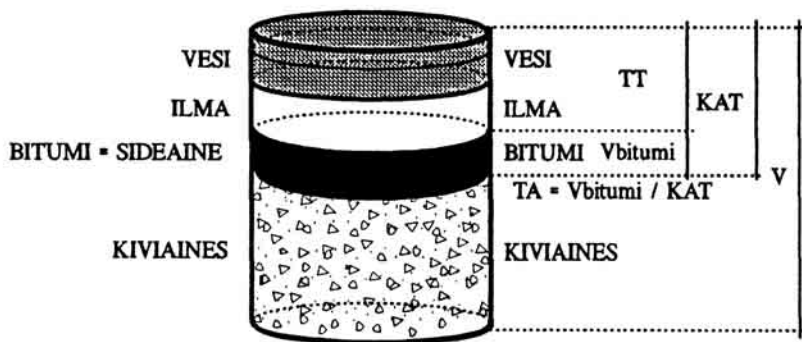
### 2.4.1 Pehmeiden päällysteiden koostumus ja tilavuussuhteet

Pehmeä asfalttipäällyste valmistetaan sekoittamalla kuivaamatonta kiviainesta ja bitumia. Tuoreessa päällysteessä huokostila on osittain kiviaineksessa olevan veden täyttämä ja myöhemminkin osassa päällysteen huokostilasta on vettä. Sateettoman kauden jälkeenkin on mitattu PAB-päällysteistä noin 0,5 % vesipitoisuus.

Päällysteen koossapysyvyyden kannalta merkitystä on ainoastaan bitumilla. Päällystettä suunniteltaessa on tästä syystä keskitytty tarkastelemaan täyttöasteena bitumin huokostilasta täyttämän tilavuuden osuutta koko huokostilasta. Täyttöasteen käsite on siten sama kaikilla päällysteillä valmistustekniikasta riippumatta.

Pehmeillä päällysteillä on AB-päällysteisiin verrattuna alhainen täyttöaste ja korkea tyhjätila. PAB-päällysteille on tunnusomaista myös pieni hienoainespitoisuus, joten alhaisempikin sideainemäärä riittää peittämään kiviainesarakeet melko hyvin. Toisaalta sideaineen ja hienoaineksen muodostamaa mastiksia on vähemmän, mikä aiheuttaa päällysteen tyhjätilan kasvun. Alhaisesta täyttöasteesta huolimatta PAB-päällysteet eivät oikein suhteitettuna ole herkkiä purkautumaan, kun vain päällysteen vedenkestävyydestä varmistutaan. Öljysoraan verrattuna sideaineen pintaannousun vaara on PAB-V-päällysteillä pienempi, koska sideaine ei sisällä haihtuvia komponentteja.

Tilavuussuhteilla tarkoitetaan eri materiaalien Päällysteessä täyttämän tilavuuden suhteellisia osuuksia. Suhteituksen kannalta merkittävät koekappaleista määritettävät tilavuussuhdetiedot ovat kiviaineksen tyhjätila (KAT), massan tyhjätila (TT) ja täyttöaste (TA), kuva 2.



Kuva 2. Pehmeän päällysteen komponentit ja tilavuussuhteet /1/.

Koekappaleista lasketaan tilavuussuhdetiedot kaavoilla 2, 3 ja 4-

$$KAT = \left( \frac{V_{näyte} - V_{kivi}}{V_{näyte}} \right) \times 100 \quad (\text{kaava 2})$$

$$TT = \left( \frac{V_{näyte} - V_{lask}}{V_{näyte}} \right) \times 100 \quad (\text{kaava 3})$$

$$TA = \left( \frac{V_{bit}}{V_{näyte} - V_{kivi}} \right) \times 100 \quad (\text{kaava 4})$$

joissa		
TT	on	koekappaleen tyhjätila, til-%
KAT		kiviaineksen tyhjätila, til-%
TA		täyttöaste, til-%
V <sub>lask</sub>		näytteen laskennallinen tilavuus, cm <sup>3</sup>
V <sub>näyte</sub>		näytteen mitattu tilavuus, cm <sup>3</sup>
V <sub>kivi</sub>		kiviaineksen tilavuus, cm <sup>3</sup>
V <sub>bit</sub>		sideaineen tilavuus, cm <sup>3</sup>



Kiviaineksen tyhjätilalla (KAT.) tarkoitetaan päällysteessä sitä osaa tilavuudesta, joka ei ole kiviainesta. Kuivaamattomasta kiviaineksesta sekoitettavilla päällysteillä tämä tila on bitumin, ilman ja veden täyttämä. Täyttöasteena (TA) ilmoitetaan bitumin KAT:sta täyttämä osuus. Täyttöastetta määritettäessä ei siis oteta huomioon veden täyttämää huokostilaa. Tyhjätila (TT), joka voi olla veden tai ilman täyttämä, lasketaan koko päällysteen tilavuudesta.

#### 2.4.2 Puolianalyttinen suhteitusmenetelmä

Suhteitus voidaan tehdä määrittämällä tilavuussuhteet tiivistetyistä näytteistä. Toinen vaihtoehto on määrittää laboratoriossa rakeisuus ja hienoaineksen tyhjätila (HKAT) ja laskea kokemusperäisten kertoimien avulla kiviaineksen KAT ja haluttua täyttöastetta vastaava sideainepitoisuus (puolianalyttinen suhteitus).

Tutkimuksessa tehtiin puolianalyttinen suhteitus selvityksessä mukana olleille kiviaineksille. Tarkoituksena oli testata näytteiden valmistukseen verrattuna yksinkertaisen ja nopean suhteitusmenettelyn käyttökelpoisuutta. Pehmeillä päällysteillä menetelmän käyttökelpoisuutta on toistaiseksi tutkittu ainoastaan emulgoidulla sideaineella /1/.

Päällysteen runkoaineksen tyhjätilaan vaikuttavat rakeisuuskäyrä ja kiviainesarakeiden pinnan muoto. Pyöreät ja pinnaltaan sileät rakeet tiivistyvät särmikkäitä paremmin. Kun näyte ei ole tasarakeinen kuten tutkittaessa tiettyä fraktiota (edellä < 0,063 mm), vaan koostuu eri kokoisista rakeista, korvaavat karkeammat rakeet hienompien tilavuusosuutta ja täyttävät osan tyhjätilasta. Tyhjätila pienenee, kunnes tiheyden maksimi on saavutettu. Jos jonkin lajitteen osuus kasvaa liikaa, näyte löyhtyy ja tyhjätila kasvaa /12/.

Hudson ja Davis kehittivät 1960-luvulla menetelmän, jolla runkoaineksen tyhjätila voidaan laskea, kun tunnetaan kiviaineksen rakeisuuskäyrä ja hienoaineksesta määritetty tyhjätila  $KAT_{<0,074}$  (kaava 5) /11/.

$$KAT_n = F \left[ f \left( \frac{P_n}{P_{n-1}} \right) - 1 \right] * KAT_{n-1} \quad (\text{kaava 5})$$

jossa

$KAT_n$	on	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.

Menetelmässä käytetään kokemusperäisesti määritettyjä kiviaineksen tyhjätilan vähennyskertoimia F, jotka saadaan peräkkäisten seulojen läpäisyprosenttien suhteesta. Liitteen 3 taulukossa on esitetty Hudsonin ja Davi-

sin määrittämät vähennyskertoimet, jotka kuvaavat tyhjätilan pienenemistä kiviaineksessa silloin, kun lajitteiden koko kasvaa logaritmisesti. Niiden mukaan näyte tiivistyy, kun kahden peräkkäisen lajitteen läpäisyprosenttien suhde on suurempi kuin 1, mutta pyöreillä rakeilla pienempi kuin 2,35 ja särmikkäillä 2,10. Pehmeillä päällysteillä käytetyillä rakeisuuksilla nämä ehdot toteutuvat koko rakeisuusalueella /11/.

Puolianalyttisessä suhteituksessa epätarkkuutta aiheuttaa se, että kiviaineksen rakeiden muotoa ja vaikutusta tiivistymiseen ei täysin pystytä ottamaan huomioon. Menetelmällä määritettyjen tilavuustietojen vertaaminen koekappaleista mitattuihin tilavuussuhteisiin osoitti, että murskattua kiviainesta voidaan pitää särmikkäänä. Koska todellisuudessa kiviainesrakeet eivät järjesty siten, että ne täyttäisivät pienimmän mahdollisen tilavuuden, ori menetelmällä laskettu kiviaineksen tyhjätila toteutuvaa pienempi /1/.

Tilavuussuhdetietojen määrittäminen laskennallisesti mahdollistaa koekappaleista mitattujen tietojen tapaan myös huokostilaan mahtuvan veden määrän selvittämisen. Kun tunnetaan sideaineen täyttämä huokostila voidaan selvittää, kuinka kostea kiviaines saa enintään olla.

Puolianalyttisellä suhteituksella on mahdollista saada sama tieto kuin kokeellisilla menetelmillä ilman, että suhteituksen tarkkuus kärsii. Menetelmä on huomattavasti nopeampi, eikä laitteistona tarvita muuta kuin Rigden-laite hienoaineksen tyhjätilan määrittämiseen. Menetelmä ei siten ole sidottu kiinteisiin laboratorioihin, vaan suhteitus voidaan tehdä myös esim. kenttälaboratoriossa.

### 2.4.3 Suhteitus tutkituilla kiviaineksilla puolianalyttisesti

Puolianalyttisen suhteituksen toimivuutta pehmeiden päällysteiden sideainepitoisuusmäärittämisessä selvitettiin tutkimuksessa mukana olleilla kiviaineksilla. Tutkimusaineiston perusteella tarkennettiin suunnittelun ohjearvoina käytettäviä tilavuussuhteita. Lisäksi saatiin tietoa suhteitusmenetelmän tarkkuudesta ja käyttökelpoisuudesta vertaamalla käytännössä toteutuneita sideainepitoisuuksia teoreettisesti määritettyihin arvoihin. Samalla tarkasteltiin myös sideaineen kulutuksen ja kiviainesominaisuuksien välisiä yhteyksiä.

Rigden-menetelmällä hienoaineksesta  $< 0,063$  mm määritettiin hienoaineksen tyhjätilat HKAT (taulukko 3). Niistä edelleen on taulukkoon 3 laskettu kiviaineksen tyhjätila KAT tutkituille kiviaineksille käyttäen Hudsonin ja Davisin menetelmää. Sekä sora- että kalliomurskeiden kiviainesrakeita on laskennassa käsitelty särmikkäinä. Lisäksi on laskettu kohteissa käytetyillä sideainepitoisuuksilla päällysteissä toteutuneet täyttöasteet.

Taulukko 3. Murskausaikaisten rakeisuuksien mukaiset kiviainesten tyhjätilat ja kohteissa toteutuneet täyttöasteet käytetyillä sideainepitoisuuksilla.

Kiviaines		Piiri	V.	Kiinto- tiheys g/cm <sup>3</sup>	Tyhjätila HKAT %	KAT- laskettu %	Toteutunut sideaine-%	TA %	TT %
Lukkarinmäki	SrM	T	93	2,77	42,1	20,2	3,6	40,8	11,8
Tupuri	SrM	T	93	2,67	43,3	21,5	3,6	36,5	12,4
Ristivuori	SrM	H	93	2,71	42,6	19,2	3,7	43,6	9,9
Veskala	SrM	O	93	2,76	39,8	18,4	3,5	44,2	10,2
Orresokka	SrM	L	93	2,69	38,6	16,9	3,5	47,6	9,7
Kulkujoki	SrM	L	93	2,84	39,9	17,7	3,4	46,2	9,8
Haapamaa	SrM	L	93	2,73	44,1	20,6	3,4	37,1	12,0
Hailuoto	KaM	O	93	2,79	43,8	19,7	3,6	41,8	11,4
Sukara	SrM	T	91	2,71	43,0	19,3	3,4	39,8	11,6
Hirvikallio	SrM	SK	95	2,83	47,4	21,7	3,4	36,1	13,8
Koskenkylä	KaM	U	95	2,76	41,7	20,8	3,5	38,1	12,8
Lankila	SrM	U	95	2,72	45,1	20,8	3,3	35,3	13,4
Paapanluhta	KaM	V	95	2,72	40,5	18,4	3,4	42,3	10,6
Kelloperä	KaM	V	95	3,06	38,9	17,5	3,6	53,2	8,1
Yläne	KaM	T	92	2,76	45,5	21,6	3,5	36,8	13,7
Pekastinvaara	KaM	O	96	2,96	42,1	18,5	3,4	45,5	10,0
Sorjola	SrM	KaS	96	2,78	42,0	19,6	4,2	49,3	9,9
Loukola	SrM	KaS	95	2,77	45,6	21,1	3,4	36,6	13,3
Huuhkonvuori	SrM	KaS	96	2,71	43,6	21,7	3,4	34,6	14,1
Laajakumpu	SrM	SK	96	2,82	39,4	17,7	3,5	47,2	9,3
Lövböle	KaM	T	96	2,98	40,9	18,9	3,4	44,9	10,3
Honkanen	SrM	L	96	2,78	36,7	16,8	3,6	51,1	8,1
Haikne	KaM	V	96	2,68	39,7	18,6	3,5	42,5	10,6
Tupuri	KaM	T	96	2,78	43,6	17,5	3,4	46,0	9,4
Kallioselkä	SrM	O	96	2,70	38,6	20,0	3,3	36,9	12,5
Rähi	SrM	U	97	2,79	42,0	21,4	3,5	37,3	13,3
Risten	KaM	U	96	2,73	37,5	16,9	3,4	46,8	8,9
Asfalttinormien 1995 vaatimus					36-44	18-23		32-38	10-15

Kiviaineksen tyhjätila on laskettu kaikille tutkimuksen kiviaineksille käyttäen rakeisuutena murskausaikaista keskiarvokäyrää. Kun puolianalyttistä menetelmää käytetään päällysteen suhteittamisessa, on käytettävissä ainoastaan murskausaikainen rakeisuuskäyrä. Massan sekoittamisessa tapahtuvaa hienonemista ei pystytä ottamaan huomioon. Tutkimuksessa haluttiin selvittää, kuinka suuri merkitys kiviaineksen hienonemisella on KAT:n kannalta. Tästä syystä kiviainesten tyhjätilat laskettiin myös massanäytteissä

toteutuneille rakeisuuksille sellaisille kiviaineksille, joista tämä tieto oli käytettävissä. Taulukossa 4 on vertailtu murskausaikaisesta (KAT murskaus) ja toteutuneesta (KAT toteutunut) rakeisuuskäyrästä laskettuja kiviaineksen tyhjätiloja.

Puolianalyttisellä suhteitusmenetelmällä määritetyn KAT:n optimaaliseksi täyttöasteeksi on aiemmissa tutkimuksissa emulsiotekniikalla valmistetuilla pehmeillä päällysteillä havaittu 38-40 %. Jo pienetkin vaihtelut täyttöasteessa vaikuttavat merkittävästi sideainepitoisuuteen. Täyttöasteen pieneneminen kahdella prosenttiyksiköllä (40 => 38) vähentää menetelmällä laskettua optimisideainepitoisuutta 0,1-0,2 %-yksikköä kiviaineksen tyhjätilan suuruuden mukaan.

Taulukkoon 4 on laskettu sideainepitoisuudet 40 % täyttöasteella sekä murskausaikaiselle että toteutuneelle rakeisuudelle rakeisuuskäyrän vaikutuksen arvioimiseksi kiviaineksen tyhjätilaan. Tarkastelu on tehty sellaisille kiviaineksille, joille oli käytettävissä sekä murskausaikainen että toteutunut rakeisuus. Taulukoihin on merkitty kursivilla sellaiset kiviainekset, joista valmistetuilla massoilla on ilmennyt vaikeuksia työn aikana tai pian päällystämisen jälkeen.

*Taulukko 4. Kiviainesten tyhjätilat ja niistä puolianalyttisellä suhteituksella lasketut sideainepitoisuudet.*

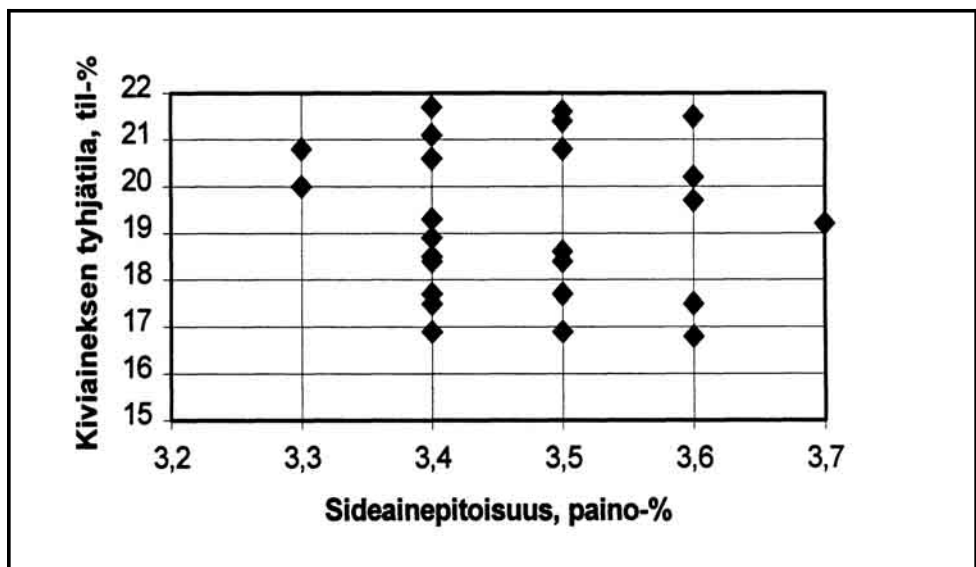
Kiviaines		Kiintotiheys g/cm <sup>3</sup>	Tyhjätila HKAT %	murskausaikainen rakeisuus		massanäytteissä toteutunut rakeisuus	
				KAT %	sideaine- %	KAT %	sideaine- %
Hirvikallio	SrM	2,83	47,4	21,7	3,8	23,3	4,1
Koskenkylä	KaM	2,76	41,7	20,8	3,7	21,9	3,9
Lankila	SrM	2,72	45,1	20,8	3,7	22,0	4,0
Paapanluhta	KaM	2,72	40,5	18,4	3,2	18,8	3,3
Kelloperä	KaM	3,06	38,9	17,5	2,7	17,6	2,7
Yläne	KaM	2,76	45,5	21,6	3,8	20,9	3,7
Pekastinvaara	KaM	2,96	42,1	18,5	3,0	18,1	3,1
Sorjola	SrM	2,78	42,0	19,6	3,4	20,1	3,5
Loukola	SrM	2,77	45,6	21,1	3,7	21,8	3,9
Huuhkonvuori	SrM	2,71	43,6	21,7	3,9	21,8	4,0
Laajakumpu	SrM	2,82	39,4	17,7	3,0	17,5	2,9

Tulosten perusteella voidaan puolianalyttisestä suhteitusmenetelmästä tehdä seuraavia havaintoja.

- Kiviaineksen tyhjätilaan vaikuttaa hienoaineksen tyhjätilan ohella voimakkaasti myös rakeisuus. Kiviaineksen hienoneminen massaa sekoitettaessa lisää tyhjätilaa ja kasvattaa siten sideainekulutusta.

- Tilavuussuhteituksessa sideainepitoisuus, määritetään tyhjätilan perusteella, joten se ei ole kiviaineksen kiintotiheyden funktio.

Kuten taulukkoon 3 kootuista tuloksista ilmenee, on tutkituilla kiviaineksilla valmistetuissa päällysteissä toteutuneiden täyttöasteiden hajonta suuri. Täyttöasteet vaihtelevat välillä 35 - 53 %. Kuvassa 3 on esitetty toteutuneet sideainepitoisuudet laskettujen kiviaineksen tyhjätila-arvojen funktiona. Sideainepitoisuuksia ei ole valittu kiviaineksen tyhjätilan perusteella, vaan kokemuseräisesti on valittu yleensä hyvän lopputuloksen taannut sideainepitoisuus 3,4 % tai 3,5 %. Asfalttinormeissa 1995 esitetyn täyttöastevaatimuksen 32 - 38 % täytti tutkituista päällysteistä ainoastaan kolmasosa. Suuret täyttöasteen vaihtelut onnistuneissakin päällysteissä vaikeuttavat optimaalisen ohjealueen määrittämistä, mutta osoittavat toisaalta, että PAB-päällysteet eivät ole herkkiä vaurioitumaan virheellisen suhteituksen vuoksi.



Kuva 3. Päällysteissä käytettyjen sideainepitoisuuksien riippuvaisuus kiviaineksen tyhjätilasta.

Tilavuussuhteituksen kannalta merkittävää on kiviaineksen tyhjätilan KAT suuruus. Kiviaineksen tyhjätila määräytyy hienoaineksen tyhjätilan HKAT ja kiviaineksen rakeisuuden perusteella. Edellä esitetyn perusteella HKAT:aan puolestaan vaikuttaa ainakin savilajitteen määrä. HKAT:lle Asfalttinormeissa esitetyn vaatimusrajan 44 % ylitti viisi kiviainesta. Tästä edelleen laskettu KAT-arvo taas osoittautui viidellä kiviaineksella pienemmäksi kuin Asfalttinormit 1995 sallisivat. Tilavuussuhteiden lisäksi sideainepitoisuuden optimiin vaikuttaa ominaispinta-ala, jonka kasvaessa myös sideainemenekki kasvaa.

Tilavuussuhteisiin perustuva ennakkosuunnittelu on mahdollista vain, jos täyttöasteen optimi pystytään määrittelemään tarkemmin. Asfalttinormien 1995 vaatimusten tarkistamiseksi selvitettiin täyttöasteen vaikutusta sideai-

nepitoisuuteen. Taulukkoon 5 on koottu toteutuvat sideainepitoisuudet eri kiviaineksilla, jos täyttöaste on 42, 45 tai 48 %.

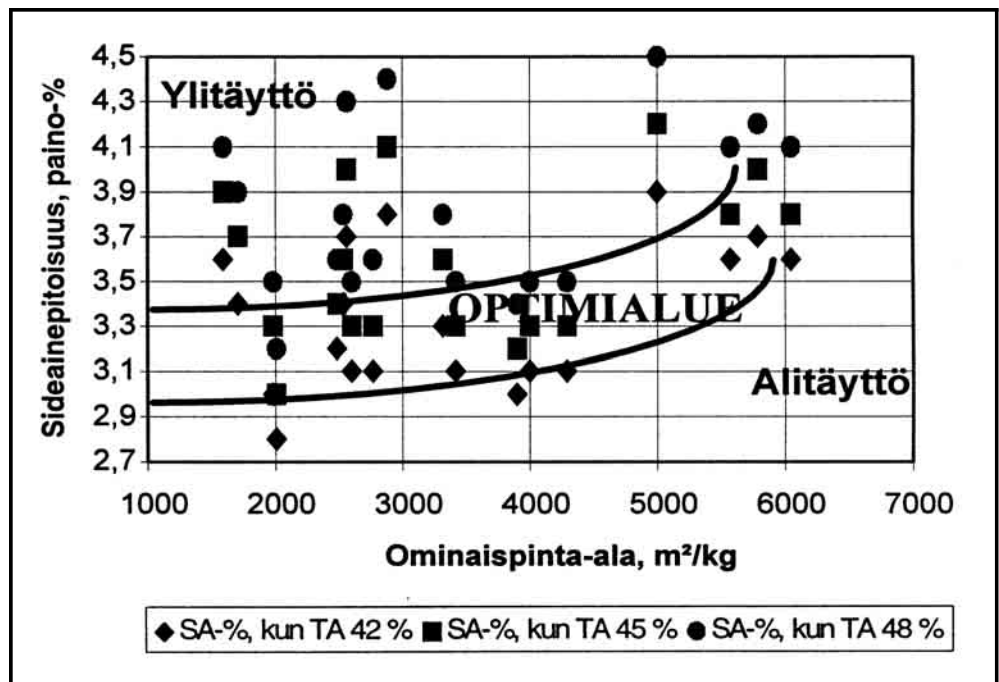
*Taulukko 5. Lasketut sideainepitoisuudet kolmella eri täyttöasteella sekä vastaavat toteutuneet arvot.*

Kiviaines	Kohteessa toteutunut		Laskettu sideainepitoisuus (%), kun		
	SA-%	TA %	TA 42 %	TA 45 %	TA 48 %
Lukkarinmäki	3,6	40,8	3,7	4,0	4,2
Tupuri	3,6	36,5	4,1	4,4	4,7
Ristivuori	3,7	43,6	3,6	3,8	4,1
Veskala	3,5	44,2	3,3	3,6	3,8
Orresokka	3,5	47,6	3,1	3,3	3,5
Kulkujoki	3,4	46,2	3,1	3,3	3,5
Haapamaa	3,4	37,1	3,8	4,1	4,4
Hailuoto	3,6	41,8	3,6	3,9	4,1
Sukara	3,4	39,8	3,6	3,8	4,1
Hirvikallio	3,4	36,1	4,0	4,2	4,5
Koskenkylä	3,5	38,1	3,8	4,1	4,4
Lankila	3,3	35,3	3,9	4,2	4,4
Paapanluhta	3,4	42,3	3,4	3,6	3,8
Kelloperä	3,6	53,2	2,8	3,0	3,2
Yläne	3,5	36,8	4,0	4,3	4,6
Pekastinvaara	3,4	45,5	3,1	3,3	3,6
Sorjola	4,2	49,3	3,6	3,8	4,1
Loukola	3,4	36,6	3,9	4,2	4,4
Huuhkonvuori	3,4	34,6	4,1	4,4	4,7
Laajakumpu	3,5	47,2	3,1	3,3	3,5
Lövböle	3,4	44,9	3,2	3,4	3,6
Honkanen	3,6	51,1	3,0	3,2	3,4
Haikne	3,5	42,5	3,4	3,7	3,9
Tupuri	3,4	46,0	3,1	3,3	3,5
Kallioselkä	3,3	36,9	3,7	4,0	4,3
Rähi	3,5	37,3	3,9	4,2	4,5
Risten	3,4	46,8	3,0	3,3	3,5

Kuvassa 4 on esitetty puolianalyttisesti lasketut sideainepitoisuudet ominaispinta-alan funktiona kolmelle eri täyttöasteelle. Eri täyttöasteilla toteutuvia sideainepitoisuuksia tutkimalla pyrittiin selvittämään täyttöasteen optimialuetta. Asfalttinormeissa 1995 esitetty vaatimus täyttöasteelle on tämän tutkimuksen tietojen perusteella selvästi liian alhainen. Kuvassa 4 esitetystä aineistosta on poistettu ne kiviainekset, joiden hienoaineksen tyhjätila ei

täytä Asfalttinormien vaatimusta. Vastaavasti on poistettu sellaiset tulokset, joissa kiviaineksen tyhjätila on yli 21 %.

Ominaispinta-alan kasvu lisää sideainetarvetta. Sideainepitoisuutta on lisättävä, jotta sideainetta riittäisi peittämään rakeiden pinnat. Koska ominaispinta-alan kasvu heikentää hieman hienoainenäytteen tiivistymistä, ei täyttöasteen optimi kuitenkaan kasva ominaispinta-alan kasvaessa. Optimisideainepitoisuuden ohjealue on merkitty näkyviin kuvaan 4.



Kuva 4. Laskennallinen sideainepitoisuus ominaispinta-alan funktiona kolmella eri täyttöasteella.

Kuten kappaleessa 2.1 todettiin, päällysteen ongelmien syynä saattaa olla heikko vedenkestävyys tai virheellinen suhteitus tai näiden seikkojen yhdistelmä. Kuvan 4 mukaisesti

- Sideainepitoisuuden optimalueen alapuolella sideainepitoisuus on liian pieni ja vaurioitumisen syynä on alhainen täyttöaste.
- Sideainepitoisuuden optimalueen yläpuolella tai optimalueella purkautumisen aiheuttaa heikko vedenkestävyys, johon syynä voivat olla kiviaineksen ominaisuudet tai alhainen tartukepitoisuus.
- Suurilla täyttöasteen arvoilla on vaarana heikko stabiliteetti heti päällystämisen jälkeen, jos kiviaines on hyvin kostea. Tämä ei tarkoita, että suhteitus olisi epäonnistunut tai vedenkestävyys huono. Koska sideaine on hyvin pehmeää, ei se pysty yksin takaamaan riittävää lujuutta.

Edellä tehdyt tarkastelut osoittavat, että PAB.-V-päällysteen sideainepitoisuutena voidaan nykykäytännön mukaisesti käyttää useimmiten 3,4 - 3,5 %.

Päällyste onnistuu yleensä hyvin ilman erityisempää suunnittelua. Jos jonkin kiviaineksen kohdalla kuitenkin esiintyy vaikeuksia, voidaan optimisideainepitoisuuden määrittämiseksi käyttää puolianalyttistä suhteitusta. Pehmeän PAB-V-päällysteen sideainepitoisuuden määrittämiseksi puolianalyttisellä suhteituksella tarvitaan seuraavat lähtötiedot.

- Hienoaineksen tyhjätila, ohjealue 36 - 44 %
- hienoaineksen ominaispinta-ala
- kiviaineksen rakeisuus.

Hienoaineksen tyhjätilan ja kiviaineksen rakeisuuden avulla määritetään laskennallisesti kiviaineksen tyhjätila, jonka ohjeellinen arvo on 16 - 21 %. Täyttöasteen optimi on tämän tutkimuksen tulosten perusteella selvästi Asfalttinormeissa 1995 mainittua arvoa suurempi, tulosten perusteella 42 - 410 %. Täyttöasteen optimia määritettäessä on otettu huomioon massan valmistuksessa ja tiivistyksessä tapahtuva keskimääräinen kiviaineksen hienoneminen.

Jos hienoaineksen ominaispinta-ala on alle 5000 m<sup>2</sup>/kg, on optimisideainepitoisuus tällä optimitäyttöasteella 3,1 - 3,6 %. Suuremmilla ominaispintaaloilla sideainepitoisuus on 3,5 - 3,9 %. Kun ominaispinta-alan takia joudutaan käyttämään rakeisuuteen nähden suurta sideainepitoisuutta, on suositeltavaa valmistaa massa lämpimänä. Kiviaineksen lämmittämällä varmistetaan sideaineen leviäminen tasaisesti myös hienoainekseen ja vältetään vapaaksi jäävän sideaineen pintaannousu.

## **2.5 Kiviaineksen ja suhteituksen vaikutus PAB-V-päällysteiden ominaisuuksiin**

### **2.5.1 Kiviaineksen ominaisuuksien vaikutukset vedenkestävyyteen**

Kiviaineksien ominaisuuksia selvitettiin määrittämällä ominaispinta-ala, vedenadsorptio sekä päämineraalit. Näitä tunnuslukuja verrattiin MYR-kokeella mitattuun vedenkestävyyteen. Tarkastelua vaikeutti se, ettei kattavia ja järjestelmällisiä vedenkestävyyškokeita tutkituilla kiviaineksilla massaa valmistettaessa ollut tehty. Kiviaineksen ohella muuttujina olivat lisäksi olleet muut materiaalimuuttujat, olot sekä sekoituslämpötila. Tulosten tarkastelussa pyrittiin kiinnittämään erityisesti huomiota sekoituslämpötilaan, joka höyrykumennusta käytettäessä on osoittautunut vedenkestävyyden kannalta keskeiseksi muuttujaksi.

Sekoituslämpötilan muutosten suhteen ominaisuuksiltaan erilaisten kiviainesten käyttäytymisessä havaittiin seuraava yhdenmukaisuus.

- Sekoituslämpötilan kasvu parantaa MYR-arvoa
- pieni ominaispinta-ala
- pieni vedenadsorptio
- amfiboli.



**- Sekoituslämpötilan kasvu heikentää MYR-arvoa**

- suuri ominaispinta-ala
- suuri vedenadsorptio
- savimineraalit, esim. smektiitti.

Ominaispinta-alan ja vedenadsorption välillä todettiin edellä olevan selkeä korrelaatio. Luonnollista onkin, että näiden tunnuslukujen kasvun tai pienenemisen vaikutus vedenkestävyyteen on samansuuntainen.

Kenttälaboratorioissa määritettyjä MYR-arvoja pyrittiin tarkastelemaan myös eri kiviaineksilla samassa lämpötilassa. Tarkoitus oli selvittää, mitkä kiviainekominaisuudet vaikuttavat vedenkestävyyteen. Vertailua vaikeuttivat kuitenkin eri massoilla käytetyt huomattavastikin toisistaan poikkeavat tartukepitoisuudet. MYR-\*okeicien tuloksien perusteella voidaan siten päätellä lähinnä kiviainekohtaisesti esim. sideainepitoisuuden tai sekoituslämpötilan vaikutuksia vedenkestävyyteen.

Vaikeuksia jo päällystystyön aikana tai vaurio~tumista joko pian päällystämisen jälkeen tai myöhemmin havaittiin koekohteissa seitsemällä kiviaineksella. Tällaisia ongelmakiviaineksia olivat Hirvikallio, Kelloperä, Paapanluhta, Pekastinvaara, Koskenkylä, Laajakumpu ja Yläne. Näille kiviaineksille on yhteistä melko suuri hydrofiilisyyttä. Hirvikalliota lukuun ottamatta kiviainekset ovat vähän silikaatteja sisältäviä emäksisiä ja tummia kiviaineksia. Näillä kiviaineksilla käytetyt tartukepitoisuudet olivat huomattavan korkeita, 1,0 - 1,3 %. Aiemmat pehmeiden päällysteiden tutkimukset ovat osoittaneet, että emäksisten kiviainesten vedenkestävyyttä ei voida rajattomasti parantaa tartuketta lisäämällä. Tutkimuksessa oli mukana myös hydrofiilisyysdeltään suuria mutta silikaattipitoisia kiviaineksia. Näillä vastaavia ongelmia ei päällystystöissä koettu.

Pehmeiden päällysteiden vedenkestävyyden määrittämiseksi tutkitaan kiviaineksesta vedenadsorptio ja ominaispinta-ala, joiden suhteena saadaan pinta-alayksikköä kohden adsorboituvan veden määrä eli hydrofiilisyyttä. Jos hydrofiilisyyttä on alle 5 mg/m<sup>2</sup>, on päällysteen vedenkestävyys tutkitun aineiston perusteella hyvä. Korkeampi hydrofiilisyyttä saattaa aiheuttaa vedenkestävyysongelmia. Näiden välttämiseksi määritetään riittävä tartukepitoisuus ennakkoon MYR-kokeilla aina, kun hydrofiilisyyttä on suurempi kuin 7 mg/m<sup>2</sup>.

### **2.5.2 Kiviaineksen ominaisuuksien vaikutukset päällysteen laatuun**

Edellä esitettyjen tarkastelujen perusteella tutkitut 27 kiviainesta on jaettu seuraavassa kahteen ryhmään: kiviaineksiin, joista tehdyt päällysteet ovat onnistuneet hyvin, ja kiviaineksiin, joista tehtyjen päällysteiden laadussa on ollut puutteita. Seuraavassa on arvioitu hyvin onnistuneiden päällysteiden kiviainesten yhteisiä piirteitä sekä syitä vaikeuksiin erikseen kunkin ongelmakiviaineksen osalta.

## 1. Ei epäonnistumisia

Näille kiviaineksille on tyypillistä, että toinen tunnusluvusta ominaispinta-ala 1 vedenadsorptio on hyvin suuri. Niistä valmistetuissa päällysteissä on käytetty melko alhaisia sideainepitoisuuksia, mutta sideaineen määrä on kuitenkin juuri riittänyt estämään vaurioitumisen. Päällysteiden kestoikä olisi mahdollisesti pidennettävissä käyttämällä hieman korkeampaa sideainepitoisuutta.

## 2. Epäonnistunut/ vaikeuksia työn aikana

a) **Ristivuori**: suuri ominaispinta-ala.

Liian alhainen sideainepitoisuus aiheuttaa ongelmia silloin, kun ominaispinta-ala on suuri. Tästä esimerkkinä on Ristivuoren kiviaines, jolla päällyste saatiin onnistumaan vasta käyttämällä sideainepitoisuutena 3,7 %. Kun sideainepitoisuus on riittävä, kiviaines käyttäytyy ongelmattomasti (kohta 1).

b) **Hirvikallio**: alhainen sideainepitoisuus, hienoaineksen tyhjätila ylittää vaatimuksen

c) **Loukola**: alhainen sideainepitoisuus, hienoaineksen tyhjätila ylittää vaatimuksen.

Sekä ominaispinta-ala että vedenadsorptio ovat suuria, joten kiviainekseen sitoutuu runsaasti vettä. Pieni sideainepitoisuus (alhainen täyttöaste) ei ole riittänyt peittämään ja sitomaan kiviainesrakeita riittävästi, vaan vesi on päässyt syrjäyttämään vähäisen bitumin. Bitumin ja kiviaineksen välisessä tarttuvuudessa ei tarvitse olla mitään vikaa. Ongelma korjataan käyttämällä suurempaa sideainepitoisuutta.

d) **Paapaniuhtha**: hydrofiilinen, tumma kiviaines

e) **Pekastinvaara**: hydrofiilinen, tumma kiviaines

f) **Koskenkylä**: hydrofiilinen

g) **Laajakumpu**: hydrofiilinen

Sekä ominaispinta-ala että vedenadsorptio ovat pieniä ja hydrofiilisyyden suuri. Kiviaineksen ja bitumin välinen tarttuvuus on näillä kiviaineksilla heikko. Syynä voi olla huono mekaaninen kiinnittyvyys (sileät pinnat) tai kiviaineksen pinnan happamuus, johon hapan bitumi tarttuu huonosti. Sideainepitoisuuden lisäyksellä ei saavuteta päällysteen laadun paranemista.

Ongelmaa voidaan vähentää korottamalla tartukepitoisuutta, joka auttaa etenkin happamien kvartsipitoisten kiviainesten tapauksessa. Tartukkeen vaikutus on syytä selvittää ennakkoon MYR-kokeilla sopivan tartukepitoisuuden määrittämiseksi. Kokemukset ovat osoittaneet, että korkea sekoituslämpötila parantaa lopputulosta myös höyrykuumennusta käytettäessä. Koska ominaispinta-ala ja vedenadsorptio ovat pieniä, ei vettä kiviainesta kuumennettaessa sitoudu suuria määriä rakeiden pinnalle. Lämmittämisen ansiosta sideaine jakautuu tasaisemmin kiviainekseen ja massa sekoittuu homogeenisemmaksi.

h) **Yläne:** hienoaineksen tyhjätila ylittää vaatimuksen, hydrofiilinen

i) **Kelloperä:** hydrofiilinen, tumma kiviaines, ylitäytynyt.

Näillä kiviaineksilla sekä sideainepitoisuudessa että vedenkestävyydessä on puutteita. Vaurioituminen on aiheutunut näiden seikkojen summana.

j) **Orresokka:** humusta.

Vaikka kiviaineksesta määritetyt tunnusluvut ovat muuten hyviä, aiheuttaa humuksen suuri määrä ongelmia vedenkestävyydessä. Ongelmaa on vaikea korjata päällystesuunnittelun keinoin.

Pehmeiden päällysteiden vaurioitumiseen tuoreena vaikuttavat tässä tarkasteltujen muuttujien lisäksi aina myös ulkoiset olot, lämpötila ja kosteus, jotka saattavat laukaista vaikeuksien ilmenemisen. Sateella tai myöhään syksyllä tehtävällä päällysteellä on epäonnistumisriski, vaikka suhteitus olisi kunnossa ja vedenkestävyys normaaleihin oloihin riittävä. Päällyste ei tällöin välttämättä käyttäydy ennakkokokeiden tulosten perusteella muodostettujen odotusten mukaisesti.

Tässä tehdyt tarkastelut perustuvat aineistoon, joka on kerätty kylminä sekoitetuista tai höyrykuumennuksella lämmitetyistä päällystyskohteista. PAI3-V-päällysteiden käyttäytymistä, kuumasekoituksessa ei tarkasteltu tässä yhteydessä. Työnaikaisista tiedoista ovat puuttuneet säättilaa ja kiviaineksen syöttöä (jakamaton 1 jaettu kiviaines, syöttöjärjestys) koskevat tiedot. Kiviaineksen ominaisuuksien ohella näillä kaikilla on merkitystä päällysteen laatuun.

### 3 PAB-V-PÄÄLLYSTEIDEN SUUNNITTELUOHJEITA

#### 3.1 Hienoainessuosituksot

Tutkimusten tulosten perusteella Asfalttinormeissa 1995 olevia hienoainevaatimuksia on tarkennettu taulukon 6 osoittamalla tavalla PAB-V-päällysteille. Hienoaineksen ominaisuudet määritetään < 0,063 mm lajitteesta. Määritettäviksi esitetyt ominaisuudet ja raja-arvot ovat ohjeellisia, ja niitä on tarkoitettu käytettäväksi päällystesuunnittelun helpottamiseksi ja päällysteen laadun varmistamiseksi.

*Taulukko 6. PAB-V-päällysteiden hienoaineksesta määritettävät ominaisuudet ja suositusrajat*

Ominaisuus	Yksikkö	Vaatusmus	Menetelmä
Tyhjättila	%	36-44	PANK 2404
Vedenadsorptio	%		PANK 2108
Ominaispinta-ala	m <sup>2</sup> /kg		PANK 2401
Hydrofiilisyyss	mg/ml	≤ 7	

Vedenadsorptiolle ja ominaispinta-alalle ei aseteta erillisiä vaatimuksia. Suuri ominaispinta-ala lisää sideainetarvetta, mutta tulee otetuksi huomioon puolianalyttisessä suhteituksessa. Vedenkestävyyden kannalta keskeinen ominaisuus on hydrofiilisyyden. Jos hydrofiilisyyden ylittää vaatimusrajan, määritetään käytettävä tartukepitoisuus MYR-kokeilla. Tartukepitoisuutta lisätään, kunnes MYR-kokeen tulos täyttää Asfalttinormien vaatimuksen. Samalla varmistetaan, että vedenkestävyys ylipäättään on saatavissa riittäväksi. Vaikeuksia saattaa ilmetä etenkin emäksisillä tummilla kiviaineksilla.

## 3.2 Suhteitus

Pehmeillä päällysteillä suhteituksen tehtävänä on määrittää käytettävillä materiaaleilla optimisideainepitoisuus. Lisäksi suunniteltaessa kuivaamattomasta kiviaineksesta valmistettavia PAB-V-päällysteitä on otettava huomioon vesi. Suhteitus perustuu päällysteen tilavuussuhteiden määrittämiseen, joka voidaan tehdä joko kokeellisesti koekappaleista mittaamalla tai puolianalyttisesti kiviainestietojen perusteella.

Pehmeiden päällysteiden kiviaineksen rakeisuus vastaa öljysoran rakeisuutta. Rakeisuuteen ei yleensä ole mahdollisuutta vaikuttaa, koska kiviaines on jakamatonta. Massan homogeenisuuden ja vedenkestävyyden kannalta on suositeltavaa, että hienoainepitoisuus ei ylitä ohjearvoa. Sideaineena käytetään joko pehmeää bitumia V1500 tai V3000. Käytettävillä materiaaleilla on vaikutusta sekä tarvittavaan sideainepitoisuuteen että vedenkestävyyteen. Suhteitus ja vedenkestävyyden määritykset on aina tehtävä suunniteltavan kohteen materiaaleilla, jotta niiden vastaavuus rakennusvaiheessa massan käyttäytymisen kanssa on mahdollisimman hyvä.

PAB-V:n suhteituksessa voidaan käyttää joko koekappaleiden tilavuussuhteisiin perustuvaa tai puolianalyttistä suhteitusta. Jälkimmäinen on nopeampana ja helpompana menetelmänä useimmiten suositeltavampi. Koekappaleiden tilavuussuhteisiin perustuvaa suhteitusta on tarkoituksenmukaista käyttää lähinnä silloin, kun halutaan selvittää silmämääräisesti massan epähomogeenisuutta ja mahdollisesti epähomogeenisen massan koossapysyvyyttä halkaisuvetolujuudella. Myös otettaessa käyttöön uusia runkoaineksa, joiden hienoainesominaisuudet poikkeavat kohdan 3.1 suosituksista, on tilavuussuhteitus suositeltava.

Puolianalyttinen suhteitus edellyttää lähtötietoina hienoaineksesta Rigdenmenetelmällä määritetyn tyhjätilan (HKAT) ja koko kiviaineksen rakeisuuden tuntemista. Kokemusperäisten vähennyskertoimien avulla lasketaan kiviaineksen tyhjätila (KAT). Sideainepitoisuuden optimi saavutetaan silloin, kun kiviaineksen tyhjätilasta tietty määräosa on bitumin täyttämä. Täyttöasteen optimi on 42 - 45 %. Taulukkoon 7 on koottu ohjearvot pehmeiden päällysteiden tilavuussuhteille.

Taulukko 7. Pehmeiden päällysteiden tilavuussuhteiden ohjeelliset arvot.

Massatyyppi	Kiviaineksen tyhjätila KAT (til-%)	Täyttöaste TA (til-%)	Tyhjätila TT (til-%)
PAB-V (PAB-0)	16-21	42-45	10-14

### 3.3 Vedenkestävyys

Pehmeiden päällysteiden vedenkestävyyteen voidaan tapauskohtaisesti vaikuttaa materiaali- tai valmistustekniikalla. Emäksisen tartukkeen lisäyksellä on mahdollista vaikuttaa vedenkestävyyteen silloin, kun kiviaineksen pinnan happamuuden vuoksi hapan bitumi tarttuu siihen huonosti. Kustannusten säästämiseksi tarvittava tartukepitoisuus on tarpeen määrittää mahdollisimman tarkasti ennakkokokeilla. Koska esim. säätilalla voi olla merkittävä vaikutus tuoreen päällysteen vedenkestävyyteen, tarvitaan vedenkestävyyttä mittaava testausmenetelmä myös kenttälaboratorion käyttöön.

Tartukkeen lisäämisen ohella on sekoituslämpötilalla osoittautunut olevan merkitystä vedenkestävyyden kannalta etenkin silloin, kun sekoituksessa käytetään höyrylämmitystä. Jos kiviaineksen ominaispinta-ala ja vedenadsorptio ovat suuria, sitoutuu massa sekoituslämpötilaa nostettaessa yhä suurempi määrä vettä ja vedenkestävyys heikkenee entisestään. Tällaisilla kiviaineksilla sopiva sekoituslämpötila on noin 40 °C.

MYR-koe on koejärjestelyltään yksinkertainen ja nopea koe, jonka tekemiseen ei tarvita kalliita laitteita. Se soveltuu sekä PAB-V:n vedenkestävyyden ennakkotutkimusmenetelmäksi että kenttälaboratorion käyttöön. Menetelmällä selviää nopeasti hienoaineksen ja sideaineen sitoutuminen tuoreessa päällysteessä. Koe antaa siten tietoa sekä käytettävän kiviaineksen ja sideaineen välisestä tartunnasta että kiviainesrakeet yhteen sitovan mastiksin muodostumisesta päällystemassassa. MYR-kokeen on todettu selittävän hyvin tartukepitoisuuden vaikutusta päällysteen vedenkestävyyteen, mutta höyrykuumennuksessa korkeammilla sekoituslämpötiloilla massasta määritetyt MYR-arvot eivät välttämättä kuvaa vedenkestävyyttä luotettavasti. Vaikka massa sekoitettaisiin lämpimänä, tehdään MYR-koe jäähtyneestä massasta. Taulukossa 8 on esitetty vuoden 1996 selvitysten perusteella laaditut suositukset MYR-arvolle.

Taulukko 8. Suositukset MYR-arvoille /5/.

MYR-arvo (g)	Ominaisuus
0,0-0,5	hyvä
0,6-2,0	tydyttävä
≥ 2,1	huono

Vedenkestävyys on syytä tutkia ennakkoon, jos kiviaineksen hienoaineksesta määritetty hydrofiilisyyden on korkea. Tässä tutkitulla aineistolla vedenkestävyys osoittautui hyväksi, jos hydrofiilisyyden on alle  $5 \text{ mg/m}^2$ . Korkeampi hydrofiilisyyden saattaa aiheuttaa vedenkestävyysongelmia. Näiden välttämiseksi määritetään riittävä tartukepitoisuus ennakkoon MYR-kokeilla aina, kun hydrofiilisyyden on suurempi kuin  $7 \text{ mg/m}^2$ . Vedenkestävyyskokeita tehdään lisäksi työn tekemisen aikana laadun varmistuksessa.

#### 4 VARASTOKASAMASSOJEN LEVITYSKOKEILUT

PAB-V-massoja on vuosina 1994-96 valmistettu jonkin verran varastokasoihin. Kokemukset niiden levittämisestä ovat olleet vaihtelevia. PAB-V-massaa halutaan nykyään valmistaa varastokasaan lähinnä vain aikataulullisista syistä. Varhain keväällä valmistettuja massoja voidaan levittää varastokasasta kesän kuluessa joustavasti. PAB-O-massan varastointi ennen yleensä myös paransi kylmäsekoitteen massan laatua, kun liuottimia sisältävä sideaine ryömi kiviaineksen pinnalla. Vastaavaa ilmiötä ei tapahdu PAB-V-massoilla. Pehmeämmästä V1500-sideaineesta valmistettua PAB-V-varastomassaa on käytetty PAB-O-massan tapaan päällystevaurioiden korjauksiin paikkauksessa, jossa sen on todettu toimivan hyvin /5/.

Vuonna 1995 tutkittiin Lapin tiepiirissä useita vuosia varastokasoissa olleita PAB-V-massoja. Yhden päivän aikana levitettiin useita erilaisia massoja yhdellä levittimellä. Koeosuudet olivat 30 ... 140 m pitkiä. Massan levitystä tarkkailtiin silmämääräisin havainnoin /4/. Koska osuudet olivat lyhyitä, ei niiden tasaisuutta voitu arvostella PTM-mittauksella eikä näin ollen luotettavaa kuvaa niiden tasaisuudesta saatu.

Kesällä 1997 Uudenmaan tiepiirissä valmistettiin toukokuun aikana kolmella asemapaikalla ja Kaakkois-Suomen tiepiirissä yhdellä asemapaikalla PA13-V-massoja varastokasoihin, joista ne levitettiin heinäkuun ja lokakuun välisenä aikana. Näiden massojen levitystä pyrittiin vertailemaan todellisissa kohteissa, joissa kokeiltiin erilaisia levittämiä tai samalla levittimellä erilaisia asetuksia. Kohteilta mitattiin tasaisuudet. Tavoitteena oli tutkia levityslämpötilan, varastointiajan ja levittimen tyyppin vaikutusta varastomassan levittämiseen ja päällysteen tasaisuuteen.

Kaikki tutkitut massat valmistettiin höyrylämmitystekniikalla toukokuussa 1997. Massat varastoitiin kahdella tavalla. Latostenmaalla ja Rähissä massa kasattiin yhteen kerrokseen kun taas Ristenissä ja Palomäessä massaa ajettiin autoilla vielä kasan päälle. Varastointiajat kohteissa olivat 1,5 ... 5 kuukautta. Massoja levitettäessä syksyllä paikallistiellä 11489 ja maantiellä 3921 oli ilman lämpötila alhainen keskipäivän lämpötilan ollessa  $8 \dots 12 \text{ }^\circ\text{C}$  ja yölämpötilan ollessa alhaisimmillaan  $2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Taulukko 9. Levityskokeiluissa mukana olleiden, toukokuussa 1997 valmistettujen PAB-V 16 -massojen ominaisuuksia.

Toukokuussa 1997					Levityshetkellä	
Asema- paikka/ tiepiiri	Sideaine			Sekoitus- lämpötila (°C)	Varastoin- tiaika (viikkoa)	Sideaineen viskositeetti massassa (mm <sup>2</sup> /s)
	tyyppi	pitoi- suus %	viskositeetti Massassa (mm <sup>2</sup> /s)			
Risten, U	V1500 T07	3,4	2170	50	7	2320
Latos- tenmaa, U	V1500 T07	3,3	2520	50	21	2480
Rähi, U	V1500 T08	3,4	2240	50	9	2480
Palo- mäki, KaS	V1500 T06	3,5	ei määritetty	45	17	2300

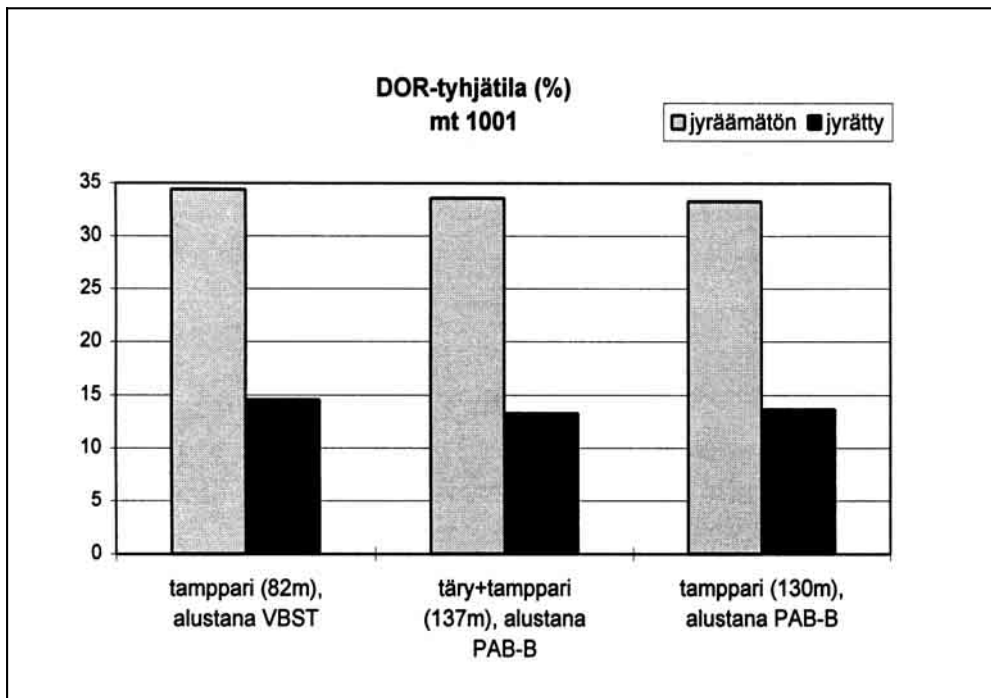
Taulukko 10. PAB-V-varastomassojen levitys 1997.

Massa	Levitys- aika	Levitin		Ilman lämpö- tila (°C)	Levitys- kohde		Massan Vesipit. (%)
		tyyppi	paino (t)		tie- osoite	pit. (m)	
Risten	3-8.7.	BlawKnox 95, täry-tamppari	17	22-26	10011 02	4050	2,4
Latos- ten- maa	29.9.- 1.10.	Bitelli 13B640, täry ja Barber-Greene SB131, tamppari	11 13	8-12	114891 01-02	6210	2,8
Rähi	28.-31.7.	BlawKnox 95, täry-tamppari	17	18-20	12711 01-02	8730	2,6
Palo- mäki	1.-2.9.	Bitelli 1313660, täry-tamppari	16	3-19	39211 01	3640	1,8

Varastomassojen sideaineen viskositeetin kehittymistä seurattiin kesän ajan. Massanäytteet, joista sideaineen viskositeetti tutkittiin, otettiin massan valmistuksessa ja levityksessä. Sideaineiden viskositeetit tutkittiin Neste Oy:n laboratoriossa. Kuten taulukosta 9 ilmenee, sideaineiden viskositeeteissa ei

ollut suuria eroja kuten ei massan sekoituslämpötiloissakaan. Tulosten perusteella voi todeta, että sideaineen viskositeetti säilyttää varastokasamassa ensimmäisten kuukausien ajan sen tason, jonka se massan valmistuksessa saavuttaa.

Ristenin massaa maantielle 1 001 levitettäessä sää oli aurinkoinen ja massa oli seitsemän viikon ikäistä. Massaa levitettiin  $80 \text{ kg/m}^2$ . Kohteella käytettiin Blaw Knoxin levitintä ja pelkkää tampparia. Lyhyellä osuudella (noin 140 m) kokeiltiin MYÖS täry-tamppari-yhdistelmää. Levitysjälkeen syntynyttä eroa Pyrittiin vertaamaan DOR-tiiviysmittauksin, jotka tehtiin poikkeuksellisesti heti levittimen perän jälkeen. Jyräyksen jälkeen tehtiin uusi mittaus samasta kohdasta. Kun verrataan tampparin ja täry-tampparin käyttöä tiiviysmittauksen perusteella samanlaisella alustalla (PAB-B), havaitaan että tiiviys on käytännössä sama (kuva 5).



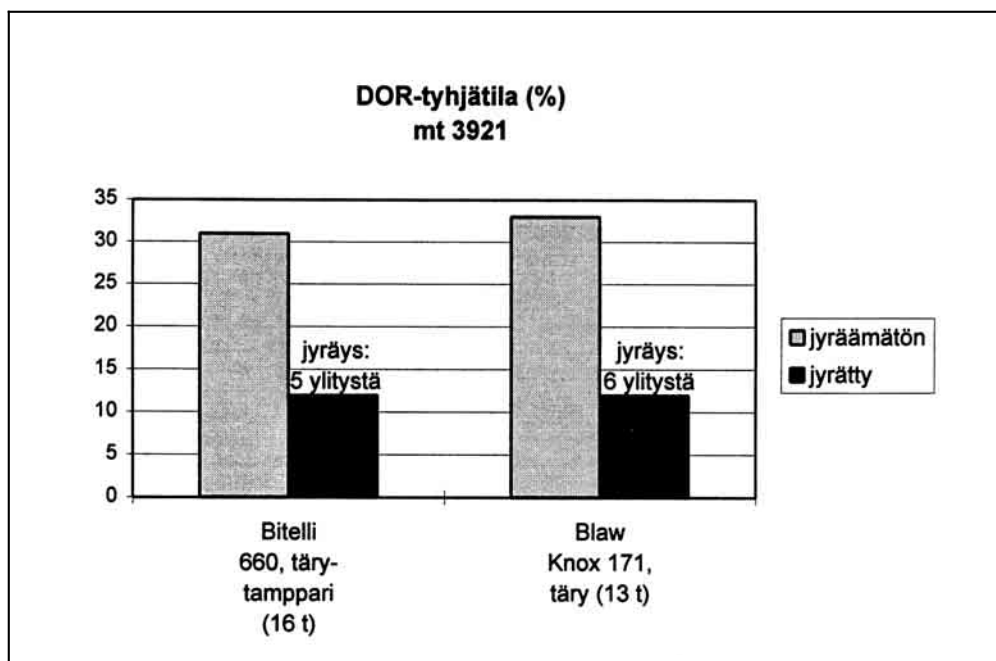
Kuva 5. DOR-tyhjättilojen keskiarvot osuuksittain maantiellä 1001 ennen ja jälkeen tiivistyksen.

Rähin massaa levitettäessä maantielle 1271 sää oli pilvinen ja sateinen. Massaa levitettiin  $100 \text{ kg/m}^2$  samalla Blaw Knoxin levittimellä kuin maantiellä 1001. Massa oli levitettäessä noin yhdeksän viikon ikäistä.

Palomäen massaa maantielle 3921 levitettäessä lämpötilat olivat 3-19 %. Massa levitettiin noin 17 viikon varastoinnin jälkeen ja kasassa esiintyi masapaakkuja, jotka tosin pääosin hajosivat kuormattaessa. Käytössä oli Bitelin täry-tamppari-levitin, jolla massaa levitettiin  $100 \text{ kg/m}^2$ . Liittyvälle tielle kokeiltiin massaa levittämään myös kevyemmällä Blaw Knoxin levittimellä. Levit-



timistä aiheutuvaa eroa levitysjälkeen verrattiin DOR-tiivysmittauksin. Ras-kaammalla täry-tamppari-levittimellä saatiin aikaan hieman tiiviimpää kerros-ta, mutta jyräyksen jälkeen tiivysero tasoittui (kuva 6).



Kuva 6. DOR-tyhjättilojen keskiarvot osuuksittain maantiellä 3921 ennen ja jäl-keen tiivistyksen.

Latostenmaan massaa levitettäessä sää oli puolipiivinen ja poutainen. Kes-kipäivän lämpötilat olivat 8-12 °C. Kohteella oli käytössä kaksi levitintä, Bitelli ja Barber-Greene. Massaa levitettiin 100 kg/m<sup>2</sup> ja sitä oli varastoitu levityk-seen mennessä noin 21 viikkoa.

Tutkituilta kohteilta mitattiin PTM-autolla IRI4-tasaisuudet syksyllä 1997. Tasaisuustulokset on esitetty taulukossa 11.

Taulukko 11. Koekohteilta syksyllä 1997 mitatut IRI4-tasaisuudet.

Kohde	Kohteen pituus m	PTM- mittaus (Pvm)	Tasaisuus IRI4, kohteen keskiarvo (mm/m)	Raja-arvon* ylittävien 100-metrinen lkm / km
mt 1001 12	4050	20.10.	1,27	5
pl: 11489 /1-2	6210	6.10.	1,44	7
ml: 1271 /1-2	8730	22.10.	1,73	10
mt 3921 /1	3640	16.10.	1,95	10
mt 409 **	1020	16.10.	1,84	10
pl: 14790 **	2000	2.10.	1,36	5

\*) Suurin sallittu epätasaisuus PAB-V-päällysteillä on 1,4 mm/m.

-) Levitetty Kaakkois-Suomen tiepiirissä Palomäen varastokasasta 3.9, jolloin ilman lämpöti-la vaihteli 4-18 °C.

Kuten taulukosta 11 ilmenee, IRI4-tasaisuusvaatimuksen 1,4 mm/m ylittäviä 100 metrin osuuksia on kaikilla tutkituilla kohteilla. Kolmella kohteella lähes kaikki 100 metrin osuudet ylittivät raja-arvon jommalla kummalla kaistalla. Tasaisuudeltaan näitä kaikkia varastokasasta levitettyjä PAB-V-päällysteitä voidaan pitää melko huonoina, kun niitä vertaa suoraan asemilta levitettyihin PAB-V-päällysteisiin. Taulukossa 12 on esitetty suoraan asemilta levitettyjen PAB-V-päällysteiden tasaisuustuloksia Uudeltamaalta. Kaakkois-Suomessa uusien, asemalta suoraan vuonna 1997 levitettyjen PAB-V-päällysteiden (8 kohdetta) IRI4-tasaisuuden keskiarvot vaihtelivat 0,86 ... 1,04 kaikkien kohteiden keskiarvon ollessa 0,95.

*Taulukko 12. IRI4-tasaisuustuloksia Uudenmaan tiepiiristä kohteista, joissa PAB-V-päällyste on levitetty suoraan asemalta tielle syys-lokakuussa 1997.*

Kohde	Kohteen pituus (m)	PTM-mittaus (Pvm)	Tasaisuus IRI4, kohteen keskiarvo (mm/m)	Raja-arvon * ylittävien 100-metrinen lkm / km
pl: 11775	13170	21.10.	0,87	0
mt 1631	10180	16.10.	0,84	0
rnt 1633	12070	26.9.	0,91	0

\*) Suurin sallittu epätasaisuus PAB-V-päällysteillä on 1,4 mm/m.

Paras IRI4-tasaisuus varastokasasta levitettäessä saavutettiin maantiellä 1001, joka mittaushetkellä oli ollut kohteista pisimpään liikenteellä. Kohteen PAB-V-päällyste levitettiin kaikkien lämpimimmällä ilmalla sään ollessa aurinkoinen. Massa oli ollut myös kaikkein lyhyimmän aikaa varastokasassa. Vaikka kasa oli tehty kahteen kerrokseen ja paakkuja esiintyi jonkin verran, ne hajosivat lämpimällä säällä helposti massaa kuormattaessa.

Kaikkein epätasaisin vertailuista päällysteistä (mt 3921) levitettiin kylmimmällä ilmalla melko raskaalla levittimellä (16 t). Viimeisellä kohteella (pt 11489) massaa levittämässä oli kaksi vertailun kevyintä levitintä ja päivälämpötilat olivat vain hieman korkeampia kuin maantietä 3921 päällystettäessä. Silti tällä kohteella päästiin parempaan IRI4-tasaisuuteen kuin maantiellä 3921. Vaikka Rähin massaa levitettäessä maantielle 1271 päivälämpötilat olivat melko korkeita (18-20 %) ja käytössä oli melko raskas levitin (17 t), niin silti kohteen IRI4-tasaisuuskeskiarvo oli yksi huonoimmista.

Tutkimuksen tavoitteena oli pyrkiä selvittämään, mitkä tekijät (levityslämpötila, levitin, varastointiajan pituus) vaikuttavat päällysteen laatuun, jota tässä tutkimuksessa mitattiin IRI4-tasaisuudella. Koska kohteita oli mukana näin vähän, on vaikea sanoa mikä yksittäinen tekijä on kussakin kohteessa heikentänyt uuden päällysteen tasaisuutta. Tutkimuksessa tuotetut tasaisuustulokset kaiken kaikkiaan osoittavat sen, että laatuvaatimusten

mukaiseen IRI4-tasaisuuteen on PAB-V-päällystettä varastokasasta levitetäessä erittäin vaikea päästä. Vaikka lämpimällä ilmalla (20-30 %) melko raskaalla levittimellä (17 t) levitystyö oli helppoa, jäätiin silti melko kauaksi suoraan asemalta levitettyjen PAB-V-päällystyskohteiden IRI4-tasaisuuskeskiarvoista ja laatuvaatimukset ylittäviä 100 metrin osuuksia esiintyi huomattavasti normaalia enemmän.

Käytännön kokemukset ovat osoittaneet, että PAB-V1500 -varastomassa toimii hyvin paikkaustyössä ja lisämassana REMO-töissä. Edellä esitettyjen tutkimustulosten perusteella sen sijaan asfaltinlevittimellä varastokasoista PAB-V-massan levittämistä kokonaisille kohteille ei voi pitää suositeltavana.

## 5 YHTEENVETO

Pehmeiden päällysteiden sideaine ja valmistustekniikka on muuttunut 1990-luvulla nopeasti. Öljysoran ovat Suomessa korvanneet PAB-V-päällysteet, joiden sideaineena on pehmeä bitumi V1500 tai V3000. Samalla on kehitetty pehmeiden päällysteiden suunnittelu- ja laadunvalvontavalmiuksia ja selvitetty materiaalien ominaisuuksien vaikutuksia päällysteen laatuun ja kestoikään.

Tässä julkaisussa esitetyt ohjeet pehmeiden päällysteiden suunnitteluun perustuvat pehmeiden päällysteiden tutkimushankkeessa tällä vuosikymmenellä kerättyyn tutkimusaineistoon ja kokemuksiin. Suunnittelussa kiinnitetään huomiota kahteen seikkaan, sideainepitoisuuden optimin määrittämiseen ja päällysteen vedenkestävyyden varmistamiseen. Käytäntönä tähän asti on ollut suunnitella pehmeät päällysteet kokemusperäisesti ilman käytettävälle materiaaleille erikseen tehtäviä selvityksiä. Kokemukset ovat olleet pääsääntöisesti hyviä, mutta joissain päällystyskohteissa on epäonnistuttu ilman selvää syytä. Koska syytä vaikeuksiin ei ole kyetty selvittämään, ei ongelmakohteissa ole päällysteen laatua voitu myöskään päällystesuunnittelulla parantamaan.

Nyt laaditut ohjeet on pyritty tekemään mahdollisimman yksinkertaisiksi ja vähän kokemusperäistä tutkimustietoa vaativiksi. Tällä halutaan varmistaa, että jatkossa myös pehmeille päällysteille vakiintuisi tietty suunnittelukäytäntö. Suunnittelun yksinkertaistamisesta seuraa jonkin verran epätarkkuutta. Tavoitteena on varmistaa, että välittömästi päällystämisen jälkeen tapahtuvaa vaurioitumista tai selkeää kestoajan lyhenemistä ei suunnittelun puutteen vuoksi tapahdu. Tutkimuksessa kerätyn aineiston perusteella on tarkennettu myös Asfalttinormeissa 1995 pehmeitä päällysteitä koskevia vaatimuksia.

Päällysteen käyttäytymistä pyritään selvittämään kiviaineksen ominaisuuksia tutkimalla, jotta mahdolliset vaikeudet laadun saavuttamisessa pystyttäisiin ennakoimaan ajoissa. Päällystesuunnittelun lähtötiedoiksi tarvitaan kiviaineksen hienoaineksesta < 0,063 mm määritettävät

- hienoaineksen tyhjätila
- ominaispinta-ala
- vedenadsorptio.

Lisäksi tulee tuntea koko kiviaineksen rakeisuus. Soramurskeiden humuspiitoisuus määritetään nykykäytännön mukaisesti.

Hienoainestulosten perusteella lasketaan edelleen kiviainesrakeiden pintojen vesihakuisuutta kuvaava hydrofiilisyyden, joka saadaan vedenadsorption ja ominaispinta-alan suhteena. Sideainepitoisuuden määrittämistä varten lasetaan kiviaineksen koko rakeisuuden mukainen kiviaineksen tyhjätila, jonka suuruuteen vaikuttavat hienoaineksen tyhjätila ja kiviaineksen rakeisuus.

Sideainepitoisuus määritetään kiviaineksen tyhjätilan täyttöasteen perusteella. Mitä suurempi tyhjätila kiviainesrakeiden väliin jää sitä enemmän sideainetta tarvitaan riittävän sidonnan saavuttamiseksi. Vastaavasti hienoaineksen ominaispinta-alan kasvu lisää sideainemeneekkiä, koska sideainekalvolla peitettävän pinnan määrä kasvaa. Käytettävissä olleen aineiston perusteella sideainepitoisuutena käytetään sellaista pitoisuutta, jolla täyttöaste on 42 - 45 %. Jos hienoaineksen ominaispinta-ala on < 5000 m<sup>2</sup>/kg, merkitsee tämä keskimäärin 3,4 -3,5 % sideainepitoisuutta.

Kuivaamattomasta kiviaineksesta valmistettavien pehmeiden päällysteiden sideainepitoisuuteen lisätään yleensä 0,6 - 0,8 % diamiinitartuketta. Vedenkestävyydestä ei aiheudu ongelmia, jos hydrofiilisyyden on alle 5 mg/m<sup>2</sup>. Jos tämä ominaisuus nousee yli 7 mg/m<sup>2</sup> on tarvittava tartukepitoisuus selvitettävä erikseen kyselyllä kiviainekselle MYR-kokeilla.

Useimmissa tapauksissa pehmeiden päällysteiden sideainepitoisuutena voidaan kokemuksesta käyttää 3,4 - 3,5 %. Edellä esitetyllä menetelmällä ei sideainepitoisuutta pystytä määrittämään kovin tarkasti. Annettu täyttöasteen ohjearvo sallii kuvan 4 mukaisesti vielä n. 0,4 %-yksikön vaihtelun sideainepitoisuudessa. Epätarkkuutta suunnitteluohjeeseen antavat seuraavat käytetyn aineiston tiedonpuutteet.

- Työnaikaiset olot
- valmistustekniikan vaihtelut
- sideainepitoisuutta ei vaihdeltu, ääriarvot jäivät epäselviksi.

Koska päällystyskohteet on toteutettu vasta 1990-luvulla, ei päällysteiden kestoikä ole vielä pystytty määrittämään. Tästä syystä ei myöskään ole mahdollista arvioida sideainepitoisuuden vaikutusta kestoikään. Tämän tiedon saamiseksi on tärkeää, että kohteiden seuranta jatketaan tulevina vuosina.

PAB-V-massojen levittämistä varastokasoista kokonaisille kohteille ei kesän 1997 levityskokeilujen perusteella voi pitää suositeltavana. Laatuvaatimukset täyttävään IRI4-tasaisuuteen oli erittäin vaikea päästä. Sen sijaan PAB-V 1500 -varastomassan on todettu toimivan hyvin paikkausmassana ja lisämassana REMO-töissä.

## 6 KIRJALLISUUSVIITTEET

1. Apilo, L. Pehmeiden emulsiotekniikalla valmistettujen asfalttipäällysteiden suunnittelu. VTT julkaisu 816. Espoo 1996. 152 s.
2. Vanhatalo, P. Etelä-Suomen emulsiokoetiet 1993. Tielaitoksen selvityksiä 78/93. Tielaitos, Kehittämiskeskus. Helsinki 1993. 47 s.
3. Eskola, K. Pehmeän bitumin kokeilut 1994. Tielaitoksen selvityksiä 5/95. Tielaitos, Kehittämiskeskus. Helsinki 1995. 37 s.
4. Apilo, L., Eskola, K. PAB-V-tutkimukset 1995. Tielaitoksen selvityksiä 82/95. Tielaitos, Kehittämiskeskus. Helsinki 1995. 38 s.
5. Onikki, R., Eskola, K., PAB-V-päällystetutkimukset 1996. Tielaitoksen selvityksiä 19/97. Tiehallinto, Tie- ja liikennetekniikka. Helsinki 1997. 40 s.
6. Emulsiopäällystekoetiet 1992-93. Vauriokartoitus 1994. Tielaitos, Kehittämiskeskus 1994. Moniste.
7. PANK-menetelmät, menetelmäkansio. Päällystealan neuvottelukunta ry, Laboratoriotoimikunta.
8. Asfalttinormit 1995. Päällystealan neuvottelukunta ry, Helsinki 1995.
9. Nieminen, P., Pylkkänen, K. Kiven ja bitumin välisestä tartunnasta. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennusgeologia, Raportti 16. Tampere 1987. 30 s.
10. Nieminen, P., Pylkkänen, K. Päällystekiviainestutkimus osa 1: hienoaineksen laatu. Tampereen teknillinen korkeakoulu, Rakennusgeologia, Raportti 15. Tampere 1987. 19 s.
11. Hudson, S. 13., Davis, R. L. Relationship of Aggregate Voidage to Gradation. Proceedings of the Association of Asphalt paving Technologists, Volume 34. Michigan 1965. S. 574 - 593.
12. Kollanen, T. Asfaltin toiminnallinen suhteitus. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. Espoo 1992. 106 s.

## 7 LIITTEET

1. Tutkituista kiviaineksista tehdyt päällysteet: kohteet ja päällysteiden koostumus.
2. Kiviainesten mineraalikoostumukset.
3. Lajitteiden suhteellisten osuuksien perusteella määräytyvät vähennyskertoimet tyhjätilan määrittämiseksi hienoaineksen tyhjätilan perusteella.
4. Hienoaineksen (< 0,063 mm) ominaispinta-alan ja vedenadsorption välinen korrelaatio tutkituilla kiviaineksilla.

**PAB-V-KIVIAINEKSET**

sivu 1 (2)

Piiri	koneasema / murskauspaikka	Käyttökoehde/ -aika
T	Lukkarinmäki, Somero	Emulsiokoetiet -93 (VEM, kylmäsek.), mm. Lahden pt 13539, PAB-V 1500 T /3,6 %, MYR 0,4 g.
T	Tupuri SrM, Salo	Emulsiokoetiet -93 (VEM, kylmäsek.), mm. mt 1835 Kumpula-Kemiö, PAB-V 1500 T /3,6 %, MYR 0,6-1,0g.
H	<b>Ristivuori, Orivesi</b>	Emulsiokoetiet -93 (VEM, kylmäsek.), mt 328 ja 3232 Vinkkiä-Hirtolahti, PAB-V 3000 T /3,7 %, MYR huono. Vertailuudella BÖ 13-52 T13-15 /3,6%, MYR tyydyttävä. Pinta avoin, purkaantumista hillittiin hiekoituksella.
O	Veskala, Kuivaniemi	Emulsiokoetiet -93 (turbo +30 ... 70 °C), mt 852 Hyry-Ylikärppä, PAB-V 1500T /3,4 %, MYR 0,5 g.
L	<b>Orresokka, Sodankylä</b>	Emulsiokoetiet -93 (turbo +60 °C), mt 9624 Luostontie, PAB-V 1500 T 12 /3,5 %, MYR tyydyttävä tai huono.
L	Kulkujoki, Kittilä	Emulsiokoetiet -93 (turbo +50 °C), ki: 79 Sirkka-Pöntsö, PAB-V 1500 T 10 /3,4 %, MYR 1, 9 g.
L	Haapamaa, Tervola	Emulsiokoetiet -93 (turbo +60 °C), pt 19575, PAB-V 1500 T 11 /3,4 %, MYR 0,1 g.
O	Huikku, Hailuoto	Emulsiokoetiet -93 (turbo +60 °C), mt 816 Potti-Ojakylä, PAB-V 1500 T08 /3,5 %, MYR 2,1 g.
T	Sukara, Kokemäki	ASTO-koetie -91 mt 2460, kylmäsek. PAB-O T13 / 3,4%. T-piirissä paljon käytetty PAB-O-murske.
SK	<b>Hirvikallio, Leppävirta</b>	pt 16365, PAB-O T 13 /3,4 % -95 (turbo +50 ... 65 °C) Massa tehtiin varastokasalle 5/95 (2..8 °C). MYR 6 g. Levitys 18-19.7.95. Osin levityksen aikana ja sen jälkeen voimakas sade. Päälyste alkoi purkautua ja sideainetta oli irtonaisena sen pinnalla. Tielle levitettiin ohut kerros fillerihiekkaa, joka kuivatti ja rauhoitti purkaantumistilannetta. Auringon lämmittäessä tien pinta tekeytyi ja rauhoitti purkaantumisen.
U	<b>Koskenkylä</b>	PAB-V 1500 T /3,5 %, turbo 10/95 (50..70 °C) Ilma 5..11 °C. T08: massa kuivaa ja kiiltävää, peittoaste OK. Pinta ei tuntunut asettuvan. Nostettiin tartukepitoisuudeksi T 10.
U	Inkiläinen, Lankila	PAB-V 1500 T06 /3,3-3,4 %, turbo +40 °C, päälyste tehtiin 11 /95 (-3...+5 °C). MYR 0, 1 g.
V	<b>Paapanluhta, Laihia</b>	mt 687, PAB-O T12 /3,4%, turbo +45-60 °C, päälyste 6/95. MYR 0,6-0,7, tarttuvuus silmämäärin huono. Valmiista päälysteestä irtosi runsaasti kiviä.
V	<b>Kelloperä, Seinäjoki</b>	mt 6215 ja pt 17233, PAB-V/O T10 /3,6 %. REMO-lisämassa, turbo 45-60 °C. Massa epämääräistä. Lämpötilaa säädettiin. Kalpeita kiviä oli edell. runsaasti. Sideaine oli hienoainespaakuissa. Vaihdettiin sideaineeksi BÖ2, jolla massan laatu vaikutti paremmalta.

Piiri	koneasema / murskauspaikka	Käyttökohde/-aika	sivu 2 (2)
T	<b>Kunnanmaa, Yläne</b>	Emulsiokokeiluissa -92 ongelmia, mt 210 Yläne-Virttaa PAB-V 1500 T /3,5 %, turbo +50 % Kesällä -95 ei ongelmia PAB-O- ja PAB-B-massojen valmistuksessa turbolla.	
O	<b>Pekastinvaara, Kajaani</b>	PAB-V 1500T10/3,4 %, PAB-O-rouhetta 35%. Kesällä-95 lievää ongelmia: massa ok (sankokoe), mutta päällystämisen jälkeen seur.pväenä lähti irtoilemaan. Massa oli kuivan oloista ja pinta halkeili. Valmiin päällysteen päälle ajettiin vettä ja jyrättiin, jotta pinta saatiin rauhoittumaan. Massan sideainepit. nostettiin.	
KaS	Sorjola	PAB-B T /4,2 %, turbo -96	
KaS	<b>Loukola, Pieksämäki</b>	Mataramäen PAB-V 1500 -Kokeilu 95: kun sekoituslämpötilaa nostettiin, tarttuvuus huononi. Tartukepitoisuudet 0,8%, 0,6%, 0,4% ja 0,2% Turbo 30/40/60 °C. MYR-arvot 0,6 ... 19 g.	
KaS	Huuhkonvuori	PAB-V 1500 T06 /3,4 %, turbo 8/96, MYR-arvot noin 0 g sekoituslämpötiloissa 35 ... 70 °C.	
SK	<b>Laajakumpu</b>	Ongelmia -92, jolloin kylmäsek. PAB-O BÖ2 T 13/3,5%. Purkaantumisen ja reikiytyminen alkoi noin 1 vkon kuluttua päällystämisestä. Ensimmäisen viikonloppuna satoi runsaasti. Massa sek. huonosti ja oli epähomogeenista. Tartunta oli huono ja huononi vielä varastoinnin aikana. Massa paakkuuntui valmistuksen aikana pieniksi sideaine- ja hienoainespalloiksi. Massan väri vaihteli voimakkaasti.	
		PAB-V 1500 T06 /3,5%, turbo 8/96, MYR-arvot < 0,5 g sekoituslämpötiloissa 35 ... 65 °C, ei ongelmia.	
T	Lövböle	PA13-V 1500 T10 /3,4%, turbo 6/96. MYR-arvot 0 ... 0,2 g sekoituslämpötiloissa 40 ... 80 °C.	
L	Honkanen	PAB-V 1500 T08 /3,6%, turbo 7/96. MYR-arvot 0,3 ... 0,9 g sekoituslämpötiloissa 30 ... 75 °C.	
V	Haikne	PA13-V 1500 T06 /3,5%, turbo 6/96. MYR-arvot 0,1---0,2g sek.lämpötiloissa 45 ... 70 °C ja 30 oC. MYR 1,6 g	
T	Tupuri KaM	PA13-V 1500 T10 /3,4%, turbo 8/96, MYR-arvot < 0,5 g sekoituslämpötiloissa 40 ... 65 °C.	
O	Kallioselkä	PA13-V 1500 T06 13,25%, turbo 8/96. MYR-arvot 0 g sekoituslämpötiloissa 30 ... 80 °C.	
U	Rähi	PA13-V 1500 T07 /3,4%, turbo 5/97. MYR-arvot 0,2 g sekoituslämpötiloissa 50 °C.	
U	Risten	PA13-V 1500 T07 /3,4%, turbo 9/96. MYR-arvot 0 g sekoituslämpötiloissa 50 ... 65 % ja 0,5 g 40 °C:ssa.	

KIVIAINES	MINERAALIT									
<b>Kelloperä</b>	amfiboli	kloriitti		plagioklaasi						
<b>Koskenkylä</b>	kvartsi	plagioklaasi		amfiboli	kloriitti	biotriitti				smektiitti
<b>Lankila</b>	biotriitti	plagioklaasi		kvartsi	kalimaasäipä	kalimaasäipä	kloriitti	amfiboli		
<b>Leppävirta</b>	kvartsi	kloriitti		amfiboli	plagioklaasi	plagioklaasi	biotriitti	kalimaasäipä		
<b>Loukola</b>	kvartsi	biotriitti		kloriitti	plagioklaasi	plagioklaasi	amfiboli	kalimaasäipä		smektiitti
<b>Paapanluhta</b>	kvartsi	plagioklaasi		muskoviitti	kalimaasäipä	kalimaasäipä	kloriitti			
<b>Pekastinvaara</b>	amfiboli	plagioklaasi		kalimaasäipä	biotriitti	biotriitti	kloriitti			
<b>Sorjola</b>	kvartsi	plagioklaasi		kalimaasäipä	biotriitti	kalimaasäipä	amfiboli	kloriitti		
<b>Yläne</b>	biotriitti	kvartsi		kalimaasäipä	plagioklaasi	kalimaasäipä	kloriitti			
<b>Huuhkonvuori</b>	kvartsi	plagioklaasi		kalimaasäipä	biotriitti	kalimaasäipä	kloriitti	amfiboli		
<b>Laajakumpu</b>	kvartsi	plagioklaasi		biotriitti	amfiboli	kalimaasäipä	kalimaasäipä	kloriitti		



Lajitteiden suhteellisten osuuksien perustella määräytyvät vähennyskertoimet kiviaineksen tyhjätilan määrittämiseksi hienoaineksen tyhjätilan perusteella

$P_n / P_{n-1}$	$F_{\text{pyöreä}}$	$F_{\text{särmikäs}}$
1,00	1,0000	1,000
1,05	0,9805	0,985
1,10	0,9583	0,970
1,15	0,9325	0,951
1,20	0,9098	0,935
1,25	0,9015	0,924
1,30	0,8945	0,920
1,35	0,8908	0,919
1,40	0,8908	0,919
1,45	0,8926	0,920
1,50	0,8971	0,921
1,55	0,9032	0,924
1,60	0,9107	0,926
1,65	0,9193	0,931
1,70	0,9260	0,938
1,75	0,9332	0,947
1,80	0,9400	0,955
1,85	0,9465	0,963
1,90	0,9528	0,970
1,95	0,9589	0,978
2,00	0,9647	0,985
2,05	0,9703	0,993
2,10	0,9757	1,000
2,15	0,9805	
2,20	0,9856	
2,25	0,9905	
2,30	0,9953	