

## EPÄILLYT KOHTEET

Tiedot tiemestareilta, asiakaspalautteet

Inventointi

## INVENTOINNIN MUKAISET PINTAKELIRIKKOKOHOEET

ANALYSOINTI

PINTAKELIRIKKO

MUU SYY

Tutkimukset ja suunnittelu

Korjaus, seuranta

Taina Rantanen, Kari Pylkkänen, Teuvo Kasari

## Pintakelirikkoselvitys

Tiehallinnon selvityksiä 12/2008

Taina Rantanen, Kari Pylkkänen, Teuvo Kasari

## **Pintakelirikkoselvitys**

**Tiehallinnon selvityksiä 12/2008**

**Tiehallinto**

2008

ISSN 1457-9871  
ISBN 978-952-221-047-0  
TIEH 3201092

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

ISSN 1459-1553  
ISBN 978-952-221-048-7  
TIEH 3201092-v

Edita Prima Oy  
Helsinki 2008

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



Painotuote

**TIEHALLINTO**  
Hämeen tiepiiri  
Yliopistonkatu 38  
PL 376  
33101 TAMPERE  
Puhelin 0204 22 11

Taina Rantanen, Kari Pylkkänen, Teuvo Kasari: Pintakelirikkoselvitys. Helsinki 2008.  
Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 12/2008, 24 s. + liitt. 33 s. ISSN 1457-9871, ISBN 978-952-221-047-0, TIEH 3201092, ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-048-7, TIEH 3201092-v.

Asiasanat: soratiet; kulutuskerros; kelirikko; materiaalit; laatuvaatimukset  
Aiheluokka: 70

## TIIVISTELMÄ

Pintakelirikkoselvitys tehtiin Hämeen ja Vaasan tiepiirien toimeksiannosta sellaisille sorateille, joilla kulutuskerros pehmenee muulloinkin kuin roudan sulamisen alkuvaiheessa. Tämäntyyppisen pintakelirikon määrä on lisääntynyt viime vuosina ja sen aiheuttamat ongelmat ovat tulleet esille enenevässä määrin syksyn sadejakson ja sulan kauden pidentyessä.

Selvityksen tarkoituksena oli yksilöidä tarkemmin ne olosuhde- ja materiaali-tekijät, jotka pintakelirikkoon johtavat, sekä arvioida, miten nämä tekijät tunnistetaan ja mahdollisuuksien mukaan vältetään jo ennalta. Selvitystyö jakaantui ongelman laajuuden selvittämiseen, materiaalitutkimuksiin sekä pintakelirikon hallintaan tähtäävien toimenpiteiden määrittämiseen.

Selvityksen pääpaino oli laboratoriotutkimuksissa, joita tehtiin pintakelirikosta kärsiviltä teiltä otetuille kulutuskerrosnäytteille sekä sorastusmateriaalin ottoalueiden kasanäytteille. Laboratoriotutkimusten tavoitteena oli tunnistaa materiaaleille yhteiset ominaisuudet ja määrittää niille raja-arvoja, joiden avulla voidaan ennaltaehkäistä pintakelirikkoa.

Ongelman laajuutta selvitettiin Vaasan tiepiirissä pintakelirikkoinventointien tietojen avulla. Hämeen tiepiirissä inventointeja ei ollut käytössä ja laajuutta arvioitiin tiemestarikyselyllä ja maastokäynneillä sekä asiakaspalautteiden avulla. Vaasan tiepiirissä pintakelirikon esiintymiselle ei voitu osoittaa alueellisia eroja. Vertailemalla keväällä ja syksyllä tehtyjä inventointeja pyrittiin löytämään erityisen pintakelirikkoalttiit tiet. Hämeessä pintakelirikko-ongelma on keskittynyt tiettyihin kiviaineksen ottoalueisiin ja ajallisesti syksyyn.

Ongelmallisille murskeille löydettiin kokeissa yhteisenä ominaisuutena suuri biotiittikiilteen määrä sekä suuret dielektrisyysarvot. Myös heikko kulutuskestävyys oli monille materiaaleille yhteistä. Muina pintakelirikkoalttiuteen vaikuttavina tekijöinä tarkasteltiin kulutuskerroksen paksuutta ja poikkiprofiilia.

Suosituksina esitetään toimenpiteitä pintakelirikon hillitsemiseksi sekä ennalta ehkäisemiseksi. Oleellisia ovat tien muotoilu ja pintakuivatuksen varmistaminen. Todettiin, että kattavien pintakelirikkoinventointien avulla saadaan tietoa siitä, miten laajasti pintakelirikko vaikuttaa tienkäyttäjälle tarjottavaan laatuun. Inventointiohjeen mukaan pintakelirikko jaetaan kolmeen luokkaan ja inventoinnit esitetään tehtäväksi pääasiallisesti syksyllä.

Tutkimuksen tuloksena suositellaan, että alueilla, joilla esiintyy pintakelirikkoalttiita teitä, asetetaan kiviaineksen kulutuskestävyydelle ja hienoineksen laadulle vaatimuksia.

Taina Rantanen, Kari Pyökkänen, Teuvo Kasari: Pintakelirikkoselvitys (Utredning av ytmenföre) Helsingfors 2008. Vägförvaltningen. Vägförvaltningens utredningar, 12/2008 24 s. + bilagor 33 s. ISSN 1457-9871, ISBN 978-952-221-047-0, TIEH 3201092, ISSN 1459-1553, ISBN 978-952-221-048-7, TIEH 3201092-v.

Nyckelord: grusväg; slitlager; ytmenföre; material; kvalitetskrav  
Ämnesklass: 70

## SAMMANFATTNING

Den här utredningen om ytmenföre gjordes på de grusvägar, där ytan av vägen blir mycket mjuk också utom inledningsfas av tjälens smältning. Mängden av sådant här ytmenföre har ökat under de senaste åren och det har brutit fram som problem i tillväxande mån på grund av förlängning av höstens regnperiod samt förlängning av ofrusen period.

Målet för den här utredningen var att närmare identifiera de förhållandena och de materialfaktorerna som leder till ytmenföre samt söka upp metoder med vilka man kan identifiera de här faktorerna och förhindra problemen. Utredningen fördelades till redogörande av problemets omfattning, materialforskningar och bestämningen av de åtgärderna för att kontrollera ytmenförebildning.

I Vasa vägdistrikt redde omfattningen av problemet ut med inventeringar, i Tavastlands vägdistrikt med en vägmästarutfrågning och med terrängbesöker samt med kundfeedback. Tyngdpunkten av hela utredningen var på laboratorieforskningar som gjordes till slitlagermaterial av de vägar som drabbades av ytmenföre och till material från grustag. Målet för laboratorieforskningar var att identifiera gemensamma egenskaper av de mjuknande slitlagrens materialer och att hitta gränsvärder för goda materialer.

I Vasa vägdistrikt det fanns inga regionala skillnader i förekomst av ytmenföre. Särdeles ytmenförebena vägar strävades att upphitta med att jämföra inventeringar i vår- och hösttiden. I Tavastland koncentrerade ytmenföre till vissa grustagen och det förekom mest vid hösttiden. Under laboratorieforskningar upptäcktes att problematiska krossmaterialer hade alla en stor mängd av biotitglimmer samt höga dielektricitetvärdena. En stor del av materialer hade också svag slithållfasthet. Som andra faktorer med påverkanden på ytmenföre undersöktes tjockleken av slitlager och tvärprofilen av vägen.

Som rekommendationer presenteras åtgärder för att återhålla och förebygga ytmenföre. Till väsentliga faktorer befanns vägens tvärprofil medsäkringen av ytavvattning. Genom täckande ytmenföreinventeringar skall man få vetskap om hur vitt ytmenföre inverkar på kvalitetsnivån erbjudit åt trafikanten. Enligt inventeringsanvisning delas ytmenföre på tre klasser. I den samma anvisningen föreslås också att inventeringarna skulle utföras huvudsakligen på hösten.

Som forskningsresultat rekommenderas också att då det finns ytmenförebena vägar borde man ställa krav på slithållfasthet och finmaterials kvalitet.

## ESIPUHE

Pintakelirikkoselvitys teetettiin Hämeen ja Vaasan tiepiirien yhteishankkeena. Selvityksen tarkoituksena oli

- kartoittaa ongelman laajuutta kyseisissä piireissä
- selvittää tutkimuksin ne materiaaliominaisuudet, jotka aiheuttavat kulusterroksen velliintymisen sen vesipitoisuuden kasvaessa
- arvioida mittauksin ne soratiellä vallitsevat olosuhteet, jotka lisäävät tien pintakelirikkoalttiutta
- esittää menetelmiä pintakelirikko-ongelman hallitsemiseksi.

Työ on tehty Sito Tampere Oy:n, Tampereen teknillisen yliopiston ja Destia Oy:n yhteistyönä. Työryhmään ovat kuuluneet seuraavat henkilöt:

Anne Valkonen	Hämeen tiepiiri
Arvo Lähde	Vaasan tiepiiri
Taina Rantanen	Sito Tampere Oy
Tanja Pesonen	Sito Tampere Oy
Kari Pylkkänen	TTY
Teuvo Kasari	Destia Oy:n

Työn aikana on kuultu kummankin piirin tiemestareita. Tiehallinnon Keskushallinnosta Tuovi Päiviö-Leppänen on osallistunut projektikokouksiin ja työn tulokset on saatettu tiedoksi selvityksen tekovaiheessa käynnissä olleeseen Sorateiden toimintalinjat -työhön sekä hoidon hankkijoille.

Tampere 20.11.2008

Tiehallinto  
Hämeen ja Vaasan tiepiirit.

**Sisältö**

1	TAUSTAA	9
2	SELVITYKSEN SISÄLTÖ	10
2.1	Pintakelirikko-ongelman laajuuden ja haitan selvittäminen	10
2.2	Laboratoriotutkimukset	12
3	TULOKSET	13
3.1	Ongelman laajuus	13
3.1.1	Vaasan tiepiiri	13
3.1.2	Hämeen tiepiiri	13
3.2	Keskeiset koekohteiden materiaalia kuvaavat ominaisuudet	14
3.3	Muut pintakelirikkoa edistävät tekijät	17
4	TULOSTEN KÄYTTÖÖNOTTO, SUOSITUKSET	18
4.1	Pintakelirikkoinventoinnit	18
4.2	Korjausmenetelmistä	20
4.3	Materiaalivaatimukset	20
5	LÄHTEET	24
6	LIITTEET	24

**Kuvaluettelo**

Kuva 1. Mt 17639, kuva syksyltä 2006.....	10
Kuva 2. Maantie 17353, kuva keväältä 2006.....	10
Kuva 3. Esimerkki pintakelirikkoisen tien pinnasta.....	11
Kuva 4. Esimerkki pintakelirikkoisen tien pinnasta.....	12
Kuva 5. Vaasan tiepiirissä inventoitu (km/vaurioluokka) pintakelirikko.....	13
Kuva 6. Tiellä ja varastokasasta otettujen näytteiden keskiarvojen vertailu ohjealueisiin.....	15
Kuva 7. Suomalaisten ja ruotsalaisten ohjealueiden sekä tiiveimmän pakkauksen raekokojakauman vertailua.....	16
Kuva 8. Micro Devalin ja kuulamylyn välinen korrelaatio.....	21
Kuva 9. TS -kokeiden tulokset koekohteiden näytteistä.....	22

**Taulukkoluetelo**

Taulukko 1. Pintakelirikon vaikeus syksyllä 2005 Hämeen vuoden 2004 ongelmallisilla kohteilla.....	14
--	----



## 1 TAUSTAA

Vaasan tiepiirin soratieverkolla pintakelirikko on haitannut liikennöintiä jo pitkään. Hämeen tiepiirissäkin ongelmaa on ollut, mutta se tuli voimakkaammin tietoisuuteen Nokian alueen sorateilla vuonna 2004. Tämän jälkeen Hämeessäkin pintakelirikon aiheuttamia ongelmia on tullut esille enenevässä määrin syksyn sadejaksojen ja sulan kauden pidentyessä. Pintakelirikkoisten teiden määrä on lisääntynyt kummassakin piirissä viime vuosina. Erityisesti syksyisin ongelmaa on esiintynyt entistä enemmän. Selkeitä syitä tähän on kaksi: varsinkin syksyn (loka-joulukuu) säät ovat poikkeuksellisesti olleet aikaisempia vuosia sateisempia, ja lämpötila on pysytellyt plussan puolella, kun se normaalisti tuolloin on pakkasella.

Pintakelirikko yhdistetään yleensä keväällä tapahtuvan roudan sulamisen melko lyhyeen alkuvaiheeseen. Tässä selvityksessä puhutaan sellaisesta pintakelirikosta, joka vaivaa tietä vuoden mittaan toistuvasti sulamisvaiheen ulkopuolellakin ja esiintyy pahimmissa tilanteissa jo lyhyen sadejakson jälkeen.

Tämän selvityksen avulla haluttiin tarkemmin yksilöidä ne olosuhde- ja materiaalitekijät, jotka pintakelirikkoon johtavat, sekä hakea niitä menetelmiä, joiden avulla osataan tunnistaa ja välttää nämä tekijät jo ennalta. Toisaalta haettiin myös keinoja, joilla jo syntynyt pintakelirikko saadaan hallintaan.

Sorateiden hoidon toimintatavat ovat toisaalta muuttuneet urakointiin siirtymisen myötä. Vielä 1990-luvulla oli tiemestaripireissä käytössä runsaasti tiehöyliä ja niitä myös käytettiin. Sorateiden laatuvaatimusten painoarvo oli erilainen kuin nykyisin. Sorateiden profiili täytti nykyistä paremmin hyvän kunnan vaatimukset eli tien sivukaltevuus oli kunnossa, reunapalteleita ei juuri ollut, ja samalla myös paremman hoidon seurauksena tiessä oli vähemmän kuoppia. Siirryttäessä täysimääräiseen urakointiin 2000-luvulla urakkavaatimusten pääpaino on pintakunnossa. Vaikka reunapalteiden poisto kuuluu tehdä soratien pintaa muotoiltaessa tai tasattaessa, työ on monesti jäänyt tekemättä.

## 2 SELVITYKSEN SISÄLTÖ

Selvitystyö aloitettiin elokuussa 2006 ja se jakaantui pintakelirikko-ongelman laajuuden selvittämiseen, materiaalitutkimuksiin ja pintakelirikon hallintaan tähtäävien toimenpiteiden määrittämiseen.

### 2.1 Pintakelirikko-ongelman laajuuden ja haitan selvittäminen

Vaasan tiepiiri oli käynnistänyt ongelmakohteiden kartoittamiseksi pintakelirikkoinventoinnit keväällä 2005. Ensimmäiset inventoinnit kohdennettiin niille teille, joilla tiemestareilta saadun arvion mukaan oli tiedossa pintakelirikko-ongelma ja sen oletettiin liittyvän kulutuskerroksen materiaalin laatuun. Kuvat 1 ja 2 ovat Vaasan kohteilta syksyllä ja keväällä 2006.



Kuva 1. Mt 17639, kuva syksyllä 2006.



Kuva 2. Maantie 17353, kuva keväältä 2006.

Lisäksi Vaasan tiepiiri teetti diplomityön, jossa arvioitiin kelirikosta ja painorajoituksista aiheutuvia suoria ja välillisiä haittoja ja kustannuksia.

Hämeen tiepiirissä inventointeja ei ole toistaiseksi tehty, vaan aikaisemmin tiedossa olleiden Nokian "velliteiden" ohella lisäkohteita kartoitettiin tiemestariykselyllä. Apuna käytettiin myös niitä asiakkailta saatuja LIITO-palautteita, jotka koskivat sorateiden pölyämistä ja kuraisuutta. Lisäksi selvityksen aikana tehtiin maastokäyntejä.



*Kuva 3. Esimerkki pintakelirikkoisen tien pinnasta.*

Työvaihe sisälsi myös arvioinnin siitä, onko havaittujen ongelmien laajuudessa tapahtunut muutoksia ja onko havaittavissa selviä paikkakunta- tai aluesidonnaisuuksia. Laajempaa muita tiepiirejä koskevaa selvitystä työhön ei sisällynyt



*Kuva 4. Esimerkki pintakelirikkoisen tien pinnasta.*

## 2.2 Laboratoriotutkimukset

Selvityksen pääpaino oli laboratoriotutkimuksissa. Tutkimusten tavoitteena oli selvittää, mitkä ovat ne kulutuskerrosmateriaalin ominaisuudet, jotka ovat pintakelirikkoisille teille yhteisiä. Tarkoituksena oli myös määrittää näille ominaisuuksille sellaisia raja-arvoja, joiden avulla voidaan ennakolta sulkea pois heikkojen materiaalien käyttö kulutuskerroksessa eli ennaltaehkäistä pintakelirikkoa.

Hämeen tiepiirissä laboratoriotutkimukset oli aloitettu 2004 Nokian 13 ongelmallisella soratiekohteella, joiden sijainti on esitetty liitteen 1 kartassa. Tutkimuksista on erillinen raportti.

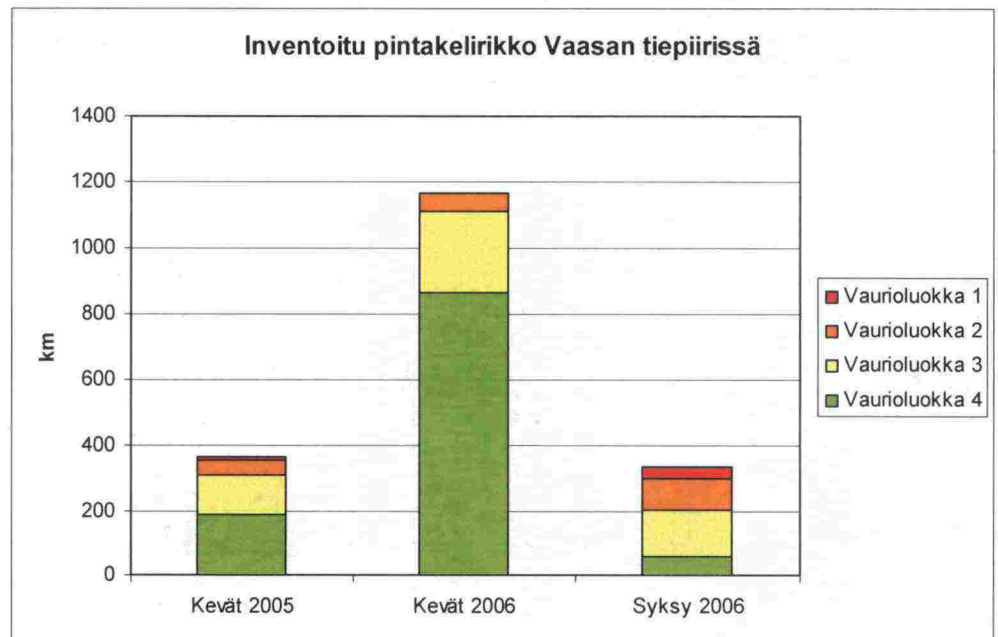
Vaasan tiepiiri valitsi syksyllä 2006 eri puolilta piiriä tarkempiin tutkimuksiin yhteensä 12 pintakelirikkokohdetta. Tutkimuksia tehtiin sekä tienäynteille että varastokasanäynteille. Tutkimukset ja niiden tulokset on esitetty erillisessä tutkimusraportissa, tutkimuskohteiden sijainti on esitetty liitteen 2 kartassa. Keskeisimmät tutkimustulokset on esitetty kohdassa 3.2.

### 3 TULOKSET

#### 3.1 Ongelman laajuus

##### 3.1.1 Vaasan tiepiiri

Inventointien (kevät 2005, kevät 2006 ja syksy 2006) tulokset on esitetty alueellisten erojen havainnoimiseksi liitteen 3 kartoilla. Kartoista on pääteltävissä, että pintakelirikon esiintymiselle ei voida osoittaa mitään alueellisia eroja, vaan se jakaantuu tasaisesti eri puolille piiriä. Sen sijaan pintakelirikon jakaantumisessa eri vaurioluokkiin on nähtävissä lieviä alueellisia eroja etenkin syksyn 2006 mittauksessa, jossa pahimpia alueita on mm. Vöyrin, Laihian ja Alahärmän tienoilla.



Kuva 5. Vaasan tiepiirissä inventoitu (km/vaurioluokka) pintakelirikko.

Kuten kuvasta 5 on nähtävissä, suurin osa pintakelirikosta on inventoitu vaikeusasteeltaan lieväksi tai melko lieväksi (vaurioluokat 3 ja 4).

Kokonaismäärä on ollut suurin kevään 2006 inventoinnissa, mutta vaikeusasteeltaan rankempaa pintakelirikkoa (vaurioluokat 1 ja 2) esiintyi eniten syksyllä 2006. Liitteen 4 kartalta puolestaan nähdään ne kohteet, joilla pintakelirikkoa esiintyy sekä keväällä että syksyllä. Tämän tarkastelun tarkoituksena oli löytää ne tiet, joilla on suurin pintakelirikkoalttius eli joilla pintakelirikkoa esiintyy aina, kun on runsaasti sateita tai sulamisvesiä.

##### 3.1.2 Hämeen tiepiiri

Hämeessä ongelma on selvityksen mukaan toistaiseksi keskittynyt vain tiettyihin ottoalueisiin ja kohteet sijoittuvat Nokian ja Vesilahden lähistölle. Näiden sorateiden osalta tehtiin laboratoriotutkimukset ennen tämän selvityksen

työn alkamista vuosina 2004 ja 2005. Taulukossa 1 on tiepiirin asiantuntijan arvio pintakelirikon vaikeudesta syksyllä 2005 Hämeen vuoden 2004 ongelmallisilla kohteilla.

*Taulukko 1. Pintakelirikon vaikeus syksyllä 2005 Hämeen vuoden 2004 ongelmallisilla kohteilla.*

Tie	Tieosa	Pintakelirikon vaikeus arvioituna syksyllä 2005, su- luissa mahdollinen vaurioluokka
2501	2, 3, 4	Paha (1–2)
2502	1	Paha (1–2)
2991	1	Melko paha (2–3)
12991	2	Melko paha (2–3)
12993	1	Melko paha (2–3)
12995	1	Melko paha (2–3)
13761	1	Melko paha (2–3)
13763	1	Melko paha (2–3)
13765	1	Paha (1–2)
13767	1	Paha (1–2)
13768	1	Melko paha (2–3)
13769	1	Paha (1–2)
13771	2	Paha (1–2)

Tässä esitettyjen teiden lisäksi on pintakelirikkoa arvioitu esiintyvän jossain määrin myös kohteilla 3253, 13973, 13979, 14013, 14017 ja 14207.

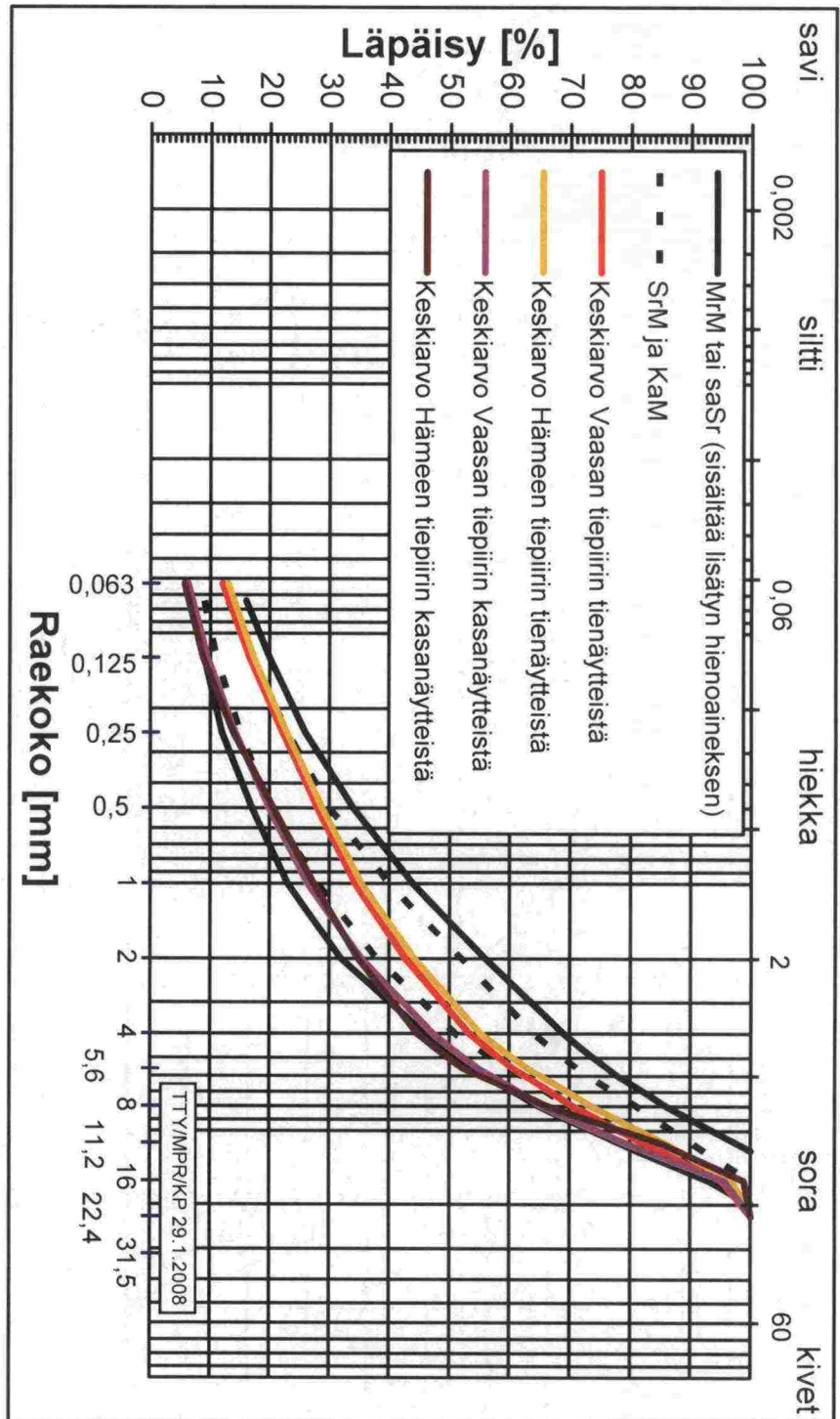
Saatujen palautteiden mukaan pintakelirikko näyttäisi olevan pahempaa syksyllä kuin keväällä. Haittakausi on sääolosuhteiden muuttuessa ollut koko ajan pitenemässä.

### 3.2 Keskeiset koekohteiden materiaalia kuvaavat ominaisuudet

Tehtyjen materiaalitutkimusten perusteella ongelmallisille murskeille osoit-  
tautui yhteiseksi

- suuri biotiittikiilteen määrä (kivihieestä tutkittuna vähintään 10 %)
- suuri kuulamylyarvo
- suuri dielektrisyysarvo

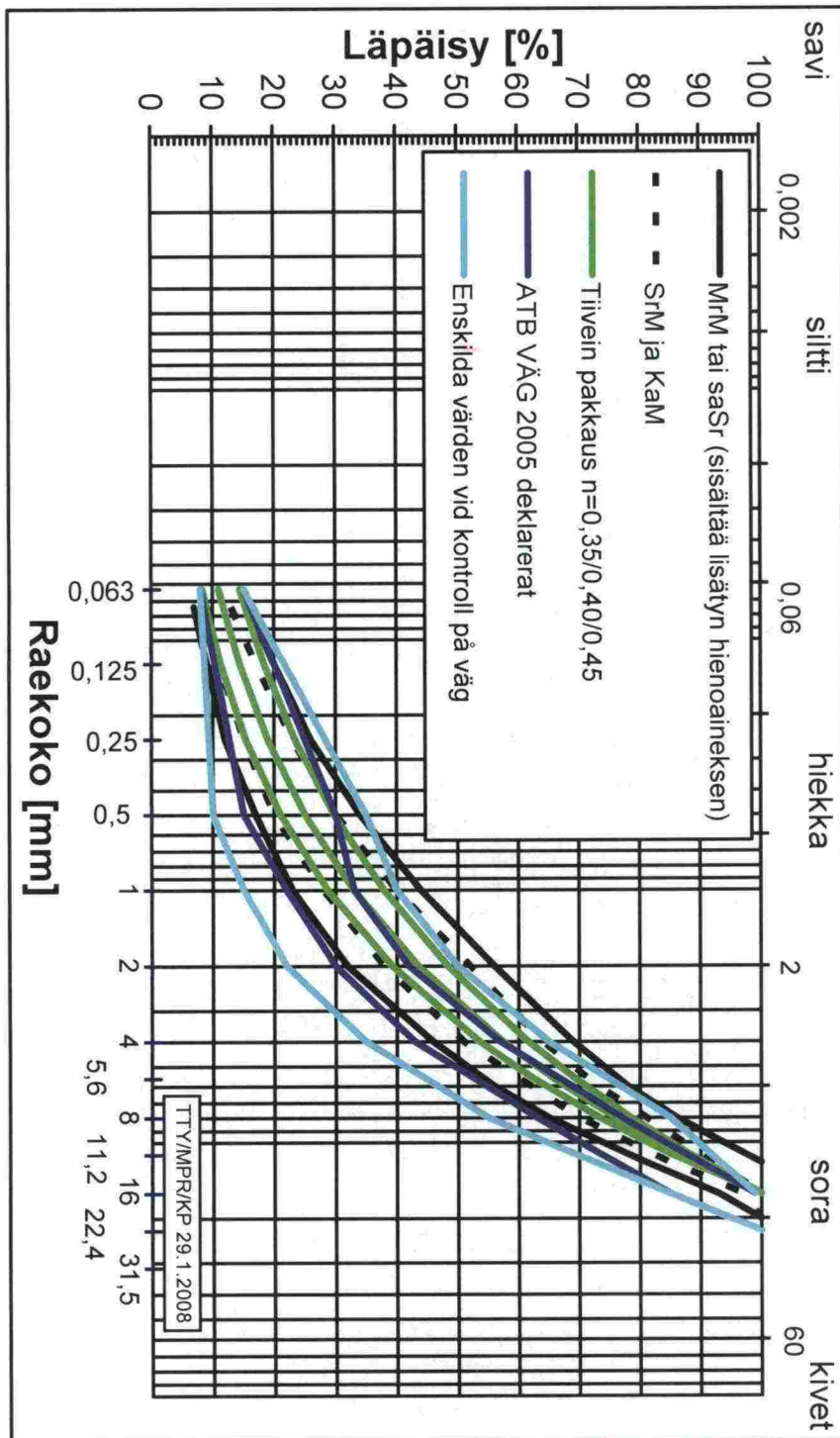
Lisäksi todettiin, että tieltä otetun materiaalin raekokojakautumalle on tyypilistä, että se noudattaa raekoossa >4 mm melko hyvin nykyisen ohjealueen alimpia rajakäyriä, mutta siirtyy < 4 mm rakeilla lähelle ohjealueen ylempiä rajakäyriä (kuva 6).



Kuva 6. Tiellä ja varastokasasta otettujen näytteiden keskiarvojen vertailu ohjealueisiin.

Tienäytteiden hienoainespitoisuus on suurempi kuin varastokasasta otetuilla näytteillä, mikä voi johtua kasanäytteiden vanhan ja uuden soramurskeen sekoittumisesta ja ulkopuolelta tulevasta lisähienoaineksestä tai hienonemisesta.

Laboratoriotutkimusten perusteella saatavien raja-arvojen lisäksi verrattiin meillä käytössä olevaa rakeisuusvaatimusta Ruotsin sorateiden kulutuskerrosta koskeviin vaatimuksiin (kuva 7).



Kuva 7. Suomalaisen ja ruotsalaisten ohjealueiden sekä tiiveimmän pakkauksen raekokojakauman vertailua.

Kuvan 7 mukaan Suomessa nykyisin käytössä olevat, valmiin kulutuskerroksen kiviaineksen ohjealueen rajakäyrät noudattavat hyvin tiiveimmän pakkauksen käyriä, jolloin niiden mukaisilla kiviaineksilla pitäisi tiivistettynä ja suolattuna saada kiinteät ja tasaiset kulutuskerrokset. Pintakelirikkoalittiilla sora-



teillä valmiin kulutuskerroksen kiviaineksen hienoainemäärä tulisi kuitenkin rajoittaa 8–10 %:iin eli rakeisuuskäyrän tulisi noudattaa nykyisen ohjealueen alimpia rajakäyriä. Uuden sorastusmurskeen valinnassa pintakelirikkoaltille tielle tämä edellyttää vanhan kulutuskerroskiviaineksen rakeisuuden, kerrosten sekoittumisen ja uuden sorastusmurskeen rakeisuuden ja hienonemisen huomioimista, jotta kyseiseen tavoitteeseen päästään. Hienonemista voidaan rajoittaa asettamalla käytettävälle kiviainekselle lujuusvaatimuksia, esimerkiksi kuulamyly- tai Micro Deval -raja-arvon muodossa. Sekoittumisesta johtuvaa hienoainemäärän kasvua voidaan rajoittaa uuden sorastusmurskeen rakeisuuskäyrävaatimuksilla. Pintakelirikkoaltille teillä uuden sorastusmurskeen rakeisuuden ohjekäyrä voisi olla esimerkiksi TYLT Murskaustyöt 1999 mukaisen PAB-V 0/16 mm kiviaineksen ohjealueen alimpien rajakäyrien (hienoainesta 1–2 %) mukainen. Se on muuten likimain samanlainen kuin kuvassa 5 esitetty Ruotsissa käytetty karkein yksittäinen, tienäytteestä saatu rakeisuus, mutta sisältää vähemmän hienoainesta.

### 3.3 Muut pintakelirikkoa edistävät tekijät

Koekohteilla arvioitiin kulutuskerrosmateriaalin laadun lisäksi muita tekijöitä, jotka voivat vaikuttaa pintakelirikkoaltille. Tarkastelussa olivat mukana

- kulutuskerroksen paksuus
- poikkiprofiili.

Arviointia varten tehtiin PTM-mittauksia. Mittaustulosten tulkinta osoittautui hankalaksi, eikä niistä saatu selkeää kokonaiskuvaa. Mittauksista pystyttiin kuitenkin päättelemään, että sivukaltevuudet kohteissa olivat todella pienet, alle 1 %.

Kulutuskerroksen paksuutta arvioitiin maatumaluuksilla ja näytteenotolla. Tutkimusten mukaan kerrosrajaa ei ole mahdollista tulkita tarkkaan ja toisaalta kulutuskerroksen paksuus vaihtelee runsaasti tien poikkileikkaussuunnassa, joten mittauslinjan tulos ei välttämättä päde koko tielle.

Näytepisteiden tietojen perusteella voidaan todeta, että kulutuskerroksen liian suuri paksuus tuo ongelmia, samoin liian pieni sivukaltevuus. Kuivatusjärjestelmän toimivuudesta huolehtiminen onkin keskeinen asia niin pinta- kuin runkokelirikonkin ehkäisyssä.

Osalla pintakelirikkoaltille näytteenoton yhteydessä tehty olosuhdekuvaus viittaa myös siihen, että kohteilla on kantavuuspuutteita. Siksi olisikin tärkeää tehdä valikoidusti kantavuusmittauksia, jotta voidaan arvioida, johtuvatko ongelmat kulutuskerrosta syvemmillä.

Tien muotoilu ja pintakuivatuksen varmistaminen on hyvin tärkeää. Sivukaltevuuksien saavuttamiseen vaikuttaa ilmeisen paljon työmenetelmä ja työtaito. Tiemestarien havaintojen mukaan alustetta käyttämällä ei välttämättä oikeaa poikkileikkausmuotoa saada syntymään tai ainakin työ pitää tehdä nykyistä huolellisemmin. Lisäksi menetelmä siirtää kulutuskerroksen karkeimpia rakeita ja jättää kuoppia ja reunapalteleita. Huonosti soveltuvan työmenetelmän aiheuttamat puutteet korostuvat ylileveillä teillä. Pienen sivukaltevuuden ja reunapalteiden seurauksena vesi jää seisomaan tien pinnalle, joka ajan myötä pehmenee ja reikiintyy helposti (SORAVOL).

## 4 TULOSTEN KÄYTTÖNOTTO, SUOSITUKSET

### Pintakelirikon hillintä, toimintamalli

Olemassa olevat kohteet

1. Ongelman tunnistaminen inventointien avulla
2. Tunnistetun kohteen jatkohoito: tien sivukaltevuutta parannetaan hoitotoimenpiteiden yhteydessä, mahdollinen ylileveän tien kavennus, muut korjaustoimenpiteet

Ennaltaehkäisy

1. Materiaalivalinta
2. Kuivatuksen kunnostaminen
3. Tien poikkileikkaus
  - Reunapalteiden poisto
  - Leveys korkeintaan 6–6,5 m
  - Sivukaltevuus vähintään 4–5%

### 4.1 Pintakelirikoinventoinnit

Pintakunto vaikuttaa tien käyttäjän kokemaan palvelutasoon koko sulan kauden. Yhtenä pintakuntoon vaikuttavana tekijänä pintakelirikko vaikuttaa osaltaan saatavaan asiakaspalautteeseen ja sen pitäisi siten olla näkyvissä myös sorateille asetettavissa tavoitteissa. Kattavan inventoinnin avulla saadaan tietoa siitä, miten laajasti pintakelirikko haittaa tienkäyttäjiä niin alueellisesti kuin ajallisestikin.

Pintakunnon määritelmään ja määrittämiseen ollaan kaikkiaan ottamassa kantaa vuonna 2008 meneillään olevassa sorateiden toimintalinjatyössä, jossa myös tämän työn tuloksia käytetään hyväksi.

Sekä pinta- että runkokelirikoinventointien tulokset ovat hyvin herkkiä inventointiajankohdalle. Tarkemmat päätelmät inventointien ”oikeellisuudesta” vaativat useamman vuoden tietoja sekä seuranta inventointia edeltävän ajanjakson ja inventoinnin ajankohdan sääolosuhteista.

### Inventointiohje

Jo toteutetut pintakelirikoinventoinnit on toteutettu noudattaen seuraavia kuvauksia. Ohjetta on tämän työn yhteydessä täydennetty niin, että eri vaka-  
uusasteen pintakelirikolle on arvioitu myös mahdollinen parantamismen-  
telmä ja parantamisen kustannustaso. Alkuperäisestä ohjeesta päädyttiin  
poistamaan vaurioluokka 4, jonka arvioimisen ja käytännön merkityksen kat-  
sottiin olevan epäoleellista.

Pintakelirikko on ohjeessa jaettu kolmeen luokkaan:

**1 = erittäin paha:** Tien pinta on pehmennyt yli 8 cm syvyydelle

- Autoilija joutuu lähes täysin pysähtymään ja arvioimaan, onko mahdollista päästä läpi
- Autoilijan on valittava ajolinjat tarkkaan
- Auton pohja saattaa koskettaa tietä
- Auton ohjaaminen on hyvin vaikeaa, tie voi tuntua liukkaalta

**2 = paha:** Tien pinta on pehmennyt 3–8 cm syvyydelle

- Ajonopeutta joudutaan laskemaan tuntuvasti
- Ajolinjoja on haettava
- Auton ohjaaminen on vaikeaa

**3 = lievä:** Tien pinta on pehmennyt 1–3 cm syvyydelle

- Ajonopeutta joudutaan hieman laskemaan
- Tien pintaa on hieman tarkkailtava
- Auto ohjautuu tai huojuu hieman, mutta ohjaaminen ei ole kovin hankalaa

Kun inventointi on käynnissä, on pintakelirikolla voimassa yksi arvoista 1–3, jos tienkohdassa on pintakelirikkoa eli pintakelirikottomia tieosuuksia ei merkitä.

Tiedonkeruun ajankohta:

- **Kevät:** vaikeutena erottaa lievästä runkokelirikosta, pintakelirikkoa ei välttämättä ole enää havaittavissa silloin, kun runkokelirikkoa inventoidaan, hyötynä on, että mittaus on halvinta toteuttaa yhtäaikaisena
- **Syksy:** pintakelirikko on varmimmin erotettavissa omana tyyppinä

Inventointi esitetään tehtäväksi syksyllä, mutta alkuvaiheessa haittaa voidaan lähteä kartoittamaan runkokelirikoinventoinnin yhteydessä ja tehdä kohdennettu tarkistusinventointi syksyllä. Mikäli keväällä inventoitu pintakelirikko osoittautuukin myöhemmän ajankohdan inventoinnissa runkokelirikoksi, kohdalle kirjataan vain runkokelirikkoa.

Inventoinnin yhteydessä on syytä kirjata havainnot poikkileikkausmuodosta: ylileveä, liian pieni sivukaltevuus (lätistynyt poikkileikkaus), reunapalteet. Inventointia pitää jatkossa kehittää muutenkin kokonaisvaltaisempaan suuntaan, jolloin myös kuivatuspuutteet ja korjaustarpeet kirjataan. Pintakelirikko pitäisi saada omalta osaltaan mukaan yhtenäisen laadun mittariin.

Inventointien tietovarastona voidaan nykykäytännöllä käyttää TMSoraa.

## 4.2 Korjausmenetelmistä

Ennen korjausmenetelmän valintaa on varmistuttava, että tien pehmeneminen rajoittuu ainoastaan kulutuskerrokseen. On myös varmistuttava siitä, että tien pinnan kuivatus on sivu- ja pituuskaltevuuksien perusteella toimiva, eikä reunoilla ole vesien kulkua estäviä reunapalteita.

Merkittäviä korjauksia vaaditaan pintakelirikoluokissa 1 ja 2. Luokassa 3 tien pinnan muotoilu, palteitten poisto ja karkeuttaminen ovat hyviä pikatoimenpiteitä.

Vanhan kulutuskerroksen käsittelyn toimenpiteitä voidaan arvioida pääpiirteittäin pintakelirikoluokan mukaan seuraavasti.

**Luokassa 1 — erittäin paha pintakelirikko** kulutuskerros on uusittava kokonaan hyvälaatuisella kulutuskerroksen murskeella. Vanha kerros voidaan poistaa kokonaan tai osittain riippuen heikkolaatuisen kerroksen paksuudesta. Paksun heikkolaatuisen kerroksen parantaminen lisäämällä ja sekoittamalla hyvälaatuisia kiviainesta ei ole kannattavaa. Mikäli heikkolaatuisen kulutuskerroksen paksuus on hyvin suuri (esim. yli 150 mm), toimenpiteet on suunniteltava tarkemmin.

**Luokassa 2 — paha pintakelirikko** kulutuskerroksen laatua voidaan parantaa esimerkiksi lisäämällä ja sekoittamalla vanhaan kerrokseen hyvälaatuisia kulutuskerroksen kiviainesta. Rakeisuutta voidaan parantaa myös sekoittamalla sepelämäistä katkaistua kiviainesta kulutuskerrokseen.

**Luokassa 3 — lievä pintakelirikko** kulutuskerroksen laatua voidaan parantaa lisäämällä ohut kerros hyvälaatuisia kulutuskerroksen kiviainesta vanhan kulutuskerroksen pinnalle.

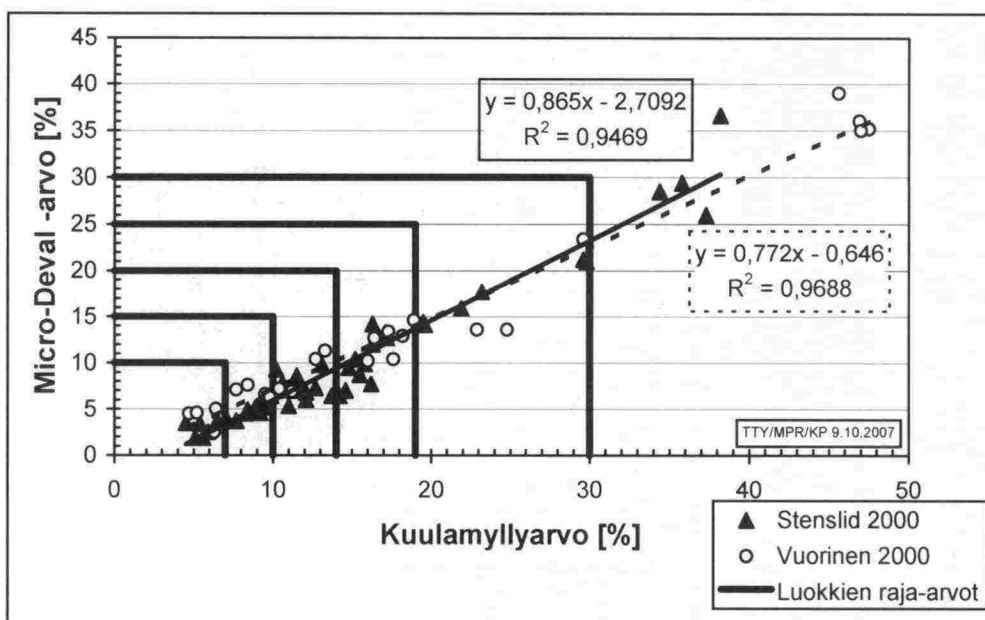
Kaikissa toimenpiteissä kulutuspinnaan on saatava riittävä sivukaltevuus, joka on 4...5 % ja kerros on tiivistettävä ja tasoitettava huolellisesti.

## 4.3 Materiaalivaatimukset

Pintakelirikkoriskin vuoksi on asetettava vaatimuksia kiviaineksen kulutuskestävyydelle ja hienoaineksen laadulle. Rajaus koskee alueita, joissa on tiedossa pintakelirikkoalttiita teitä.

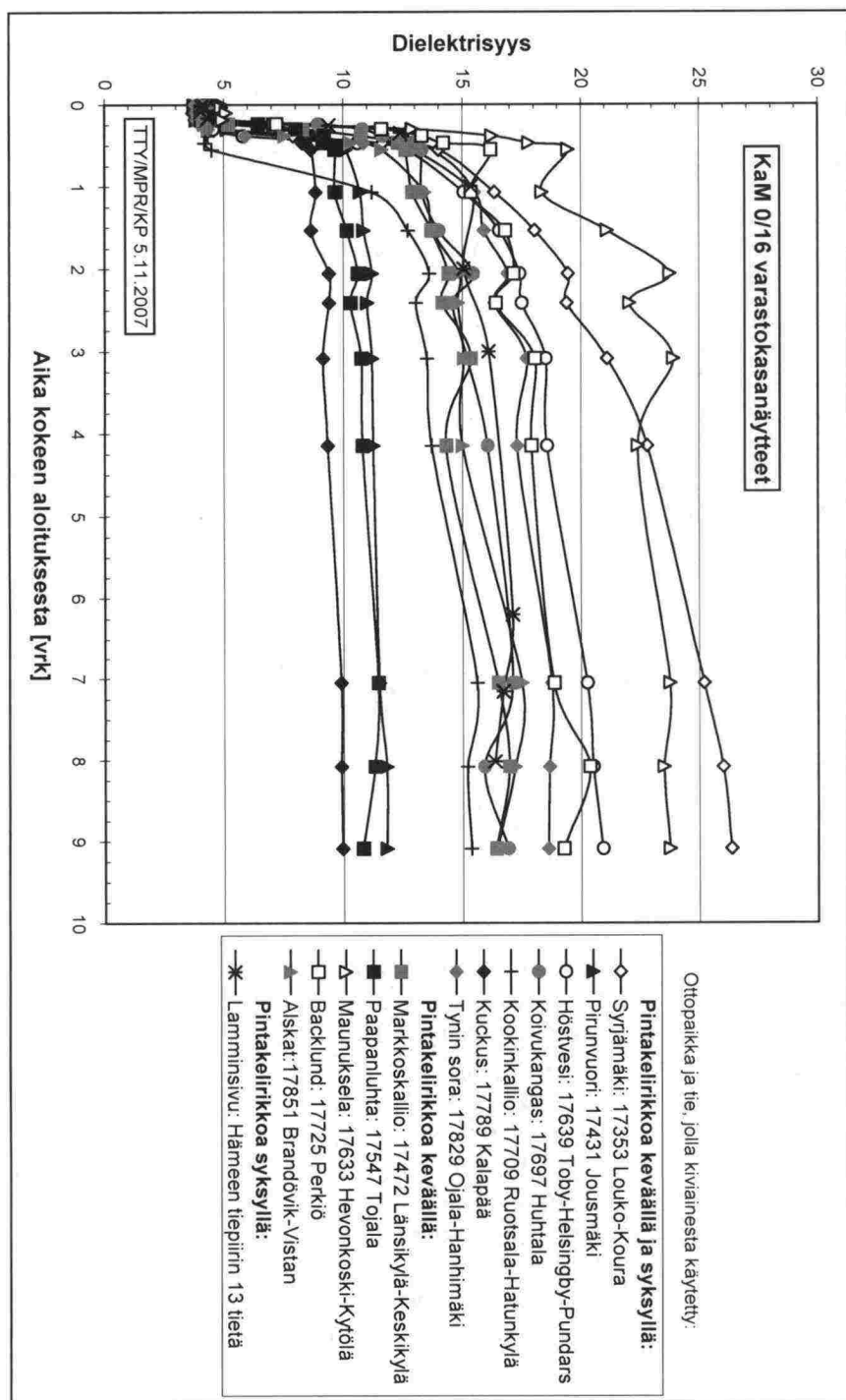
Kulutuskestävyyttä kuvaa parhaiten nykyisistä testeistä kuulamylykoe. Sallituksi ylärajaksi löytyi kokeiden perusteella **20...22**. Sitomattomien kerrosten kiviaineksia ei tuotestandardissa SFS-EN 13242 kuitenkaan luokitella kuulamylykokeen perusteella, vaan siellä käytetään Micro Deval -koetta tai Los Angeles -koetta.

Micro Devalin ja kuulamylyyn välillä on melko hyvä korrelaatio, joten jos halutaan käyttää tuotestandardin mukaisia luokkarajoja, niin sitä voisi hakea korrelaation kautta. Micro Devalin raja-arvo on **15**, joka on SFS-EN 13242 standardin mukainen.



Kuva 8. Micro Devalin ja kuulamylyyn välinen korrelaatio.

Kiviaineksen laadun tutkimiseen käytettiin myös muun muassa imupaine- eli Tube Suction -koetta (TS-koe). Imupainekokeessa optimivesipitoisuudessa tiivistetty, 0,5–1 % vesipitoisuuteen kuivanut murskenäyte imee kapillaarisesti vettä alhaaltapäin. Vedenimeytymistä seurataan näytteen pinnalta aika ajoin tehtävän sähköisten ominaisuuksien (dielektrisyys ja sähkönjohtavuus) mittauksen avulla. Dielektrisyysarvo yleensä kasvaa, kun näytteeseen imeytyneen veden ja hienoaineksen määrä kasvaa (Saarenketo 2000; Saarenketo et al. 2000). "Laatuluokituksen perusteena käytetään testin loppuosasta mitattujen dielektrisyysarvojen asymptoottia" (Saarenketo 2000) eli arvoa, johon dielektrisyys näyttää kokeen loppuvaiheessa tasaantuvan. Tässä tutkimuksessa kokeen tuloksena saatavan dielektrisyiden raja-arvovaatimukseksi sorastusmurskeelle esitetään koetulosten (kuva 5) perusteella **TS-arvoa < 16**. Sen ylitti selvästi yhdeksän tutkituista kolmestatoista sorastusmurskeen varastokasanäytteestä. Kyseistä arvoa on pidetty myös sitomattomaan kantavaan kerrokseen sopimattoman murskeen raja-arvona (Saarenketo 2000).



Kuva 9. TS-kokeiden tulokset koekohteiden näytteistä.

Ennakkotutkimukset tulisi tehdä samalla hienoainesmäärällä, kuin on tyyppillinen teiden kulutuskerroksessa. Käytännössä useimpien vanhojen kulutuskerroksien hienoainespitoisuudet ovat 11...13 %.

**KEHITETTÄVÄÄ:** Työn aikana todettiin, että laboratoriotutkimuksissa hienoaines tulisi tuottaa hiertävän kulutuksen tuloksena, kuten tienpinnassa kulutuskerrokselle tapahtuu. Käytännössä pitäisi siis kehittää koemenettely, jossa tyyppillinen murskaustuote (hienoainespitoisuus 5...7 % välillä) aset-

taan kulutuskokeeseen. Kulutusta tehostetaan vedellä ja hienoainesta tuotetaan riittävän korkealle tasolle.

#### Kulutuserroksen rakeisuus

Kalliota murskattaessa ongelmana on usein lopputuotteen alhainen hienoainespitoisuus. Esimerkiksi 0/16 murskeen hienoainespitoisuudet ovat tavallisimmin 4–6 %. Haurailta kalliomurskeilla murskaus voi tuottaa runsaasti hiekkafraktiota ja hienoa soralajitetta, ja ne heikentävät murskeen sitoutumiskykyä.

Ihanteellisin käyrän muoto voisi olla nykyistä ohjealuetta roikkuvampi (vertaa Ruotsissa käytettävää ohjealuetta kuvassa 5), ja sen pitäisi sisältää hieman nykyistä enemmän hienoainesta. Hienoainespitoisuus 7–8 % olisi vielä taloudellisesti ja teknisesti mahdollista saavuttaa. Roikkuvuutta voitaisiin saada aikaan poistamalla murskausprosessin aikana lajitetta 2–8 mm.

#### Tiekohde

Riittävällä hienoainespitoisuudella ja suolauksen avulla on tavoitteena aikaansaada tiivis, sitoutuva ja pölyämätön kulutuserros. Hienoainesköyhät kulutuspinnot ovat pölyäviä ja lajittuvat liikenteen vaikutuksesta. Murskeen lajittuminen saattaa johtaa liian suureen hienoainespitoisuuteen ja liettymisvaara kasvaa. Myös hoitokustannukset kasvavat.

Tiekohteella kulutuserroksen liian alhaista hienoainespitoisuutta voidaan parantaa lisäämällä kivituhkaa, jonka rakeisuus on 0/2. Näissäkin tapauksissa on varmistuttava tuhkan laadusta eli ettei lisätä materiaalia, joka edellä kuvattujen tunnuslukujen mukaisesti on erityisen liettyvää.

#### **Suositus**

**Pintakelirikkoaltille teille määritetään urakka-asiakirjoihin sorastusmateriaalille ohjealueet**

- 1. TS-arvo <16**
- 2. Maksimiarvo pehmeille mineraaleille 30 %**
- 3. Kuulamylyarvolle vaatimus 22, vastaavuus MicroDeval -arvona 15**
- 4. Valmiin kerroksen materiaalin rakeisuuskäyrälle tässä raportissa esitetty uusi ohjealue**

## 5 LÄHTEET

Saarenketo, T. 2000. Tube Suction test. Sitomattomilla murskeilla suoritettujen rengastestien tulokset. Rovaniemi, Tielaitos, Lapin tiepiiri, Tielaitoksen selvityksiä 20/2000. 42 s.

Saarenketo, T., Kolisoja, P., Vuorimies, N., Yliheikkilä, T. & Ylitapio, S. 2000. Kantavan kerroksen murskeen imupaine- ja muodonmuutosominaisuudet. Osa I & II. Tampere, Tampereen teknillinen korkeakoulu, Geotekniikan laboratorio, julkaisu 51. 170 s.

## 6 LIITTEET

Liite 1: Hämeen tiepiirin tutkimuksissa mukana olleet pintakelirikko-kohteet.

Liite 2: Vaasan tiepiirin tutkimuksissa mukana olleet pintakelirikko-kohteet

Liite 3: Vaasan tiepiirin pintakelirikkoinventointien tulokset:

3/1: kevät 2005

3/2: kevät 2006

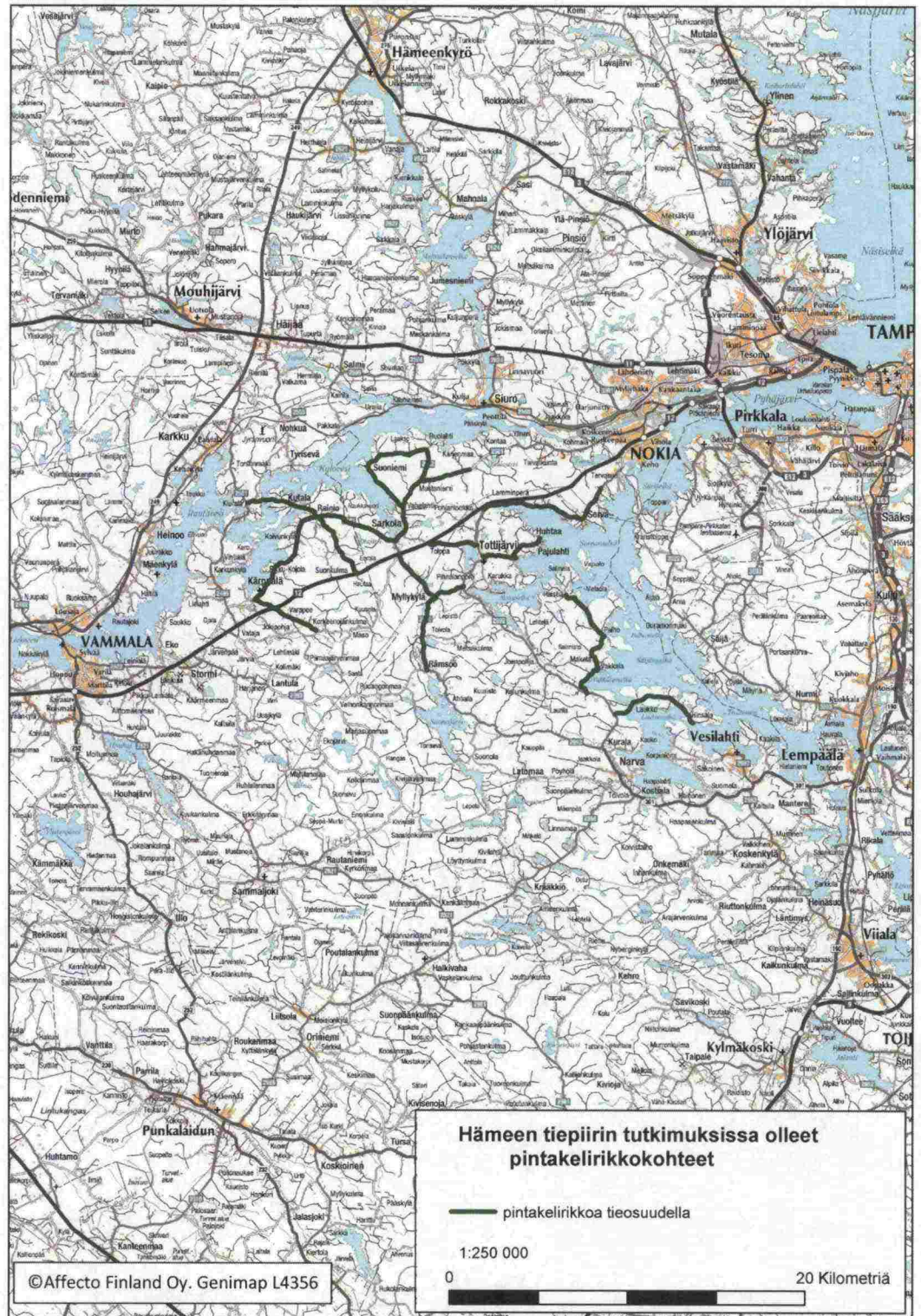
3/3: syksy 2006

Liite 4: Vaasan tiepiirin pintakelirikkokohdevertailu kevät 2006 / syksy 2006

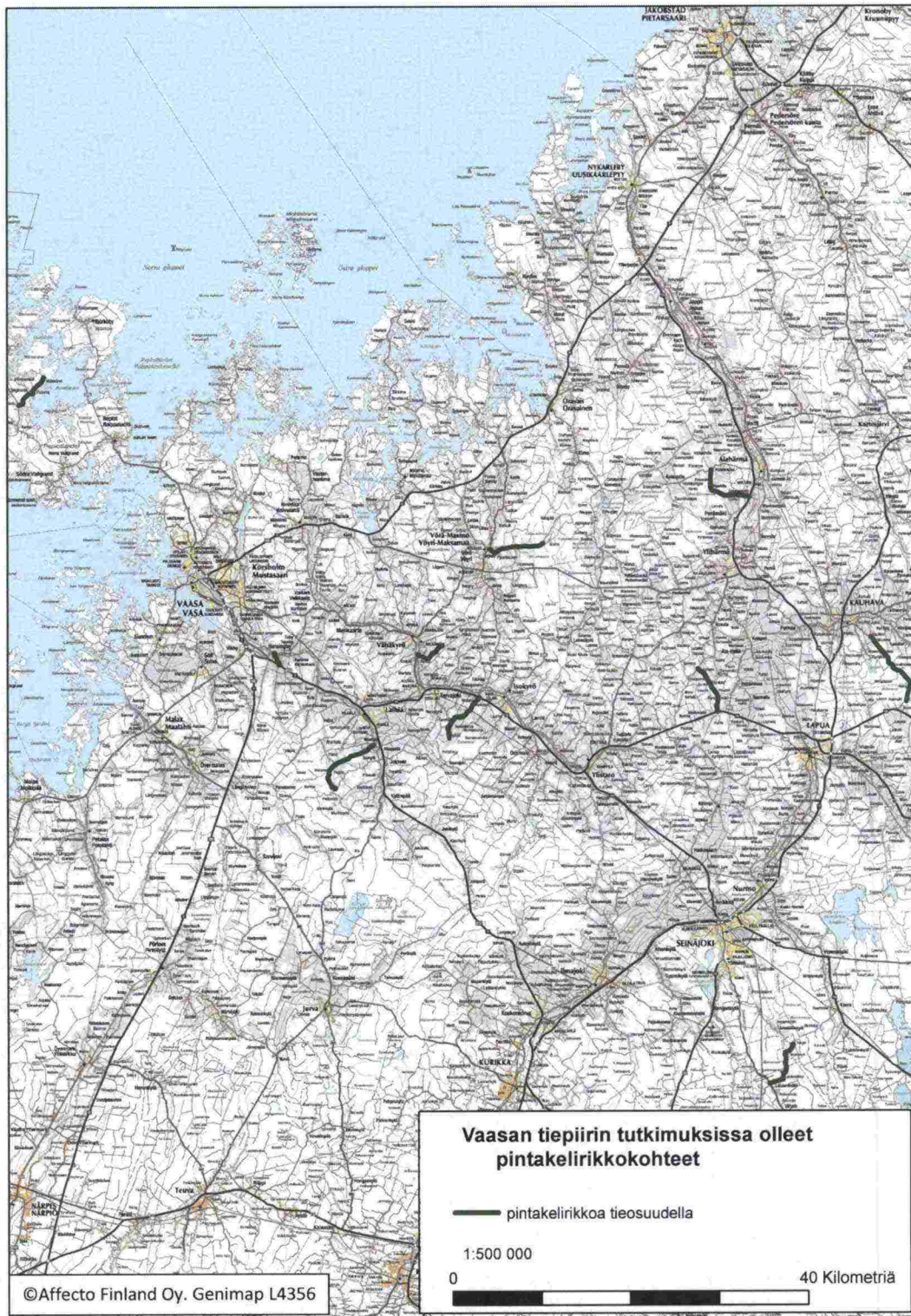
Liite 5: Raportti Vaasan tiepiirin materiaalitutkimuksista.



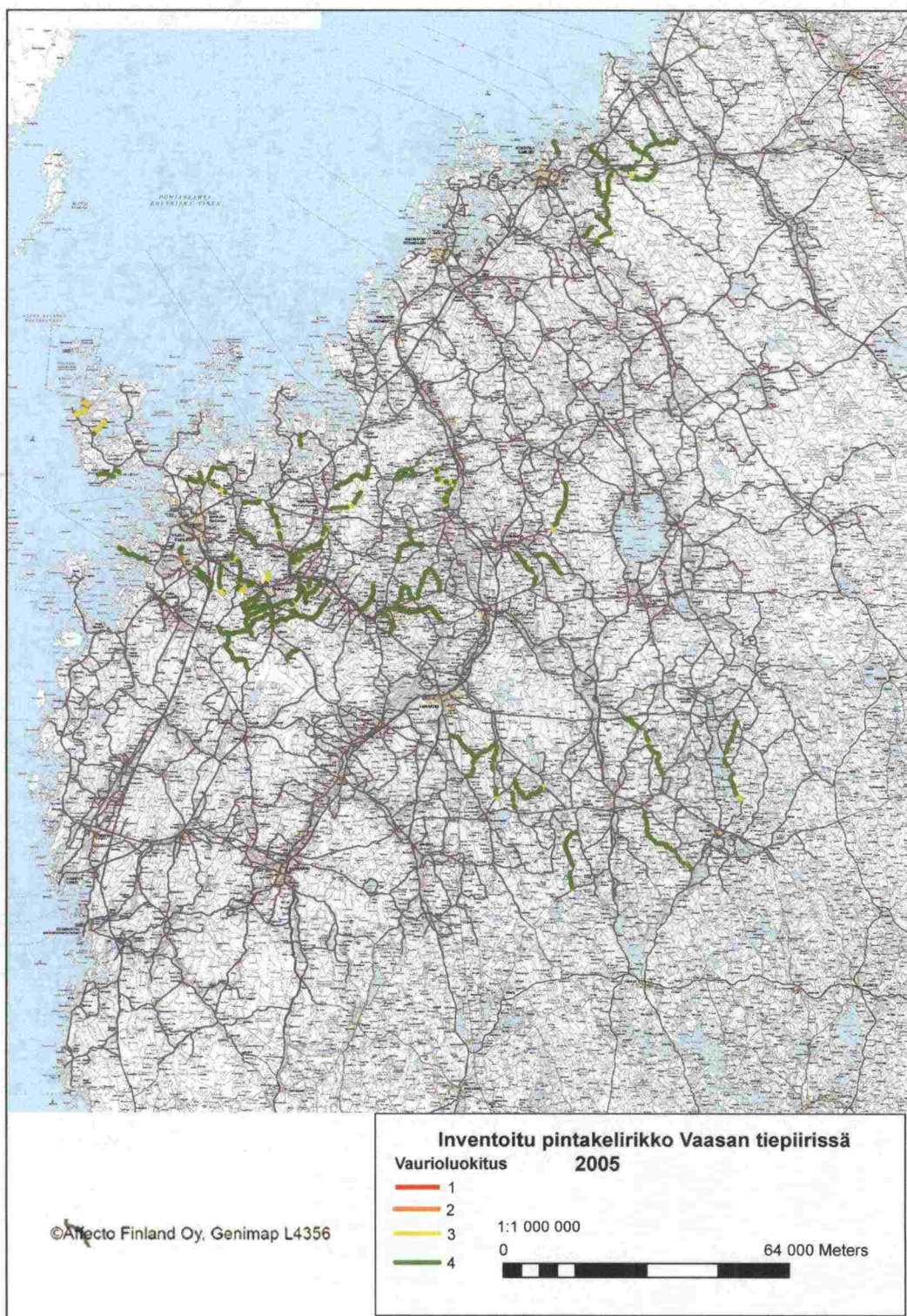
# HÄMEEN TIEPIIRIN TUTKIMUKSISSA MUKANA OLLEET PINTAKELIRIKKOKOHTTEET

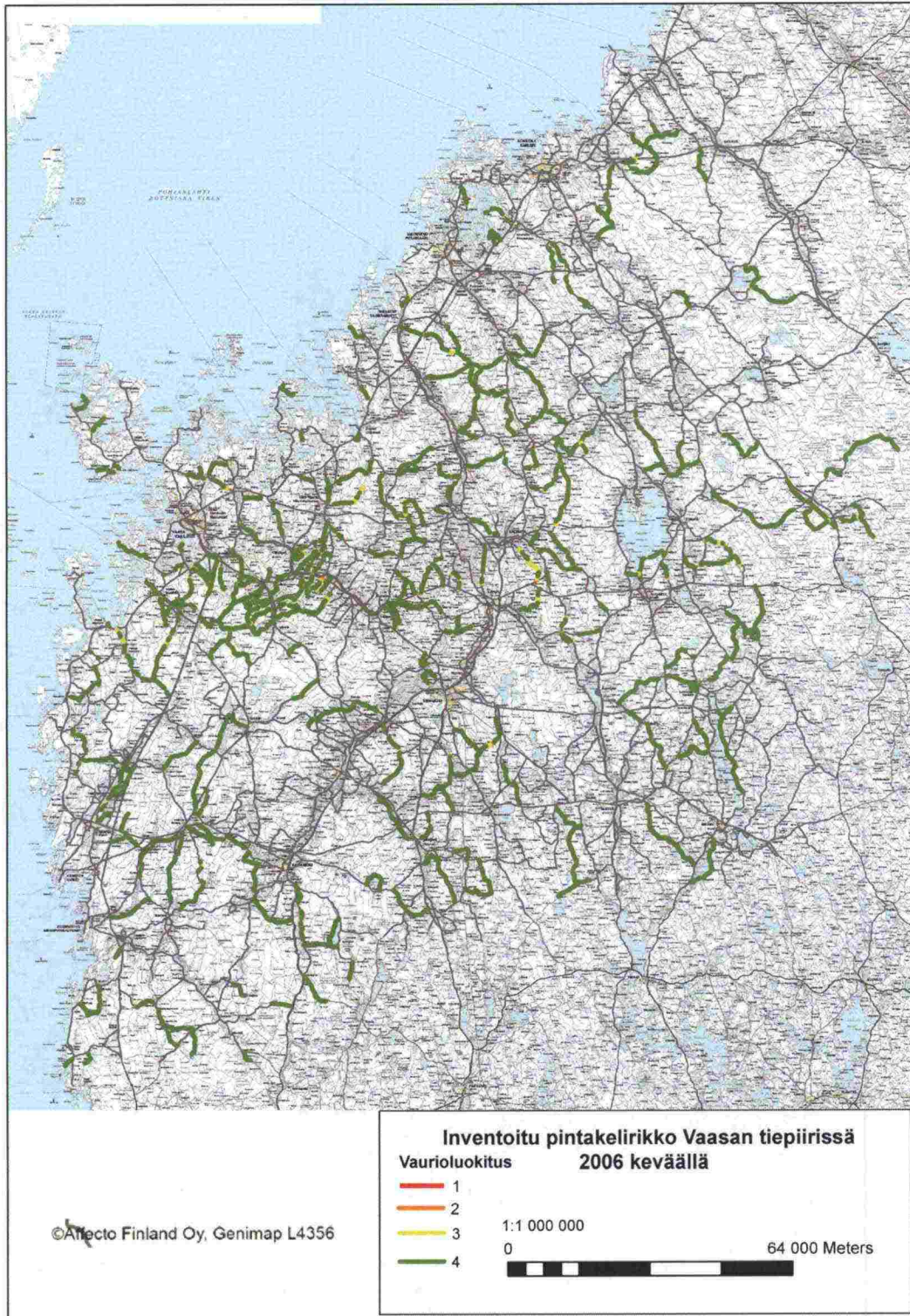


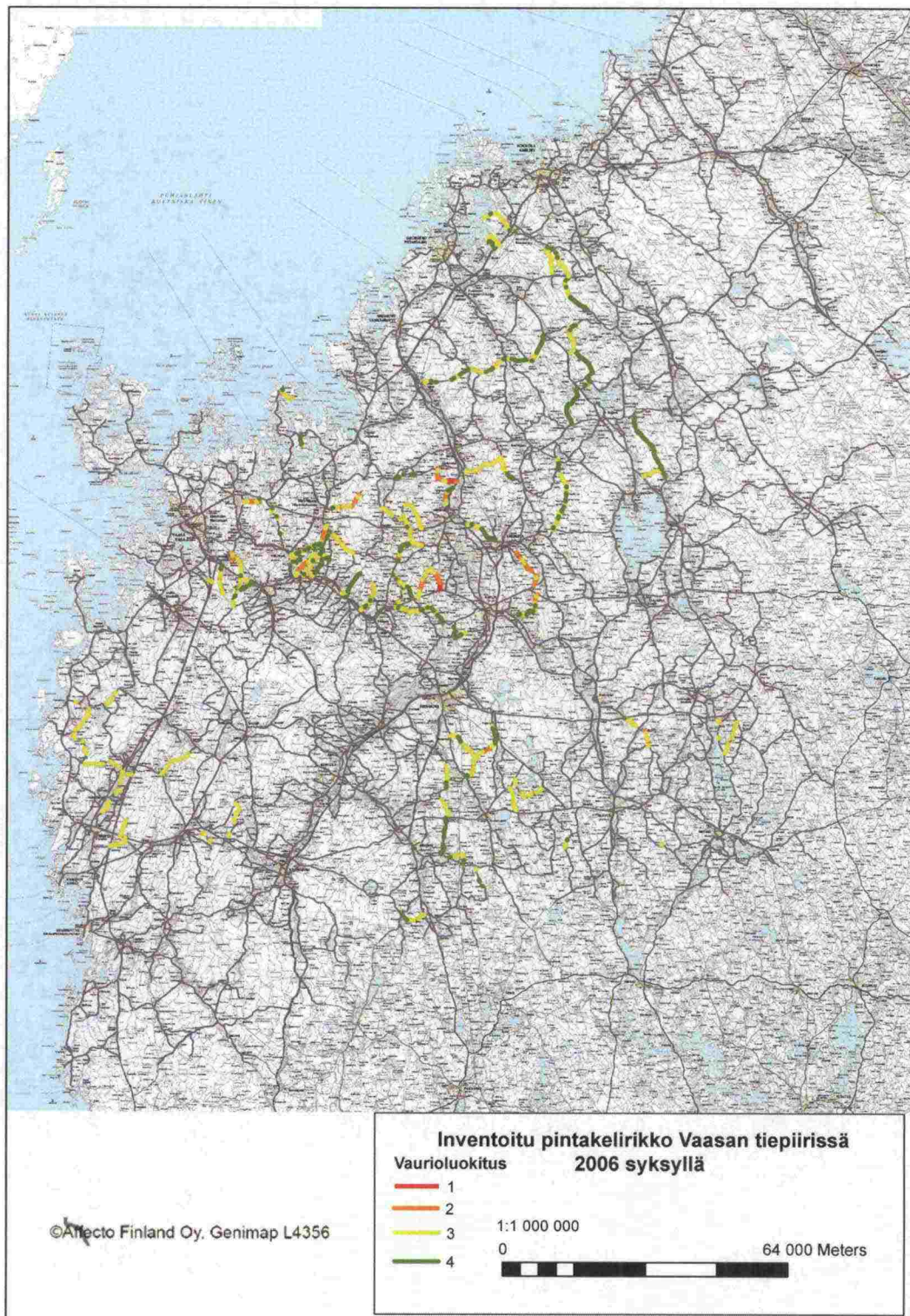
# VAASAN TIEPIIRIN TUTKIMUKSISSA MUKANA OLLEET PINTAKELIRIKKOKOHOITEET



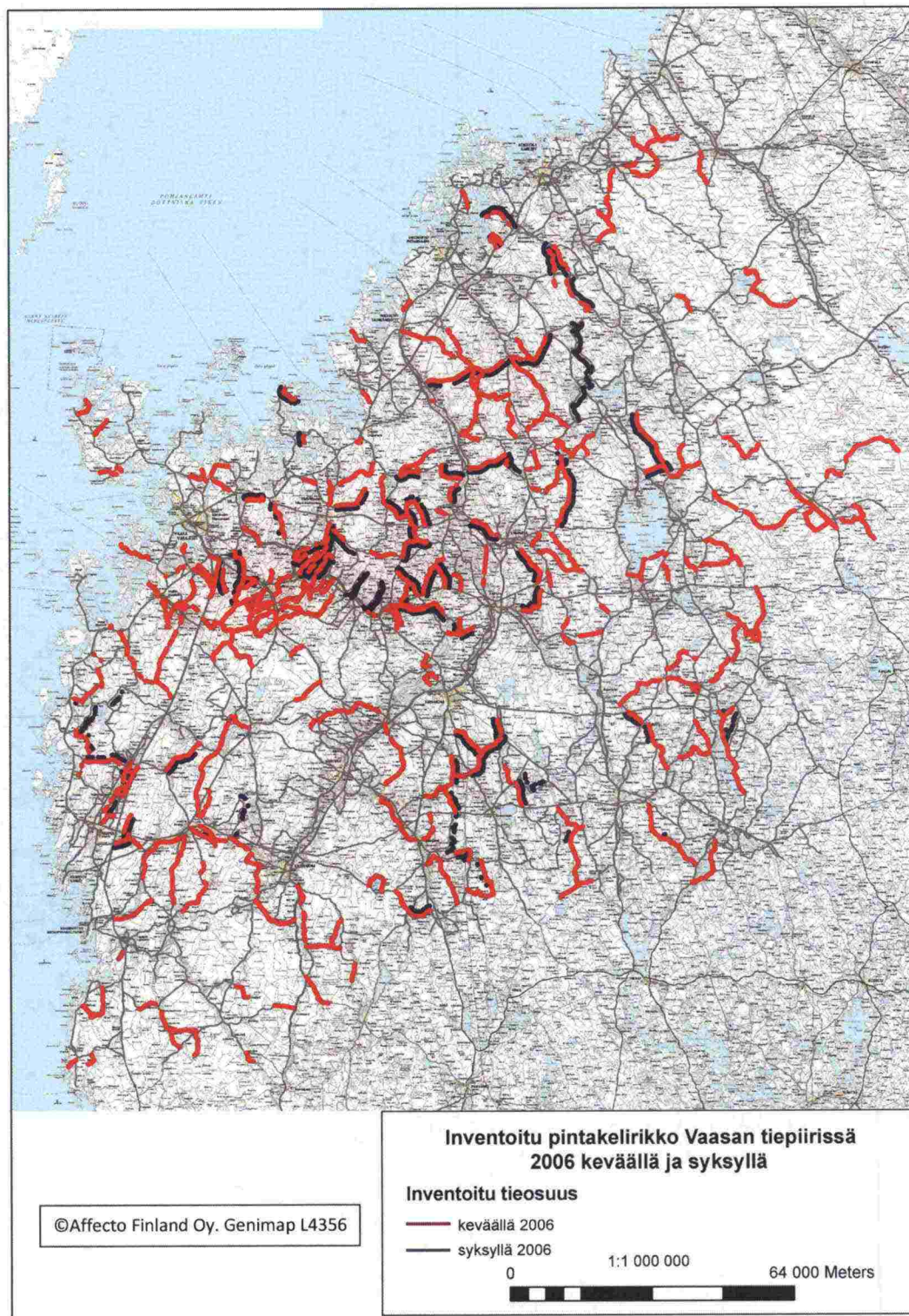
## VAASAN TIEPIIRIN PINTAKELIRIKKOINVENTOINTIEN TULOKSET







# VAASAN TIEPIIRIN PINTAKELIRIKKOKOHDEVERTAILU KEVÄT 2006/SYKSY 2006

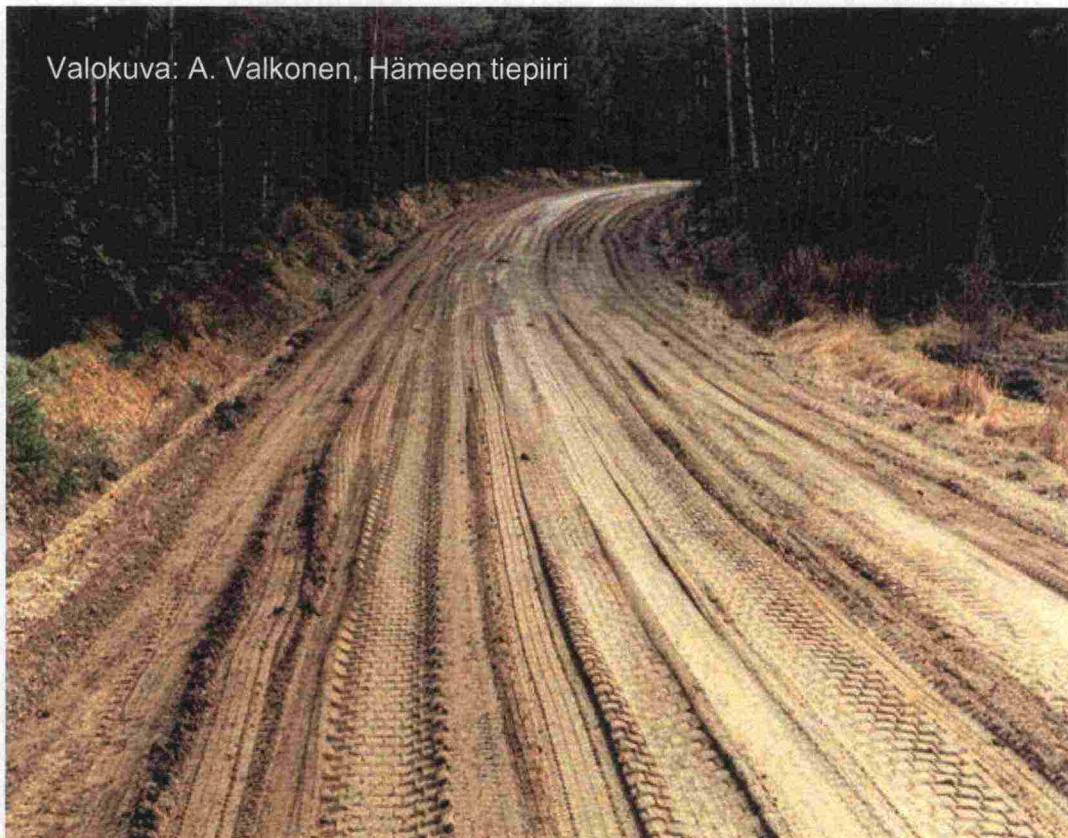




## Vaasan tiepiirin pintakelirikkoiset soratiet syksyllä 2006

### Tutkimus teiden kulutuskerrosmateriaaleista

Tampereen teknillinen yliopisto  
Maa- ja pohjarakenteiden laitos  
Kari Pylkkänen



**Tampere syyskuu 2008**



## TIIVISTELMÄ

Hämeen ja Vaasan tiepiiri käynnistivät syksyllä 2006 sorateiden pintakelirikoon liittyvän tutkimuksen. Pintakelirikon laajuuteen ja vaikeusasteen luokitukseen liittyvää selvitystyötä teki Sito Oy, Tampere ja pintakelirikkoisten teiden kulutuskerrosmateriaaleihin liittyviä tutkimuksia Tampereen teknillisen yliopiston Maa- ja pohjarakenteiden laitos. Näytteenotosta vastasi jälkimmäisen lisäksi silloinen Tieliikelaitos. Tämä raportti sisältää pääasiassa kaikkien Vaasan tiepiirin kohteista otettujen näytteiden tutkimustulokset ja Hämeen tiepiirin kohteiden keskiarvotuloksia. Materiaalitutkimusten tavoitteena oli selvittää onko pintakelirikkoisten sorateiden kulutuskerros-/sorastusmateriaaleissa joitakin tyypillisiä yhteisiä ominaisuuksia ja tarvittaessa asettaa näille ominaisuuksilla mahdollisesti raja-arvoja.

Vaasan tiepiiristä pintakelirikkoisia kohdoteitä oli 12 ja Hämeen tiepiiristä 13. Vaasan kohteet oli sorastettu kukin eri sorastusmurskeella kun taas Hämeen piirin kohteet kaikki samalla. Kohdoteiden kulutuskerroksista ja sorastusmurskeiden varastokasoista otettiin näytteet, joista tutkittiin raekokojakautuma. Varastokasanäytteillä tutkittiin lisäksi jäädytys-sulatus –kestävyys, kulumiskestävyys ja vedenimuominaisuudet ja mineraalikoostumus lohkarasta tehdystä ohuthieestä.

Sorastusmurskeiden varastokasanäytteiden raekokojakautumat olivat ohjealueella: hienoaineksen ( $< 0,063$  mm) määrä vaihteli 4,5-10 % ollen useimmiten 4-6 %. Raekokojakautuma oli lisäksi ohjealueen karkeimpien rajakäyrien suuntainen. Sorastusmurskeiden varastokasanäytteiden hienoainesten savipitoisuus oli 6-15 % joka vastaa koko 0/16 mm aineksesta laskettuna arvoja 0,4-1,2 %. Jäädytys-sulatus – kokeessa tutkitun sorastusmurskelajitteen 11,2-16 mm hienoneminen oli erittäin vähäistä vaikka testi tehtiin standardiin nähden 2,5 –kertaisella rasiusmäärällä. Kuulamylyarvoltaan tutkitut näytteet olivat 13,6-28,3. Valtaosa kiviaineksista ylitti asfalttipäälysteisiin kelpaavan heikomman luokan kuulamylyraja-arvon 19.

Mineraalikoostumukseltaan tutkituille sorastusmurskeille oli tyypillistä se, että ne sisälsivät biotiitti –kiillemineraalia vähintään 10 %, jotkut jopa 35-40 %. Muutaman ottopaikan kivilajikuvauksen yhteydessä on tällöin myös maininta/varoitus kiilteen esiintymistavan aiheuttamasta rikastumisriskistä kiveä murskattaessa tai kiven hienontuessa Tällaista rikastumista todettiin tapahtuneen Hämeen tiepiirissä käytetyssä sorastusmurskeessa, jossa biotiittia oli KaM:een 0/16 lajitteessa  $< 0,25$  mm jopa 35-40 % kun sitä itse lohkarista tehdyissä hieissä oli korkeintaan 20 %. Usean ottopaikan kivilajikuvauksessa on lisäksi maininta mineraalien rapautumisen myötä syntyneistä muuttumistuloksista.

Sorastusmurskeiden varastokasanäytteiden vedenimuominaisuuksia tutkittiin Tube suction eli imupainekokeella. Kokeen tuloksena saatava dielektrisyysarvo vaihteli sorastusmurskeissa välillä 10-26. Kahdella murskeella taso oli noin 25, kolmella noin 20, viidellä noin 16 ja kolmella noin 11. Yhdeksän tutkitun sorastusmurskeen varastokasanäytteen dielektrisyysarvo ylitti sitomattomaan kantavaan kerrokseen sopimattomana pidetyn murskeen raja-arvon 16.

Tieltä otettujen näytteiden hienoainemäärä oli useimmiten 12-14 % eli selvästi suurempi kuin sorastusmurskeissa. Hienoaineksen määrä ei kuitenkaan ylitä tällä hetkellä sallittua ylärajaa ja raekokojakautuma oli niin ikään ohjealueella. Jakaumille oli kuitenkin tyypillistä se, että ne noudattavat  $> 4$ mm raekoossa melko hyvin ohjealueen





alimpien (siis karkeimpien) rajakäyrien kulkua mutta siirtyvät siitä leikkaamaan < 4 mm raekoossa ohjealuetta niin, että hienompien raekokojen kohdalla kulku noudattaa jo ohjealueen ylempiä (siis hienompia) rajakäyriä. Tienäytteiden hienoainesten savipitoisuus oli 12-25 % Koko 0/16 mm kulutuskerroskiviaineksesta laskettuna tienäytteiden savipitoisuus vaihteli välillä 0,9-3,4 %.

Tieltä otettujen kulutuskerrosnäytteiden varastokasanäytteitä suurempi savipitoisuus, suurempi hienoainemäärä ja erilainen raekokojakautuman kulku on seurausta sorastusmurskeen sekoittumisesta vanhoihin kerroksiin, ulkopuolelta mahdollisesti tulevasta lisämateriaalista ja sorastusmurskeen hienonemisesta. Sorastusmurskeen hienonemista voidaan rajoittaa asettamalla sen hienonemiskestävyydelle jollain testimenetelmällä testattu raja-arvo. Tämän tutkimuksen ja kuulamyly- ja micro-Deval -kokeen hyvän keskinäisen korrelaation perusteella raja-arvoksi ehdotetaan micro-Deval -arvoa 15, jolloin raja-arvo nojautuu myös kiviainesten tuotestandardeista löytyvän luokan raja-arvoon. Kyseisellä raja-arvolla noin puolet tutkituista sorastusmurskeista olisi ollut kelpaamattomia. Raja-arvona voitaneen käyttää myös päällystekiviainesten kulumiskestävyyden testaamiseen tarkoitettua kuulamylyarvoa. Jos se halutaan sitoa tuotestandardeissa olevien luokkien raja-arvoon niin se olisi oltava 19. Tällöin 11/13:sta tässä tutkimuksessa tutkitusta sorastusmurskeesta ei täyttäisi vaatimusta. Seuraavan luokan kuulamylyarvon raja-arvon 30 taas täyttäisivät kaikki tämän tutkimuksen sorastusmurskeet.

Pintakelirikkoherkillä sorateilla käytettävän sorastusmurskeen raekokojakautumaa ja erityisesti hienoainemäärää tulisi rajoittaa. Tässä tutkimuksessa ohjealueeksi esitetään PAB-V 0/16 päällysteeseen käytettäväksi murskatun kiviaineksen alimpia rajakäyriä, jotka on esitetty TYLT Murskaustyöt 1999 -ohjeessa. Sorastusmurskeen hienoainemäärä olisi tällöin korkeintaan 2 %. Kulutuskerroksen lopullisessa raekokojakautuman määrittämisessä on kuitenkin huomioitava siinä jo olevan vanhan kiviaineksen raekokojakautuma ja uuden mahdollinen hienoneminen. Alle 6 % hienoainemäärää lopullisessa kulutuskerroksessa tulee irtosoraistumis- ja pölyämirisikin vuoksi välttää.

Sorastusmurskeen liian suurta vedenimuominaisuutta voidaan rajoittaa asettamalla raja-arvo Tube suction kokeella määritetylle dielektrisyys -arvolle. Raja-arvona voisi käyttää kantavan kerroksen murskeille joissakin tutkimusraporteissa esitettyä raja-arvoa 16, jota pienempi arvon tulisi olla. Tässä tutkimuksessa tutkituista sorastusmurskeista 5/13:sta ylitti tuon raja-arvon selvästi.

Sorastusmurskeiden pehmeiden mineraalien (mineraalien rapautumistuotteet ja kiillemineraalit) määrää voisi olla syytä rajoittaa. Jos sorastusmurskeen ottopaikan ohuthieissä havaitaan kiillemineraaleja 30-40 % ei ottopaikasta tulisi valmistaa sorastusmursketta. Jos kiilteen määrä on 10-30 %:iin tulisi kivilajikuvaukseen liittää arvio kiilteen rikastumisriskistä pienimpiin raekokoihin. Jos tällainen rikastumisriski on olemassa olisi murskeen valmistuksessa ja käytössä noudatettava edellä mainittuja raekokojakautumaan liittyviä suosituksia. Murskattaessa sorastuskiviainesta kalliioalueelta, jossa on havaittu täyhteisiä rakoja tai muita kallioperän heikkousvyöhykkeitä tulee näissä olevan kiven joutuminen murskeeseen estää.



---

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ	2
1. JOHDANTO	5
2. TUTKITUT TIET JA OTETUT NÄYTTEET	6
3. NÄYTTEILLE TEHDYT TUTKIMUKSET	6
4. MATERIAALITUTKIMUSTEN TULOKSET, VARASTOKASANÄYTTEET	7
4.1 Mineraalikoostumus	7
4.2 Raekokojakautuma	11
4.3 Kulutuskestävyys	12
4.4 Jäädytys-sulatus -kestävyys	13
4.5 Vedenimeytyminen	14
4.5.1 Tavoitetiiviydet	14
4.5.2 Dielektrisyys Tube Suction -kokeesta	16
4.5.3 Vesipitoisuus Tube suction -kokeen jälkeen	18
5. MATERIAALITUTKIMUSTEN TULOKSET, KULUTUSKERROKSISTA OTETUT NÄYTTEET	20
5.1 Raekokojakautuma	20
6. YHTEENVETO, JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	22
6.1 Raekokojakautuma	23
6.2 Mineraalikoostumus	24
6.3 Vedenimeytyminen	24
6.4 Kestävyys	25
LÄHDEKIRJALLISUUS	27



## 1. Johdanto

Syksyllä 2004 Hämeen tiepiirin Nokian seudun länsipuolisilta sorapintaisilta teiltä saatiin paljon asiakaspalautteita pehmenneistä tiepinnoista. Soratien pinnan pehmeneminen aiheutti tilanteita, joissa muun muassa alueen elinkeinotoiminnalle tärkeät kuljetukset kärsivät jossain määrin häiriöitä. Päivittäin tietä käyttävälle aiheutui jatkuvaa ajoneuvojen likaantumista liettyneiden ja "velliintyneiden" tien pintojen kuraisuuden vuoksi. Pehmenneille tiepinnoille syntynyt uraisuus aiheutti lisäksi ajoneuvojen hallinnan vaikeutumista, joka taas johti jossain määrin liikenneturvallisuuden heikkenemiseen ja liikennöinnin hidastumiseen.

Vaasan tiepiirin soratieverkkoa on edellä mainitun kaltainen pinnan pehmeneminen vaivannut jo pitempään. Vaasan tiepiirissä on tätä pintakelirikoksi kutsuttua ilmiötä alettu inventoida neliportaisella luokituksella vuodesta 2005 lähtien. Inventoinnit keskittyivät aiemmin keväisen pintakelirikon havainnointiin. Sateisten kesien ja syksyjen sekä lämpimien syksyjen myötä pintakelirikkoilmiötä on alkanut esiintyä yhä enenevässä määrin myös syksyisin ja jopa kesäisin pitkien sadejaksojen jälkeen.

Pintakelirikko-ongelman laajuuden ja syiden selvittämiseksi Tiehallinnon Hämeen ja Vaasan tiepiirit käynnistivät syksyllä 2006 selvitystyön, jonka tekemiseen osallistuivat Sito Oy, Tampere, TTY/Maa- ja pohjarakenteiden laitos ja Tieliikelaitos (nykyisin Destia). Hämeen tiepiiri oli teettänyt TTY:llä pintakelirikkoisten teiden materiaalitutkimuksia pienimuotoisesti ensimmäisen kerran jo syksyllä 2004 ja hieman laajemmin syksyllä 2005. Nämä aiemmin tehdyt tutkimukset keskittyivät kuitenkin vain niille syksyllä pintakelirikkoisille teille, joille sorastusmurske oli tuotu yhdestä ja samasta ottopaikasta. Tiepiirien yhteistyönä nyt käynnistetty tutkimus keskittyi Vaasan tiepiirin soratieverkolla havaittuihin pintakelirikko-ongelmaisiin sorateihin, joille sorastusmurske oli tuotu kullekin eri ottopaikasta.

Tämä raportti käsittelee pääasiassa Vaasan tiepiirin alueelta otettujen, pintakelirikkoisten sorateiden kulutuskerrosnäytteiden ja kyseisillä teillä käytettyjen sorastusmurskeiden varastokasoista otettujen näytteiden materiaalitutkimuksia ja niistä saatuja tuloksia. Hämeen tiepiiriin aiemmin tehtyjen tutkimusten tuloksia on myös sisällytetty tuloksista piirrettyihin kuviin, mutta varsinaisesti Hämeen piirin tutkimukset on raportoitu erillisenä raporttina. Tieltä otettujen näytteiden osalta on tällöin käytetty Hämeen tiepiirin tutkimuksista saatuja keskiarvotuloksia ja varastokasanäytteen tuloksia sellaisenaan.



## 2. Tutkitut tiet ja otetut näytteet

Vaasan tiepiirin pintakelirikkoisten teiden tutkimukseen otettiin seuraavat taulukossa 1 mainitut tiet, joilla oli tiepiirin toimesta inventoitu joko kevät-pintakelirikkoo ja/tai syyspintakelirikkoo.

Taulukko 1. Vaasan tiepiirin pintakelirikkotutkimuksen kohdetiet, näytteenottoaikat ja sorastusmurskeiden ottopaikat.

Tien n:o/osa	nimi	Näytteenottoaika [paalulukema]	Sorastusmurskeen ottopaikka
17353/1	Louko-Koura	4500	Syrjämäki, Seinäjoki
17431/1	Jousmäki	300	Pirunvuori, Ähtäri
17472/1	Länsikylä-Keskikylä	4100	Markkoskallio, Kuortane
17547/1	Tojala	1600	Paapanluhta, Laihia
17633/1	Hevonkoski-Kytölä	420	Maunukselan monttu, Kytölä
17639/1	Toby-Helsingby-Pundars	7240	Höstvesi, Vaasa
17697/1	Huhtala	5820	Koivukangas, Ylistaro
17709/2	Ruotsala-Hatunkylä	850	Kookinkallio, Lapua
17725/1	Perkiö	670	Backlund, Vöyri
17789/1	Kalapää	2550	Kuckus, Vöyri
17829/1	Ojala-Hanhimäki	6600	Tynin sora, Alahärmä
17851/1	Brändövik-Vistan	2100	Alskat, Vaasa

Kohteena olevien teiden kulutuskerroksista otettiin silloisen Tieliikelaitoksen (nykyinen Destia) toimesta näytteet loppuvuodesta 2006 ja ne toimitettiin tutkittavaksi Tampereen teknilliseen yliopistoon, Maa- ja pohjarakenteiden laitokselle. Näytteinä otettiin yksi isompi, noin 60 l näyte mahdollisia imupainekokeita varten sekä yksi noin 10 l näyte seulontaa varten. Samassa yhteydessä haettiin lohkare- ja varastokasanäytteet sorastusmurskeen valmistukseen käytetyiltä kallioalueilta. Noin 60 l näytteet otettiin erikseen koko 0/16 mm aineksesta sekä näytteenoton yhteydessä katkaistusta noin 8/16 mm aineksesta.

## 3. Näytteille tehdyt tutkimukset

Sekä tieltä otetuille pienemmille 10 l näytteille että isommasta varastokasanäytteestä laboratorioissa jaetulle pienemmälle näytteelle tehtiin raekokajakautuman määrittäminen pesuseulomalla. Erotettujen hienoainesten rakeisuudet (savipitoisuus) tutkittiin sedigraph-analyysillä. Sorastusmurskeiden varastokasanäytteille KaM 0/16 tehtiin vedenmuominaisuuksia kuvaava Tube suction eli imupainekoe.

Karkeammalle 8/16 mm varastokasanäytelajitteelle tehtiin nastarengaskulutuskestävyyttä kuvaava kuulamylykoe (SFS-EN 1097-9). Kyseisessä kokeessa tarvittavalle lajitteelle 11,2-16 tehtiin myös jäädytys-sulatuskoe SFS-EN 1367-1 mukaisesti sillä poikkeuksella, että astioina käytettiin muoviastioita teräsastioiden sijaan, vesijohtovettä tislattua/ionivaihdetun veden sijaan ja rasiussykliä lukumääränä 25:tä



standardissa käytetyn 10:n sijaan. Jäädytys-sulatus koe tehtiin sekä suolattomalla että suolaisella vedellä. Standardin opastavasta liitteestä B poiketen suolavetenä käytettiin 5 %:sta  $\text{CaCl}_2$  -liuosta 1 %:n  $\text{NaCl}$  -liuoksen sijaan. Kalsiumkloridiliuoksen katsottiin sopivan paremmin soratien kulutuskerroksessa käytettävän kiviaineksen jäädytys-sulatus -kestävyyden tutkimiseen.

Lohkarenäytteistä selvitettiin sorastusmurskeen valmistukseen käytetyn kallioalueen kivilaji ja sen mineraalikoostumus. Tässä käytettiin hyväksi Tieliikelaitoksen jo valmiiksi tekemiä hiemääriytyksiä sekä kivimieskalentereissa kyseisiltä kallioalueilta esitettyjä analyysitietoja. TTY:n toimesta tehtiin ja analysoitiin 9 hiettä seitsemältä ottopaikalta, joilta tietoja ei edellä mainitulla tavalla ollut saatavilla.

## **4. Materiaalitutkimusten tulokset, varastokasanäytteet**

### **4.1 Mineraalikoostumus**

Sorastukseen käytettyjen kiviainesten kivilajit ja kuvaukset on esitetty taulukossa 2 ja mineraalikoostumus kuvassa 1. Mineraalikoostumus perustuu ottopaikan lohkarista eri yhteyksissä tehtyjen hieiden analysointiin. Mineraalikoostumusten perusteella lähes kaikissa kiviaineksissa on vähintään 10 % biotiitti -kiillettä. Tien 17353 Louko-Koura sorastukseen käytetyssä Syrjämäen kiilleliuskeessa, tien 17851 Brändövik-Vistan sorastukseen käytetyssä Alskatin kvartsipitoisen granitoidin ja eräissä tien 17709 Ruotsala-Hatunkylä sorastukseen käytetyissä Kookinkallion (kiillegneissi) murskeen ottoalueelta tehdyissä hieissä biotiitin määrä on jopa 30-40 %. Koivukankaan ja Kookinkallion kivilajikuvauksen yhteydessä on tällöin myös maininta/varoitus kiilteen esiintymistavan aiheuttamasta rikastumisriskistä kiveä murskattaessa tai kiven hienontuessa. Muina päämineraaleina graniittisissa kiviaineksissa on yleensä kvartsi, kalimaasälpä ja plagioklaasi ja Paapanluhdan amfiboliitissa sarvivälke. Usean ottopaikan kivilajikuvauksessa on maininta mineraalien rapautumisen myötä syntyneistä, yleensä vähäisistä muuttumistuloksista: plagioklaasin muuttumisesta serisiitiksi ja biotiin muuttumisesta kloriitiksi. Pirunvuoren ja Kookinkallion louhoksilla mainitaan kalliossa olevan ruhje- tai haarniskapintaisia halkeamavyöhykkeitä, joissa kivi on rikkoutunutta ja sisältää savimineraaleja ja kloriittia. Vähäisiä määriä malmi-/kiisumineraaleja on mainittu havaitun Höstveden ja Lamminsivun ottopaikan kivilajikuvauksissa



Taulukko 2. Pintakelirikkotutkimuksissa tutkittujen kulutuskerrosmurskeiden ottopaikkojen kivilajikuvaukset.

<b>Ottopaikka/Kunta/Tietolähde</b>
<b>KIVILAJI</b> ja sen kuvaus
<b>SYRJÄMÄKI/SEINÄJOKI/TTY:n hie</b>
<b>KIILLELIUSKE</b> Biotiitti on näytteessä voimakkaasti suuntautunut ja esiintyy osittain kerroksellisesti. Mineraalien raekoko yleisesti < 1 mm, biotiitti selvästi muita päämineraaleja pienempi: < 0,5 mm. Rakoilua tai mineraalimuutoksia ei esiinny. Kiviaines rapautumatonta ja tasarakeista
<b>PIRUNVUORI/ÄHTÄRI/Kivimieskalenteri 96/13 ja 05/12</b>
<b>GRANIITTI</b> Punertavanharmaa, heikosti suuntautunut ja kohtalaisen tasalaatuinen, rapautumaton, keski- karkeahkorakeinen, porfyryiset kalimaasälpähajarakeet 5-30 mm, biotiitin raekoko < 0,5- 1mm, sisältää vähän myös amfibolia, kloriittia, karbonaattia, malmimineraaleja, apatiittia ja epidootia. Kivessä paikoin harvakseltaan, tummia, hienorakeisia biotiitti- ja sarvivälkepitaisia liuskesulkeumia (Ø 5-10 cm). Päärakoilusuunnassa myös 10-20 cm paksuisia ruhjeita, joissa kivi rikkoutunutta ja sisältää kloriittia, epidootia ja savimineraaleja. Louhoksen koillisosan rintaauksessa hienorakeista kiillegneisiä, jossa graniittisia juonia. Louhosalueesta 80 % graniittia, loput liusketta ja kiillegneisiä
<b>MARKKOSKALLIO/KUORTANE/TTY:n hie</b>
<b>GRANODIORIITTI</b> Tasarakeinen, mineraalien raekoko 1-3 mm, biotiittirakeet päämineraaleja pienempiä: 0,5-1 mm. Mineraalit tasaisesti jakautuneet, ei suuntausta. Mineraalimuutoksia ei esiinny ja rakoilu on vähäistä. Kiviaines on rapautumatonta.
<b>PAAPANLUHTA/LAIHIA/Kivimieskalenteri 05/34 ja Tieliikelaitoksen hieet 1-3</b>
<b>AMFIBOLIITTI</b> hienorakeinen, mineraalien raekoko keskimäärin < 0,5 mm, päämineraalit sarvivälke ja plagioklaasi, kiven erityispiirre voimakas, lähes vaaka-asentoinen venymä => kivi lohkeaa pölkkymäisiksi ja puikkomaisiksi rakeiksi, voimakkaasti liuskeinen, ulkonäöltään raitainen (plagioklaasi ja sarvivälkerikkainen kerrosten vuorottelu), mineraalien muuttuminen vähäistä, sisältää kuitenkin pieniä määriä opaakkeja, titaaniittia, epidootia, muskoviittia ja kloriittia
<b>MAUNUKSELAN MONTTU KYTÖLÄ/ISOKYRÖ/TTY:n hie</b>
<b>A: PLAGIOKLAASIPORFYRIITTI</b> Mineraalien raekoko vaihteleva: suurimmat kvartsirakeet 3-5 mm, muut mineraalit yleisesti < 1 mm. Tummat mineraalit esiintyvät yleisesti kasaamina, ei suuntausta eikä mineraalimuutoksia, rakoilua vähän suurissa kvartsirakeissa, kiviaines rapautumatonta
<b>B: GRANODIORIITTI</b> Tasarakeinen, mineraalien raekoko 1-3 mm, biotiitti hyvin pienirakeisena: raekoko < 1 mm, mineraalimuutoksia ei juurikaan havaittavissa, rakoilu vähäistä, kiviaines rapautumatonta
<b>HÖSTVESI/VAASA/Kivimieskalenteri 94/11 ja 00/12</b>
<b>GRANIITTI/GRANIITTIGNEISSI</b> Mineraalien raekoko 0,2-5 mm, kalimaasälpähajarakeet kuitenkin keskimäärin 50-100 mm, kivi sisältää runsaasti suuntautunutta biotiittia ja tummanpunaisia almandiittigranaatteja, kivessä on myös pieniä määriä apatiittia, malmimineraaleja ja epidootia
<b>KOIVUKANGAS/YLISTARO/Tieliikelaitoksen hieet 1-4</b>
<b>GRANIITTI/GRANODIORIITTI</b> Sekarakeinen, mineraalien raekoko 0,5-3 mm, heikosti suuntautunut, biotiitti esiintyy kasaamina, mineraalien muuttuminen vähäistä (plagioklaasi serisiitiksi, biotiitti kloriitiksi). Kiilteen esiintymistapa saattaa aiheuttaa sen rikastumista hienoainekseen murskeen hienontuessa.
<b>KOOKINKALLIO/LAPUA/Kivimieskalenteri 95/36 ja 02/33 sekä Tieliikelaitoksen hieet 1-4</b>
<b>KIILLEGNEISSI</b> Hieno/keskirakeinen, mineraalien raekoko 0,2-5 mm, selvästi suuntautunut, poimuttunut ja asultaan raitainen (kiilteen ja kvartsin määrä vaihtelee eri kerroksissa), kiillerikkaissa kerroksissa 1-2 mm punaisia granaattirakeita. Mineraalien muuttuminen vähäistä (serisiittia plagioklaasissa), louhoksen seinämällä haarniskapintoja, joissa runsaasti kloriittia, mikä saattaa heikentää alueelta saatavan kalliomurskeen laatua. Kiviaines on paikoin hyvin kiillepitoista. Kiilteen runsauden ja esiintymistavan vuoksi sen rikastumisriski murskeiden hienontuessa on merkittävä
<b>BACLUND/VÖYRI/TTY:n hie</b>
<b>GRANODIORIITTI</b> Mineraalien raekoko vaihteleva: paikoin < 1mm, paikoin > 5 mm, biotiitti yleensä 1-3 mm, kloriittituneet biotiittirakeet kuitenkin osin < 1mm. Kivi suuntautumaton ja lähes rapautumaton, rakoilua esiintyy vain vähän. Mineraalimuutoksina esiintyy paikoin biotiitin kloriittituumista ja paikoin voimakastakin plagioklaasin serisiittituumista. Vaihteleva raekoko, osin kerroksellisesti järjestäytyneet mineraalit sekä paikoin esiintyvät muuttuneet mineraalit ovat aiheuttaneet näytteen kiviaineksessa deformatiiviselle kivelle tyypillisen niin sanotun muurilaastirakenteen, jota esiintyy paikoin näytteessä
<b>KUCKUS/VÖYRI/TTY:n hie</b>
<b>A: TONALIITTI</b> Tasarakeinen, omamuotoisina esiintyvien mineraalien raekoko pääosin noin 1 mm, suuntaukseton, ei mineraalimuutoksia eikä rakoilua, kiviaines rapautumatonta
<b>B: GRANIITTI</b> Tasarakeinen, mineraalien raekoko pääosin 1-5 mm, biotiitti kuitenkin yleisesti < 1 mm. Mineraalimuutoksina vähäistä plagioklaasin serisiittituumista, rakoilua jonkin verran sekä mineraalien sisäisenä mikrorakoiluna että täyteenä näytteen läpi kulkevana rakoiluna, ei suuntausta, mineraalit tasaisesti jakautuneena. Kiviaines rapautumatonta
<b>TYNIN SORA/ALAHÄRMÄ/TTY:n hie</b>
<b>GRANODIORIITTI</b> Tasarakeinen, mineraalit näytteessä omamuotoisinaan ja pääosin 1-3 mm kokoisia. Biotiittirakeet yksittäin esiintyessään 1-3 mm kokoisia, paikoin esiintyy vähäisiä biotiittikasautumia, joissa raekoko < 0,5 mm. Mineraalimuutoksina osittaista plagioklaasin serisiittituumista ja biotiitin vähäistä kloriittituumista. Rakoilua melko vähän eikä suuntausta. Paikoin deformatiiviseen viittaavaa muurilaastirakennetta, jossa hyvin hienorakeiset (< 0,5 mm) rakeet ympäröivät suurempia rakeita. Kiviaines rapautumatonta.

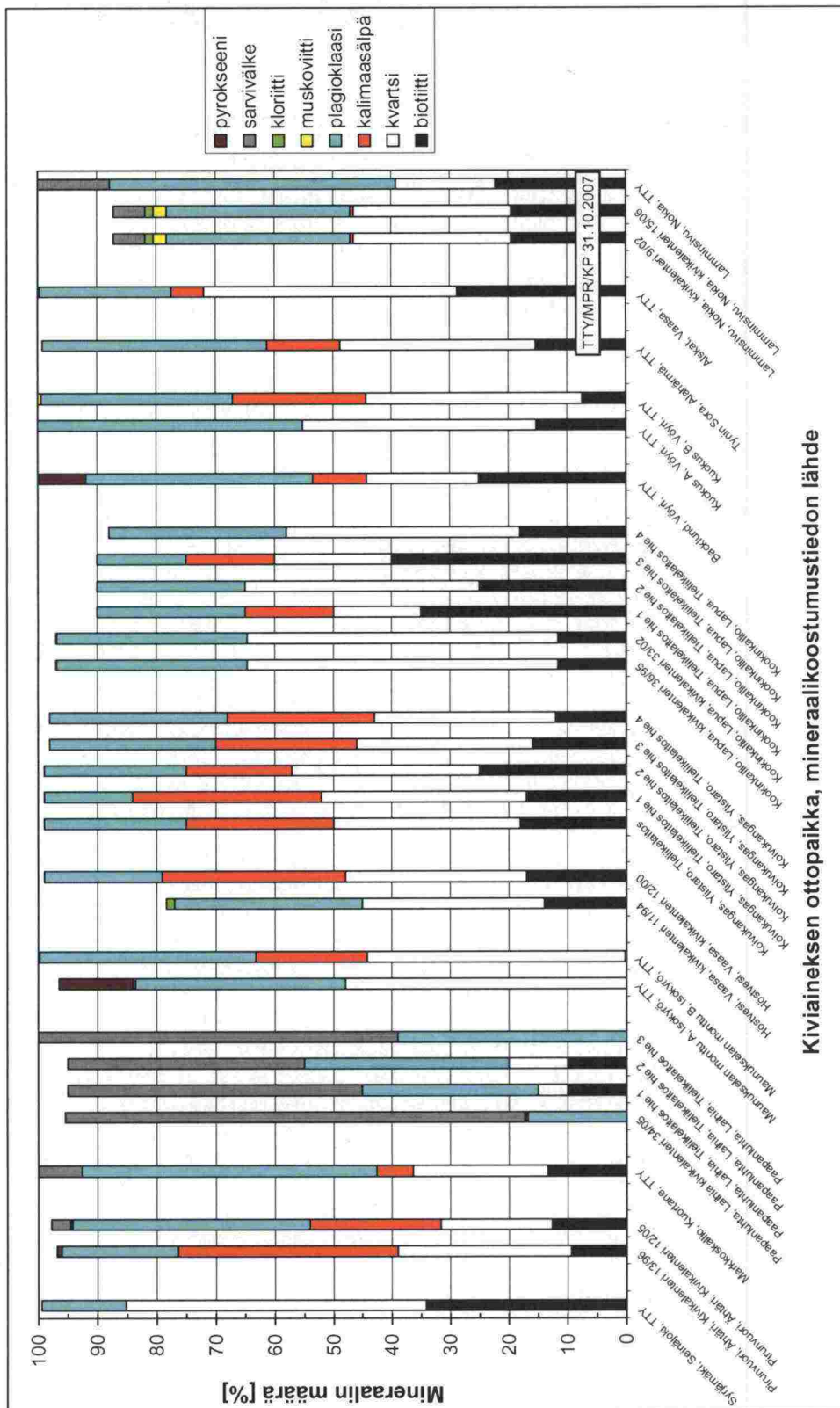


**ALSKAT/VAASA/TTY:n hie**

**KVARTSIPITOINEN GRANITOIDI** Näytteen mineraalien raekoko on kaksijakoinen: kvartsi- ja maasälpärakeet ovat raekooltaan 1-3 mm ja biotiitti < 1 mm. Biotiitti esiintyy yleisesti suuntautumattomana kasaumissa, kiviaines on suuntautumaton. Mineraalimuutoksina plagioklaasin osittaista serisiittiytymistä. Rakoiluna vähän mineraalirakeiden sisäistä mikrorakoilua, kiviaines rapautumatonta.

**LAMMINSIVU/NOKIA/Kivimieskalenteri 02/09 ja 06/15 ja TTY:n hie**

**TONALIITTI** Keskirakeinen ja asultaan suuntautumaton, plagioklaasi yleisesti jonkin verran muita mineraaleja kookkaampina rakeina. Plagioklaasi on kaksostunut ja muuttunut kohtalaisen runsaasti saussuriitiksi ja serisiitiksi, plagioklaasissa yleisesti mikrorakoilua. Biotiitti muuttunut pajkoin kloriitiksi ja se muodostaa kasaumia titaniitin ja amfiboliitin kanssa. Louhoksella on myös useita metrejä leveitä, selvästi suuntautuneita hienorakeisia gneissikappaleita, joissakin sulkeumissa on vähän kiisuminaaleja (kuperikiisua). Tonalitissa on hiertyneitä rakopintoja, jotka ovat kloriittiutuneet ja kiisuutuneet



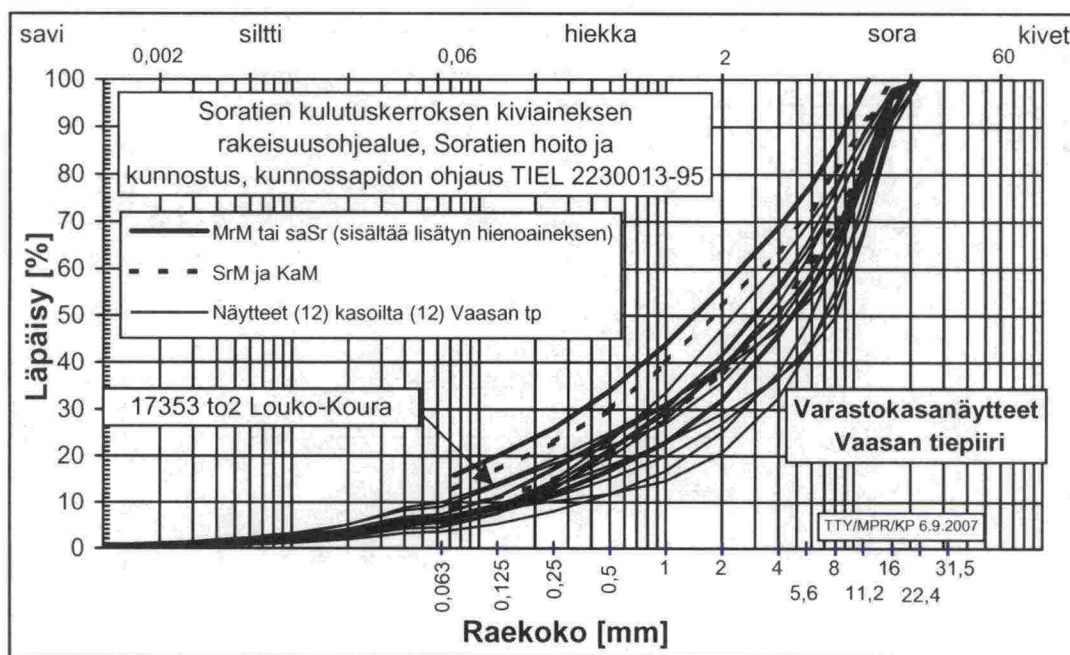
Kuva 1. Pintakelirikkotutkimuksissa tutkittujen kulutuskerros murskeiden ottopaikkojen kivilajien mineraalikoostumus.





## 4.2 Raekokojakautuma

Sorastumurskeen varastokasoista toimitettujen näytteiden raekokojakautumat on esitetty kuvassa 2. Murskeiden hienoainesmäärä on vaihdellut 4,5 %:sta 10 %:iin; seitsemässä kahdestatoista hienoainespitoisuus oli välillä 4-6 %. Hienoainespitoisimmat murskeet ovat näiden yksittäisten näytteiden perusteella olleet tiellä 17353 Louko-Koura käytetty Syrjämäki (9,0 %) ja tiellä 17829 Ojala-Hanhimäki käytetty Tynin sora (10,0 %). Vähiten hienoainesta oli tiellä 17472 Länsikylä-Keskikylä käytetyssä Markkoskallion (4,5 %) ja tiellä 17789 Kalapää käytetyssä Kuckuksen (3,5) murskeessa. Valtaosa murskeiden raekokojakautumista oli ohjealueella poikkeuksena Paapanluhdan, Maunukselan montun, Kuckuksen ja Alskatin murskeet, joiden jakautumat roikkuivat ohjealueen alapuolella erityisesti raekokoalueella  $\geq 1$  mm. Edellä oleva tarkastelu perustuu siis vain yhteen seulontaan; todellisemman kuvan murskeiden raekokojakautumista saisi mahdollisista murskausaikaisista laadunvalvontatuloksista.



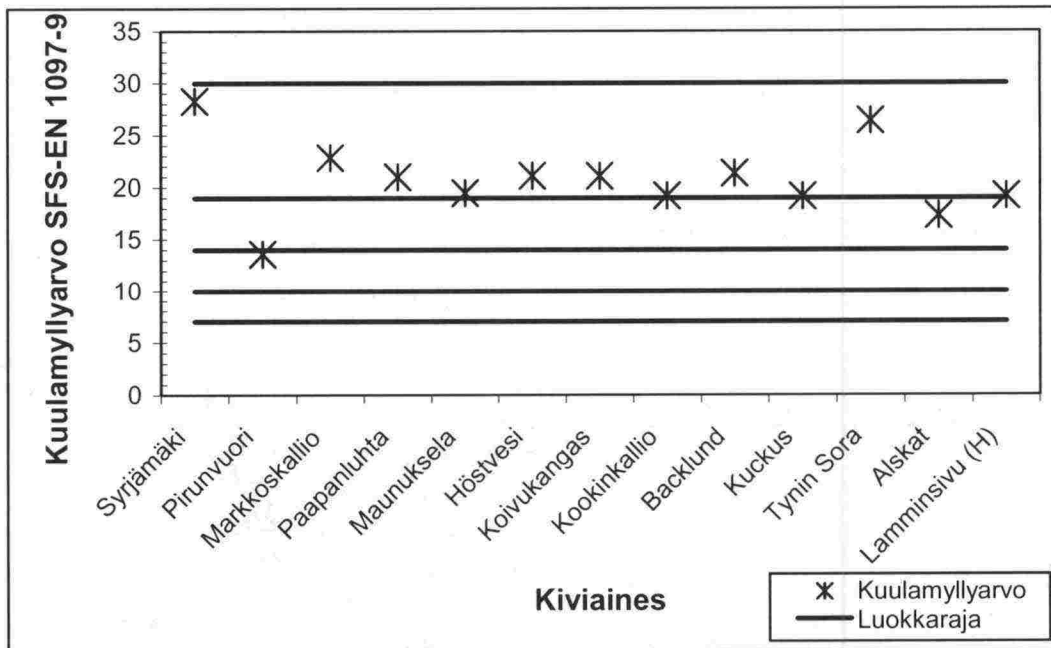
Kuva 2. Vaasan tiepiirin pintakelirikkoisilla teillä käytettyjen sorastumurskeiden raekokojakautumat loppuvuonna 2006 toimitetuista varastokasanäytteistä tehtyjen pesuseulontojen perusteella.

Sorastumurskeiden hienoainesten savipitoisuus oli sedigraph –menetelmällä tutkittuna 7-15 %. Suurimmat 13-15 % savipitoisuudet olivat Syrjämäen, Höstveden ja Alskatin sorastumurskeissa. Savipitoisuudet on esitetty kuvassa 7, jossa niitä on verrattu tieltä otettujen näytteiden savipitoisuuteen.



### 4.3 Kulutuskestävyys

Sorastusmurskeiden kulutuskestävyyttä tutkittiin pohjoismaisella kuulamylykokeella, joka tehdään lajitteesta 11,2-16 mm. Kokeiden tulokset on esitetty kuvassa 3. Tulosten perusteella pääosa kuulamylyarvoista oli > 19, joka on alin luokkaraja asfalttipäällysteisiin tai -pintauksiin hyväksyttävälle kiviainekselle. Heikoimmat kuulamylyarvot saatiin Syrjämäen (28,3) ja Tynin soran (26,4) murskeelle ja lujimmat Pirunvuoren (13,6) murskeelle. Kolme tutkituista kolmestatoista (Lamminsiivu, Hämeen tiepiiri mukana) murskeesta ylitti kuulamylyarvon 22 ja seitsemän arvon 20.

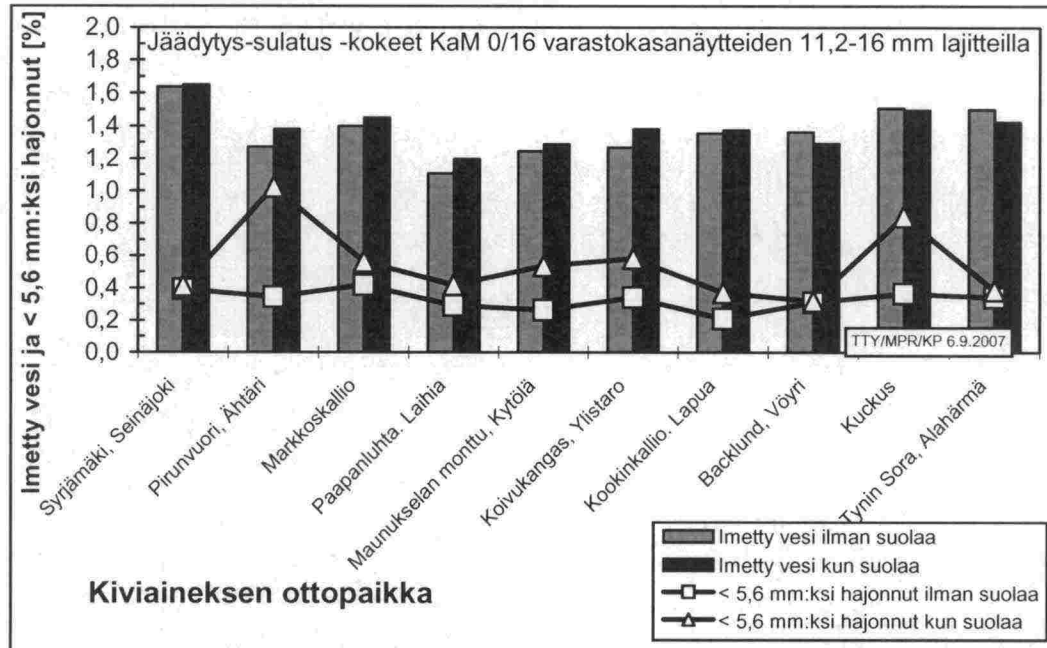


Kuva 3. Sorastusmurskeiden varastokasanäytteiden kuulamylyarvot.



#### 4.4 Jäädytys-sulatus -kestävyys

Jäädytys-sulatus -kokeen tulokset on esitetty kuvassa 4 kustakin sorastusmurskeesta tehdyn kolmen kokeen (á 2 kg lajitetta 11,2-16 mm) keskiarvoina. Kokeen aikana näytteen imemä vesimäärä tutkittiin valuttamalla irtovettä pois 2 mm seulan ( $\varnothing$  300 mm) päällä 5 min ajan. Alle 5,6 mm:ksi hajonneiden rakeiden määrä tutkittiin seulomalla näyte käsin.



Kuva 4. Sorastusmurskeille tehtyjen jäädytys-sulatus -kokeiden tulokset.

Noin kolme viikkoa kestäneen jäädytys-sulatus -kokeen aikana tutkitut kiviaineslajitteet imivät vettä 1,1-1,6 %. Eniten vettä imi tien 17353 Louko-Koura sorastuksessa käytetty Syrjämäen kiilleliuske. Sillä oliko kokeessa käytetty vesi suolaista vai suolatonta ei näyttäisi olevan vaikutusta imetyn veden määrään. Alle 5,6 mm:ksi suolattomalla vedellä tehdyssä kokeessa rikkoutui noin 0,4 % ja suolaisella vedellä tehdyssä kokeessa muutamaa poikkeusta lukuunottamatta korkeintaan 0,2 %-yksikköä enemmän. Poikkeavat kiviainekset olivat Pirunvuoren graniitti ja Kuckuksen graniitti/tonaliitti, joilla suolaisella vedellä tehdyssä kokeessa rikkoutui 0,8-1,0 % eli kaksinkertainen määrä suolattomalla tehtyyn kokeeseen verrattuna.

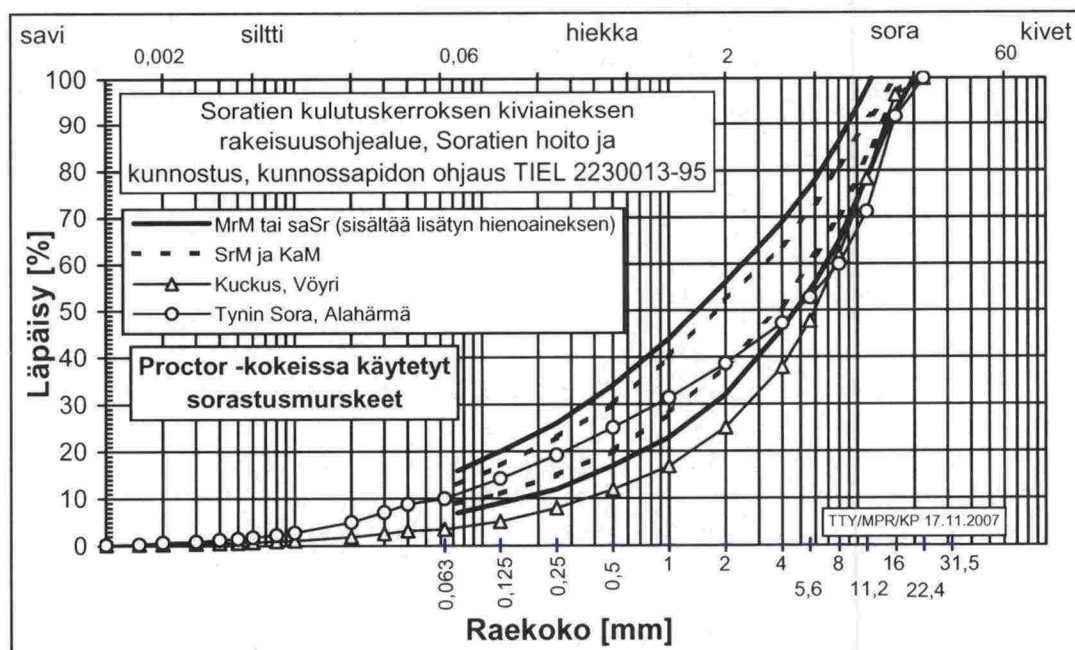
Jäädytys-sulatus -kokeessa rikkoutuneiden rakeiden määrä on kaiken kaikkiaan hyvin pieni. Teiden, lentokenttien ja muiden liikennöityjen alueiden asfalttimassoihin ja pintauksiin tarkoitettujen kiviainesten tuotestandardissa SFS-EN 13043 parhaan  $F_1$ -luokan raja suolattomalla vedellä tehdyssä jäädytys-sulatuskokeessa on 1 %, jonka kaikki tutkitut kiviainekset siis täyttivät. Huonoa jäädytys-sulatus -kestävyyttä ei siis ainakaan voida pitää sorastuskiviainesten mahdollisen hienonemisen syynä etenkin kun huomioidaan, että molemmat kokeet tehtiin 2,5 -kertaisella jäädytys-sulatus syklimäärällä testistandardiin verrattuna.



## 4.5 Vedenimeytyminen

### 4.5.1 Tavoitetiiviydet

Sorastusmurskeiden varastokasanäytteiden vedenimeytymisominaisuuksia tutkittiin siis niin sanotun Tube suction eli imupainekokeen (TS –koe) kokeen avulla. Koetta varten tutkittiin ensin parannetulla Proctor –kokeella tutkituista sorastusmurskeista rakeisuudeltaan hienoimman (Tynin sora) ja karkeimman (Kuckus) optimivesipitoisuus ja kuivatilavuuspainon maksimi. Tämä tehtiin sen vuoksi, että tiedetään mihin tiiveyteen imupainekokeessa tavaksi tulleella vakiotiivistystyöllä päästäisiin koekappaleita tehtäessä. Kokeita varten kukin Proctor –kokeessa käytetty, eri vesipitoisuudella tiivistetty kappale suhteitettiin lajite lajitteelta vastaamaan kuvan 5 mukaista, TTY:hyn saadusta varastokasanäytteestä määritettyä raekokojakautumaa.



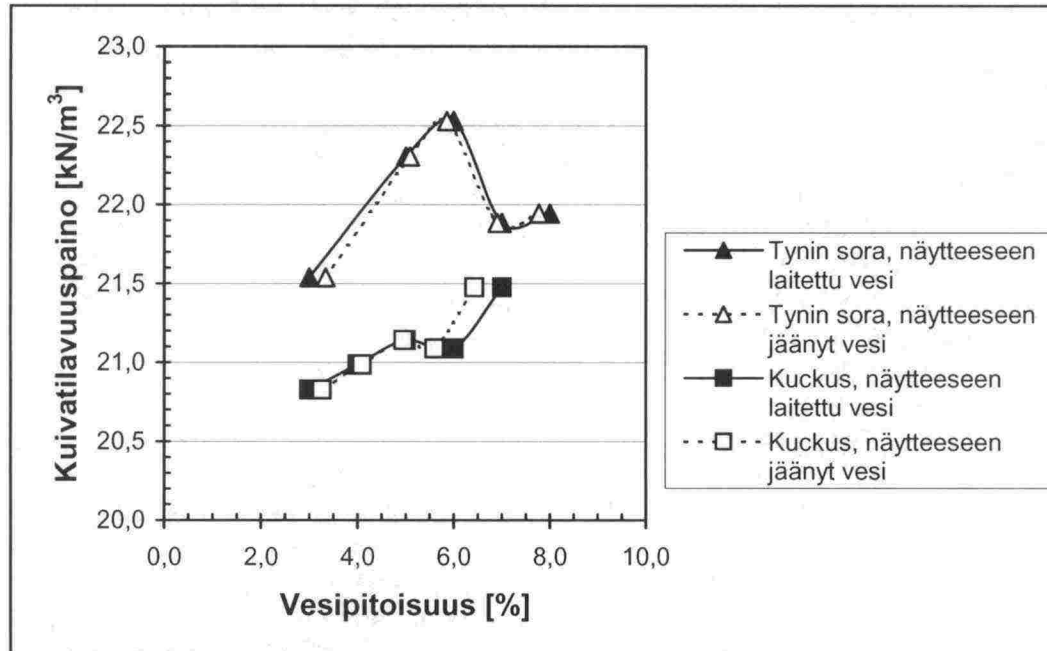
Kuva 5. Proctor –kokeissa käytettyjen sorastusmurskeiden raekokojakautumat.

Proctor –kokeiden tulokset on esitetty kuvassa 6, jossa kuivatilavuuspaino on esitetty sekä näytteeseen laitetun vesimäärän että siitä tiivistyksen jälkeen määritetyn vesimäärän funktiona. Hienorakeisimman Tynin soran sorastusmurskeen optimivesipitoisuudeksi määritettiin 6 % ja kuivatilavuuspainon maksimiksi  $22,53 \text{ kN/m}^3$ . Murske pystyi hyvin sitomaan myös optimivesipitoisuutta selvästi suuremman vesimäärän ilman että sitä olisi juurikaan poistunut näytteestä sitä tiivistettäessä. Tilavuuspaino toki pieneni tällöin selvästi.

Karkearakeisemman Kuckuksen sorastusmurskeen optimivesipitoisuudeksi määritettiin noin 5 % ja kuivatilavuuspainon maksimiksi  $21,14 \text{ kN/m}^3$ .



Kuckuksen murskeella optimikohta ei ollut niin selvä kuin Tynin soran murskeella sillä optimivesipitoisuutta selvästi suuremmalla vesipitoisuudella saatiin yllättäen suurempi kuivatilavuuspaino. Murske ei pystynyt tällöin kuitenkaan sitomaan kaikkea siihen laitettua vettä vaan osa siitä valui pois joko heti näytteen kasteluvaiheessa tai viimeistään tiivistysvaiheessa.



Kuva 6. Proctor -kokeen tulokset tämän tutkimuksen hieno- ja karkearakeisimmalla sorastusmurskeelle.

Imupainekoetta varten koekappaleet tiivistettiin kiertotiivistimellä muoviputkiin ( $\varnothing$  152 mm) käyttäen tiivistysparametreina 3,6 bar mittaripainetta (tiivistyspaine näytteen pinnalla 330 kPa), poikkeuskulmana 40 mrad ja tiivistyskierrosten lukumääränä 100 kierrosta. Tiivistysvesipitoisuutena käytettiin suurimmassa osassa koekappaleita Tynin soran kiviainekselle määritettyä 6 %:n optimia. Neljä roikkuvakäyräisintä tiivistettiin kuitenkin 4,7-5,5 % vesipitoisuudessa. Tiivistyksellä saavutetut tiiveysasteet on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Imupainekoekappaleiden tiivistysvesipitoisuudet ja tiiveysasteet.

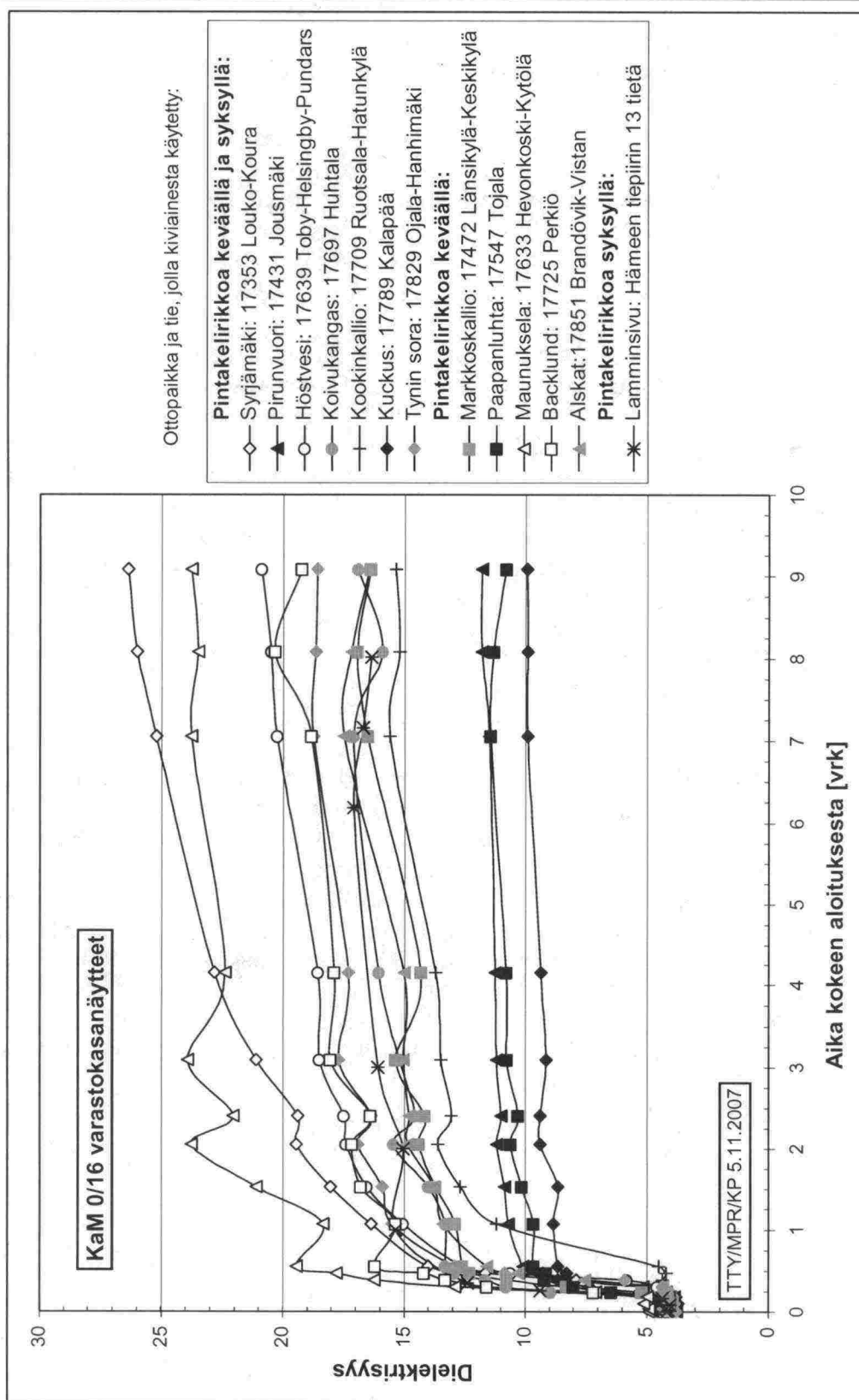
Murske	Vesipitoisuus [%]		Tiiveysaste [%] kun vertailuna	
	tiivistys	ennen imupainekokeen aloitusta	Tynin sora	Kuckus
Syrjämäki	6,0	1,5	95	101
Pirunvuori	6,0	0,9	94	100
Markkoskallio	6,0	0,9	94	100
Paapanluhta	4,7	1,4	99	106
Maunuksela	5,5	0,7	97	104
Höstvesi	6,0	0,5	95	101
Koivukangas	6,0	0,7	94	101
Kookinkallio	6,0	0,4	99	105
Backlund	6,0	0,6	94	100
Kuckus	5,5	1,0	90	96
Tynin Sora	6,0	0,9	96	102
Alskat	5,2	1,0	96	103



#### 4.5.2 Dielektrisyys Tube Suction –kokeesta

Vedenimeytymiskokeessa edellä mainittuihin tiiveysasteisiin sullottuihin ja aloitusvesipitoisuuteen kuivaneisiin koekappaleisiin imeytettiin alakautta tislattua vettä. Vedenimeytymistä seurataan näytteen yläpinnalta aika-ajoin tehtävän sähköisten ominaisuuksien (dielektrisyys ja sähkönjohtavuus) mittauksen avulla. Dielektrisyys- ja sähkönjohtavuusarvo mitattiin percometer – laitteella, ja seuranta tehtiin tässä tutkimuksessa 9 vrk:n ajan. Dielektrisyysarvo yleensä kasvaa kun näytteeseen imeytyneen veden ja hienoaineksen määrä kasvaa (*Saarenketo, Saarenketo & al.*). "Laatuluokituksen perusteena käytetään testin loppuosasta mitattujen dielektrisyysarvojen asymptoottia" (*Saarenketo*) eli arvoa, johon dielektrisyys näyttää kokeen loppuvaiheessa tasaantuvan.

Tulokset on esitetty kuvassa 7. Pienimmät dielektrisyysarvot on saatu Kuckuksen, Paapanluhdan ja Pirunvuoren sorastusmurskeilla. Niillä dielektrisyysarvo on 10-12, ja se tasaantuu sille tasolle jo noin vuorokauden kuluttua kokeen aloittamisesta. Suurimmat dielektrisyysarvot 24-26 on saatu Syrjämäen ja Maunukselan sorastusmurskeiden kasanäytteillä. Niillä tasaantuminen on hidasta, ja esimerkiksi Syrjämäen kiilleliusketta olevalla murskeella näyttäisi olevan dielektrisyysarvon "nousupotentiaalia" vielä 9 vrk:n kuluttuakin kokeen aloituksesta. Muilla sorastusmurskeilla dielektrisyysarvo asettuu kokeen loppuvaiheessa välille 15-21. Tämän joukon voisi ryhmitellä tason 19-21 antavaan Tynin soran, Backlundin ja Höstveden sorastusmurskeisiin ja tason 15-17 antavaan Kookinkallion, Markkoskallion, Alskatin ja Koivukankaan murskeisiin. Hämeen tiepiirin pintakelirikkotutkimusten yhteydessä tutkittu Lamminsivun KaM 0/16 asettuu myös jälkimmäiselle tasolle.



Kuva 7. Tube suction -kokeen dielektrisyyssarvot tutkituille sorastusmurskeiden varastokasanäytteille.



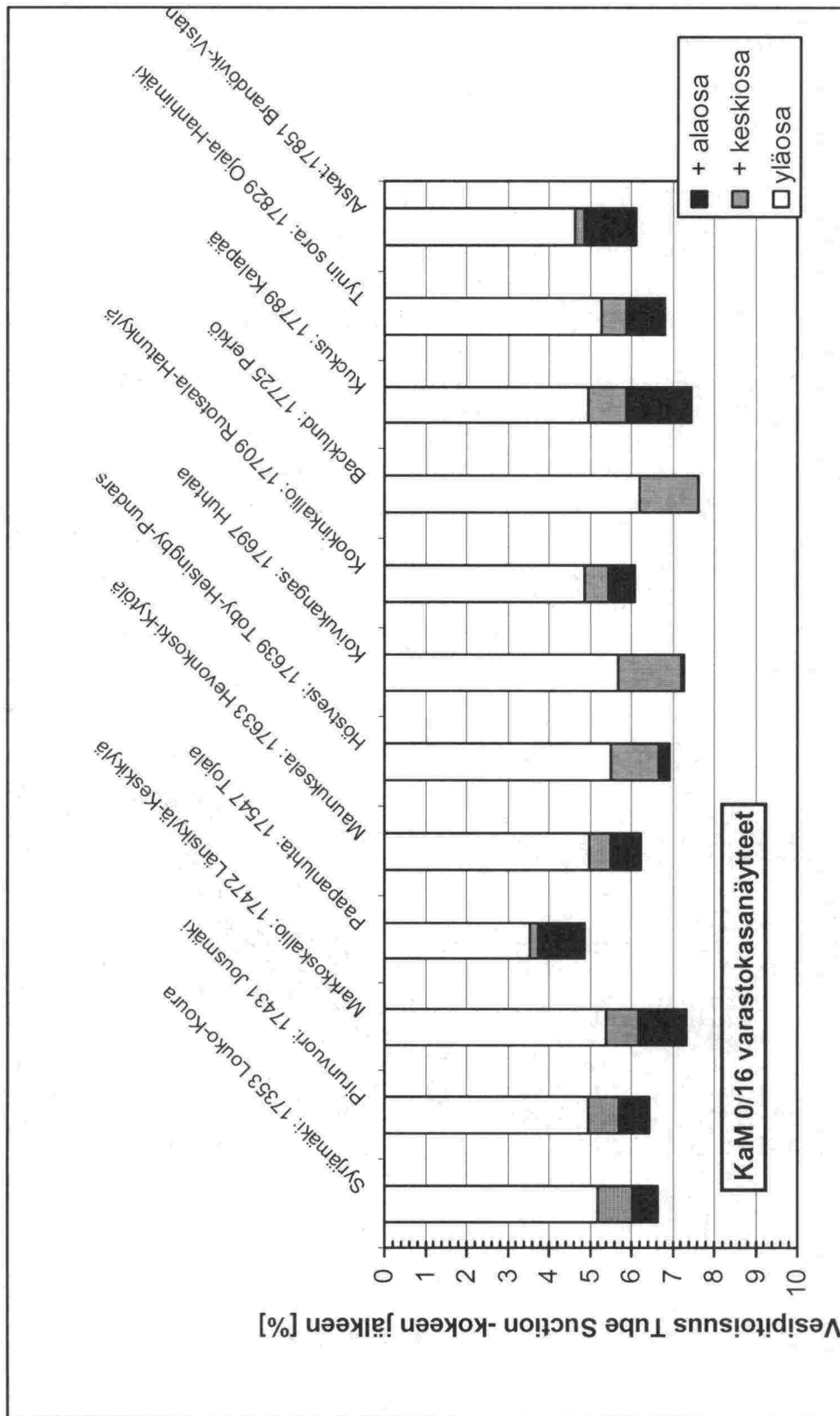
#### 4.5.3 Vesipitoisuus Tube suction -kokeen jälkeen

Tube suction -kokeen jälkeen tutkittiin koekappaleiden vesipitoisuus koko ylimmästä, keskimmäisestä ja alimmaisesta kolmanneksesta. Tulokset on esitetty kuvassa 8. Tulosten mukaan koekappaleiden ylimmän kolmanneksen vesipitoisuus on kokeen lopussa pienin (3,5 %) Paapanluhdan kiviaineksella ja suurin (6,2 %) Backlundin kiviaineksella. Muilla kiviaineksilla ylimmän kolmanneksen vesipitoisuus asettui useimmissa kappaleissa tasolle  $5 \pm 0,5$  %.

Ennen imupainekokeen aloitusta määritettyyn koko kappaleen vesipitoisuuteen (vesipitoisuuden voitaneen olettaa olleen tasaisesti jakautunut) verrattuna ylimmän kolmanneksen vesipitoisuus on kokeen jälkeen kiviaineksesta riippuen 2,5-14 -kertainen. Vähiten (2,5-3,5 -kertaiseksi) se on noussut Paapanluhdan ja Syrjämäen kiviaineksilla ja eniten (10-14 -kertaiseksi) Höstveden, Backlundin ja Kookinkallion kiviaineksilla. Muilla kiviaineksilla muutos on ollut noin 5-8 -kertainen. Muutoksen suuruus toki riippuu paljon siitä kuinka kuivia kappaleet ovat olleet ennen kokeen alkua. Kiviainekset, joissa nousu oli pienintä olivat myös muita kosteampia ennen kokeen aloitusta. Suurimmat vesipitoisuuden nousut tapahtuivat puolestaan kiviaineksissa, jotka olivat kokeen alussa kuivimpia. Kun lähtötilanteen vesipitoisuus oli noin 1 % nousi koekappaleen ylimmän kolmanneksen vesipitoisuus kokeen loppuun mennessä noin viisinkertaiseksi.

Alimpaan kolmannekseen päin vesipitoisuus luonnollisesti kasvaa sillä siellä vedenpinta on lähempänä ja alimman kolmanneksen rakeiden väliset huokostilat enemmän vedellä kyllästyneitä kuin ylimmän. Suurimmat vesipitoisuuden lisäykset ylimpään kolmannekseen nähden on tapahtunut Kuckuksen ja Markkoskallion kiviaineksilla, joilla keskimmäisen ja alimman kolmanneksen yhteenlaskettu vesipitoisuuden kasvu on ollut 2-2,5 %-yksikköä kun se muilla oli 1,2-1,5 %-yksikköä. Suurempi kasvu selittyy muista kiviaineksista pienemmällä hienoainespitoisuudella ja etenkin Kuckuksen tapauksessa raekokojakautuman lievästä roikkumisesta aiheutuvalla pienellä kuivatilavuuspainon maksimilla, jolloin rakeiden väliin jää enemmän tilaa vedelle.





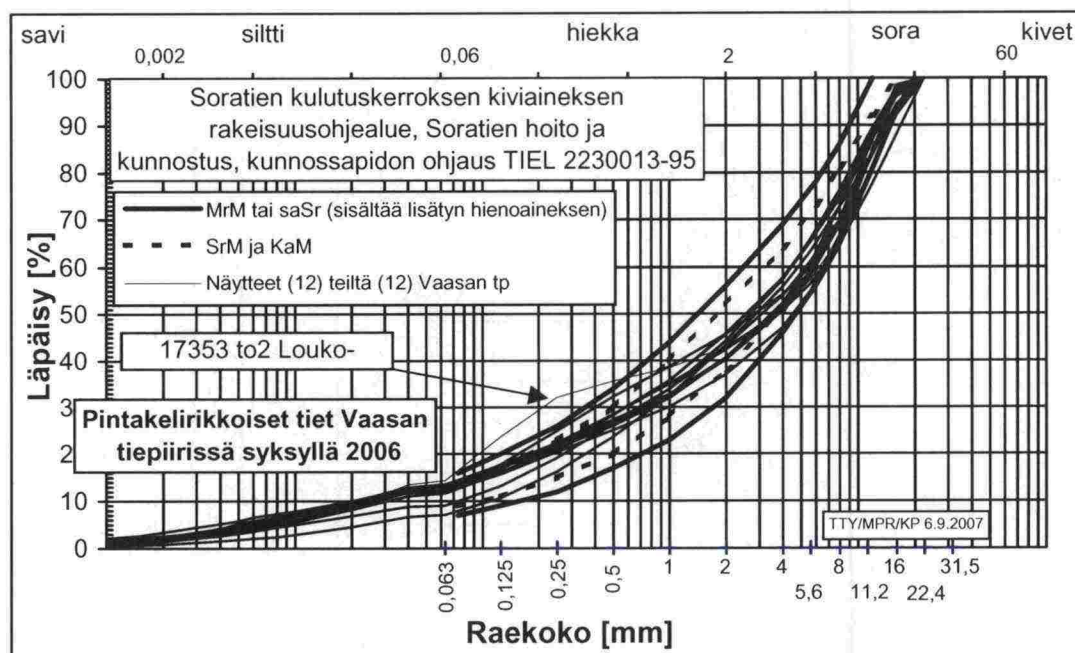
Kuva 8. Varastokasanäytteiden vesipitoisuudet Tube suction –kokeen jälkeen näytokolmanneksittain.



## 5. Materiaalitutkimusten tulokset, kulutuskerroksista otetut näytteet

### 5.1 Raekokojakautuma

Tutkimuskohteena olevien teiden kulutuskerroksista otettujen näytteiden raekokojakautumat on esitetty kuvassa 9. Näytteiden hienoainespitoisuus oli 7, 2-14,4 %. Eniten hienoainesta oli tien 17353 Louko-Koura (14,4 %) ja vähiten tien 17725 Perkiö (7,2 %) näytteessä. Kahdella tiellä hienoainesmäärä oli < 10 %, seitsemällä 12-13 % ja kolmella > 13 %. Louko-Koura -tien kulutuskerroksen raekokojakautumassa näkyy selvä, "hiekkapatin" tyyppinen epäjatkuvuuskohta raekokoalueella 0,125-1 mm. Syyksi ilmeni tien pintakelirikko-ongelman korjaamiseksi kulutuskerrokseen lisätty "kivituhka". Useimmille raekokojakautumille — lukuunottamatta vähiten hienoainesta sisältävät tiet 17472 ja 17725 — näyttäisi olevan tyypillistä se, että jakautuma noudattaa > 4mm raekoossa melko hyvin ohjealueen alimpien rajakäyrien kulkua mutta siirtyy siitä leikkaamaan < 4 mm raekoossa ohjealuetta niin, että hienompien raekokojen kulku noudattaa jo ohjealueen ylempiä rajakäyriä.

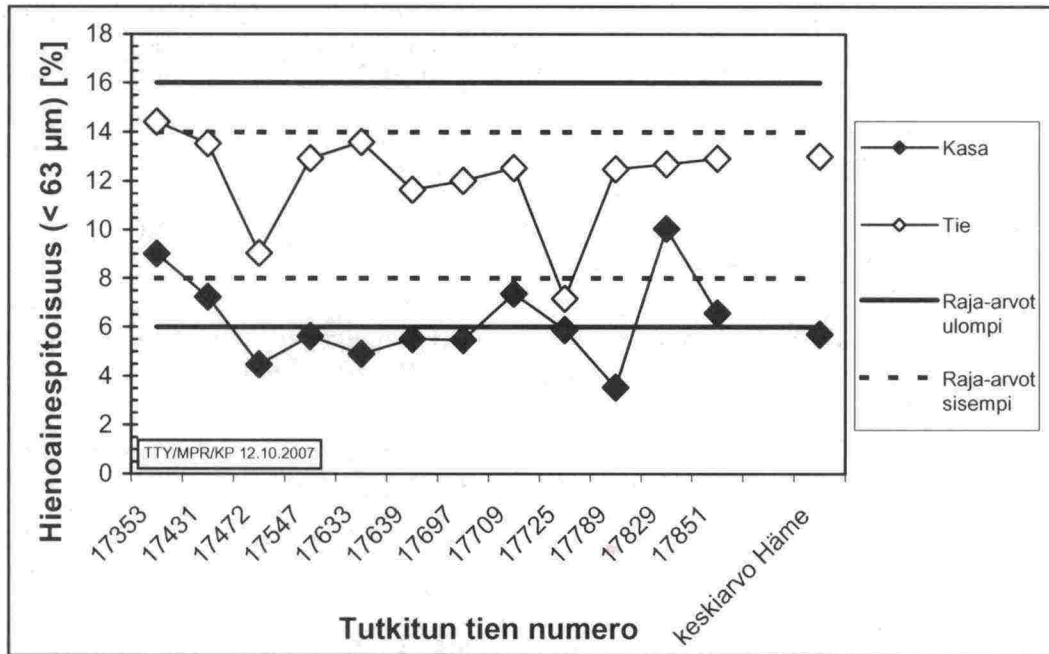


Kuva 9. Kulutuskerroksista otettujen näytteiden raekokojakautumat.

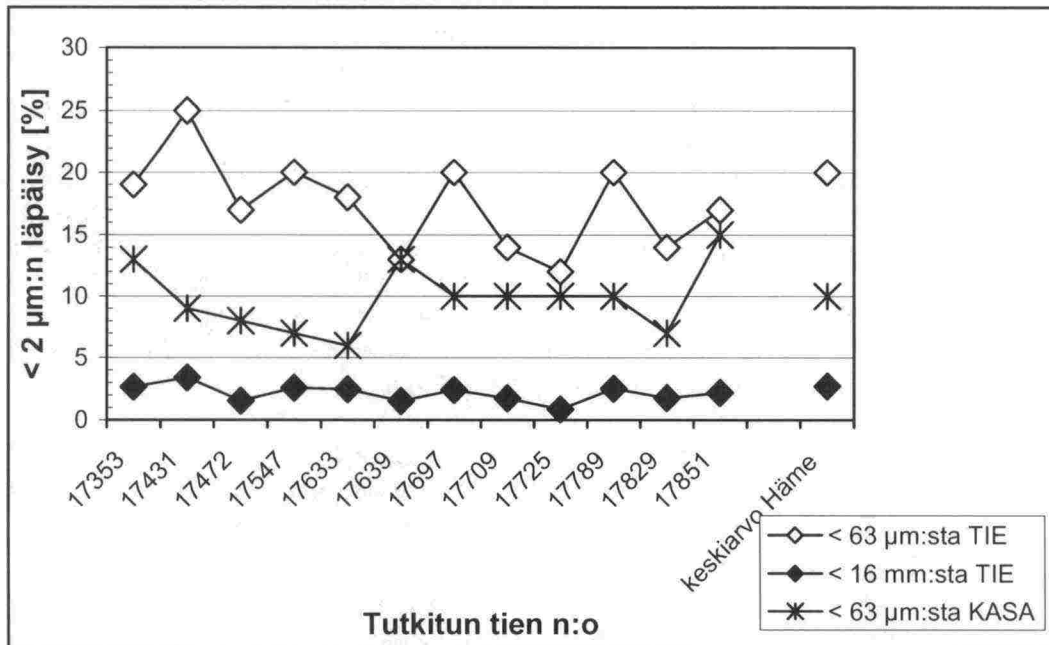
Tieltä ja varastokasasta otettujen näytteiden hienoainespitoisuuksia on verrattu kuvassa 10. Tieltä otettujen näytteiden hienoainespitoisuus on 1,3-8,9 % - yksikköä suurempi kuin varastokasasta otettujen näytteiden mutta kuitenkin ohjealueella. Suurimmillaan (8,7-8,9 %-yksikköä) ero oli teillä 17789 Kalapää, jonka sorastuksessa oli käytetty Kuckuksen kiviainesta ja 17633 Hevonkoski-Kytölä, joka oli sorastettu Maunukselan montun kiviaineksella.. Pienimmillään



ero oli taas tiellä 17725 Perkiö, joka oli sorastettu Backlundin kiviaineksella. Hämeen tiepiirin pintakelirikkoisten teiden tutkimuksen yhteydessä tutkitut tiet ja varastokasat mukaan lukien kahdella tiellä ero tienäytteen ja varastokasanäytteen hienoainespitoisuuden välillä on < 3 %-yksikköä, seitsemällä tiellä 5-7 %-yksikköä ja neljällä > 7 %-yksikköä.



Kuva 10. Tieltä ja varastokasasta otettujen näytteiden hienoainespitoisuuksien vertailu.



Kuva 11. Tieltä ja varastokasasta otettujen näytteiden hienoainesten savipitoisuuksien vertailu.



Sorastuskiviainesten savipitoisuuksia on tarkasteltu kuvassa 11. Hienoainesten (< 0,063 mm) savipitoisuudet tutkittiin röntgen –säteen intensiteetin muutokseen perustuvalla sedigraph –laitteella. Tieltä otettujen näytteiden hienoainesten savipitoisuus vaihteli välillä 12-25 %. Koko 0/16 mm kulutuskerroskiviaineksestä laskettuna savipitoisuus vaihteli välillä 0,9-3,4 %. Sorastusmurskeiden varastokasanäytteiden hienoainesten savipitoisuuteen (6-15 %) verrattuna tieltä otettujen näytteiden savipitoisuus on useimmissa tapauksissa selvästi suurempi; usealla tiellä kaksinkertainen sorastusmurskeeseen nähden.

Tieltä otetun näytteen suurempi hienoaines- ja savipitoisuus voi johtua kolmen eri osatekijän vaikutuksesta:

- a) sorastusmurskeen sekoittumisesta hienompaan vanhaan kulutus-/alempien kerrosten kiviaineksiin
- b) tien ulkopuolelta, esimerkiksi maatalousalueelta märkänä aikana koneiden pyöriessä kulkeutuvasta hienojakoisesta lisäkiviaineksestä
- c) sorastusmurskeen hienonemisesta kulutuskerroksessa liikenteen, kunnossapitotoimenpiteiden tai kiviaineksen kulumisen/rapautumisen vaikutuksesta.

Eri tekijöiden vaikutusta on kuitenkin melko vaikea eritellä ilman tarkempia – mahdollisesti pitkäaikaisiakin tutkimuksia.

## 6. Yhteenveto, johtopäätökset ja suositukset

Tässä tutkimuksessa on tutkittu Vaasan tiepiirin pintakelirikkoisten sorateiden kulutuskerroksista ja kyseisillä teillä käytettyjen sorastusmurskeiden varastokasoista otettujen kiviainesten ominaisuuksia. Raporttiin sisältyy myös Hämeen tiepiirin pintakelirikkoisten teiden materiaalitutkimusten tuloksia. Pintakelirikkoisia sorateita oli tutkimuksessa mukana Vaasan tiepiiristä 12 ja Hämeen tiepiiristä 13. Vaasan tiepiirin kohteet oli kaikki sorastettu eri ottopaikoista otetuilla murskeilla kun taas Hämeen tiepiirin kohteet kaikki samasta ottopaikasta valmistetulla murskeella. Materiaalitutkimusten tavoitteena oli etsiä pintakelirikkoisten teiden sorastusmurskeille mahdollisesti yhteisiä ominaispiirteitä ja tarvittaessa asettaa näille ominaisuuksille raja-arvosuosituksia pintakelirikkoherkkien teiden alueella.

Tieltä otetuista näytteistä tutkittiin raekokojakautuma (pesuseulonta ja < 0,063 mm aineksen sedigraph –analyysi). Varastokasanäytteistä tutkittiin sen lisäksi kulumiskestävyys kuulamylykokeella SFS-EN 1097-9, jäädytys-sulatuskestävyys kokeella SFS-EN 1367-1 ja vedenimeytyminen Tube suction – kokeella. Ottopaikkojen kivilajien mineraalikoostumus selvitettiin niistä tehtyjen ohuthieiden avulla.



## 6.1 Raekokojakautuma

Raekokojakautumansa puolesta sekä Vaasan että Hämeen tiepiirissä käytetyt sorastusmurskeet ovat täyttäneet ohjealueen vaatimukset. Hienoainesta ( $< 0,063$  mm) murskeessa oli useimmiten 4-6 % ja jakauma muutamaa roikkuvaa poikkeusta lukuunottamatta ohjealueen alimpien rajakäyrien suuntainen. Hienoaineksen savipitoisuus ( $< 0,002$  mm aines) on sorastusmurskeissa ollut sedigraph -analyysin perusteella 6-15 %.

Tieltä otettujen näytteiden raekokojakautuma oli niin ikään ohjealueella. Jakaumille oli kuitenkin tyypillistä se, että ne noudattavat  $> 4$  mm raekoossa melko hyvin ohjealueen alimpien (siis karkeimpien) rajakäyrien kulkua mutta siirtyvät siitä leikkaamaan  $< 4$  mm raekoossa ohjealuetta niin, että hienompien raekokojen kohdalla kulku noudattaa jo ohjealueen ylempiä (siis hienompia) rajakäyriä. Hienoainemäärä oli tieltä otetuissa näytteissä useimmiten 12-14 % eli selvästi suurempi kuin sorastusmurskeissa. Hienoaineksen määrä ei kuitenkaan ylitä tällä hetkellä sallittua ylärajaa.

Suomessa nykyisin käytössä olevat, valmiin kulutuskerroksen kiviaineksen ohjealueen rajakäyrät noudattavat hyvin tiiveimmän pakkauksen teoreettisia käyriä, jolloin niiden mukaisilla kiviaineksilla pitäisi tiivistettynä ja suolattuna saada kiinteät ja tasaiset soratien kulutuskerrokset. Edellä mainittu rakeisuuskäyrän poikkeaminen ohjealueen rajakäyrien suunnasta aiheuttaa sen, että tiiveintä pakkausta varten kiviaineksessa on liikaa  $< 4$  mm raekokolajitteita. Liika hienompien lajitteiden määrä suhteessa karkeampiin lajitteisiin aiheuttaa kasvanutta vedensitomiskykyä ja sitä kautta alentunutta kostean tilan deformaatiokestävyyttä. Ongelma korostuu entisestään jos hienompien lajitteiden mineraalikoostumuksessa on pehmeitä/rapautuneita mineraaleja ja/tai levymäisiä kiillemineraaleja, joiden vedensitomiskyky on muita mineraaleja suurempi.

Edellä olevan perusteella voisi olla syytä rajoittaa pintakelirikkoherkillä teillä sorastuksessa käytettävän uuden murskeen hienompien rakeiden määrää määrittämällä raekokojakautuma sellaiseksi, että esimerkiksi hienoaineksen määrä saisi olla korkeintaan 2 %. Rakeisuuskäyrän kulku olisi hyvä olla esimerkiksi TYLT Murskaustyöt 1999 mukaisen, PAB-V 0/16 mm tekemiseen tarkoitetun kiviaineksen ohjealueen alimpien rajakäyrien mukainen. Tällöin on kuitenkin huomioitava tiessä jo olevan kulutuskerroskiviaineksen rakeisuus ja uuden sorastusmurskeen mahdollinen työn ja käytön aikainen hienoneminen, jotta uusi kiviainesseos ei jää liian vähän hienoainesta sisältäväksi, jolloin purkautumisriski kasvaa. Murskeen hienonemista pyritään rajoittamaan kulumiskestävyysskoosteista saatuun tulokseen perustuvalla raja-arvolla ja sitä on käsitelty tarkemmin kappaleessa 6.4.



## 6.2 *Mineraalikoostumus*

Mineraalikoostumukseltaan pintakelirikkoisilla teillä käytetyille sorastusmurskeille oli tyypillistä se, että ne sisälsivät yhtä poikkeusta lukuunottamatta kaikki biotiitti -nimistä kiilleryhmän mineraalia vähintään 10 %. Kahdella kiviaineksella määrä oli noin 20 % ja kahdella kiviaineksella jopa 35-40 %. Muutaman sorastusmurskeen kivilajikuvauksen yhteydessä oli myös maininta/varoitus kiilteen esiintymistavan aiheuttamasta rikastumisriskistä kiveä murskattaessa tai kiven hienontuessa. Tällaista rikastumista todettiin tapahtuneen Hämeen tiepiirissä käytetyssä sorastusmurskeessa, jossa biotiittia todettiin KaM:ssa 0/16 olevan < 0,25 mm raelajitteissa jopa 35-40 % kun sitä itse lohkaista tehdyissä hieissä oli korkeintaan 20 %. Samainen 35-40 % määrä biotiittia löytyi myös yhden Hämeen tiepiirin pintakelirikkoiselta tieltä otetun näytteen vastaavista raelajitteista.

Sorastusmurskeen mineraalikoostumuksesta aiheutuvaa pintakelirikkoriskiä voisi pienentää asettamalla käytettävän kiviaineksen kiillepitoisuudelle jokin raja-arvo. Ruotsin tielaitoksen vuoden 2005 ohjeissa (*ATB Väg 2005*) lajitteesta 0,125-0,25 tutkitulle vapaalle kiillepitoisuudelle on ylärajaksi sallittu 40 %. Se vaikuttaisi tämän tutkimuksen perusteella melko korkealta ja edellyttää toisaalta myös murskeen valmistamista — ainakin koemurskausta — ennen määrittämisen tekoa. Tarkoituksenmukaisempaa voisi olla asettaa raja-arvo myös kallioalueen ohuthieestä määritetyille kiillepitoisuudelle, jolloin pintakelirikkoherkkyyttä aiheuttavat kiviainekset voitaisiin tunnistaa jo etukäteen. Hieanalyysin yhteyteen olisi hyvä liittää myös arvio kiillemineraalien raakoosta ja rikastumisriskistä murskeen eri raekokoihin. Jos tällainen riski on olemassa mursketta ei tulisi käyttää sorastusmurskeena.

## 6.3 *Vedenimeytyminen*

Tube suction -kokeen tuloksena saatava dielektrisyysarvo vaihteli sorastusmurskeissa välillä 10-26. Kahdella murskeella taso oli noin 25, kolmella noin 20, viidellä noin 16 ja kolmella noin 11.

Tässä tutkimuksessa kokeen tuloksena saatavan dielektrisyyden raja-arvovaatimukseksi sorastusmurskeelle esitetään koetulosten (kuva 7) perusteella TS -arvoa < 16. Sen ylitti selvästi yhdeksän tutkituista kolmestatoista sorastusmurskeen varastokasanäytteestä. Kyseistä arvoa on pidetty myös sitomattomaan kantavaan kerrokseen sopimattoman murskeen raja-arvona (*Saarenketo*).



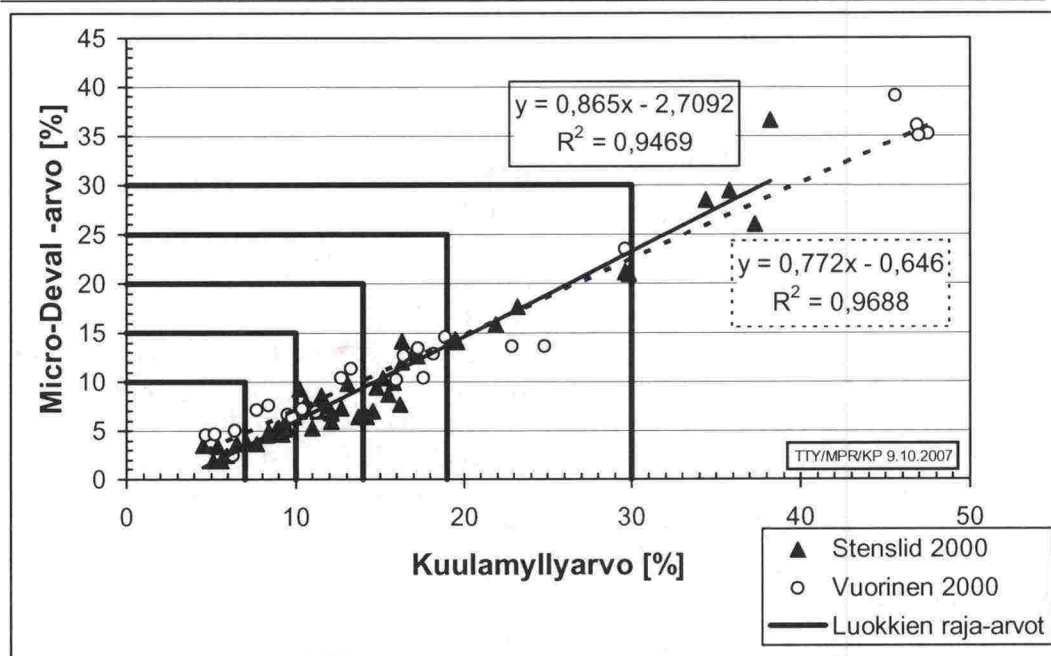
## 6.4 Kestävyys

Jäädytys-sulatus -kokeissa ei sorastusmurskeissa tapahtunut tutkitussa 11,2-16 mm lajitteessa hienonemista vaikka koe tehtiin 2,5 -kertaisella rasitusyhtymäärällä testistandardiin verrattuna.

Kiviaineksen kulumis/hienonemiskestävyyttä tutkittiin tässä tutkimuksessa kuulamylykokeen SFS-EN 1097-9 avulla. Testi on kehitetty alkuperin pohjoismaissa päällystekiviaineksen nastarengaskulutuskestävyyden tutkimiseen. Pohjoismaiseen kuulamylykokeeseen perustuva, päällysteessä käytettävän kiviaineksen lujuusluokitus on esitetty tuotestandardissa SFS-EN 13043 ja se on ollut käytössä esimerkiksi Asfalttinormeissa jo useamman vuoden. Sorateiden kulutuskerrosta ei voitane kuitenkaan pitää sidottuna kerroksena, jolloin siinä käytetyn kiviaineksen ominaisuudet ja ominaisuuksien luokat tulisi perustua sitomattomiin kerroksiin käytettävien kiviainesten tuotestandardissa SFS-EN 13242 esitettyihin ominaisuuksiin ja luokkiin.

Kyseisessä standardissa kiviaineksen lujuutta tutkitaan Los Angeles-kokeella, iskukokeella ja micro-Deval -kokeella. Näistä kaksi ensimmäistä on enemmän kiviaineksen iskunkestävyyttä testaavia menetelmiä ja soveltunevat näin ollen ehkä paremmin kiviaineksen tiivistyksenaikaisen hienonemisen arviointiin. Jälkimmäinen micro-Deval -koe on luonteeltaan kuulamylykokeen kaltainen ja soveltunee siksi ehkä Los Angeles- ja iskukoetta paremmin soratien kulutuskerroskiviaineksen tutkimiseen. Soratien kulutuskerroksessa kiviaines joutuu liikenteen ja kunnossapitotoimenpiteiden johdosta ehkä enemmän hiertävän kuin iskevän rasituksen alaiseksi.

Eurooppalaisia testistandardeja kehitettäessä tutkittiin Ruotsissa (*Stenslid*) ja Suomessa (*Vuorinen*) kuulamylykokeen ja micro-Deval -kokeen välistä yhteyttä. Niiden huomattiin korreloivan melko hyvin keskenään kuten kuvan 12 tuloksista voidaan todeta. Kuulamylykokeesta saadaan kuitenkin suurempi absoluuttinen tulos kuin micro-Deval -kokeesta. Kuvaan on piirretty myös tuotestandardeissa SFS-EN 13043 ja 13242 kiviaineksille laaditut luokkarajat kullekin testimenetelmälle. Näihin testeihin pohjautuvan, sorastusmurskeen hienonemiskestävyydelle mahdollisesti asetettavan vaatimustason olisi hyvä perustua johonkin edellä mainituissa tuotestandardeissa esitettyyn luokkarajavuon.



Kuva 12. Kuulamyly- ja micro-Deval -arvon välinen vastaavuus.

Tämän tutkimuksen kolmestatoista sorastusmurskeesta vain kahden kuulamylyarvo oli  $< 19$ . Se on alin päällysteisiin käytettäväksi tarkoitettun kiviaineksen lujuusluokka, joka esimerkiksi Asfalttinormeihin on otettu mukaan päällystekiviainesten tuotestandardista SFS-EN 13043. Tuo kyseinen kuulamylyarvon luokkaraja 19 vastaisi Micro-Deval -arvona likimain 15. Tarkasti ottaen micro-Deval -arvo 15 vastaa yllä olevan korrelaatiokuvan perusteella kuulamylyarvoa 20.3-20,5 riippuen kummalla kaavalla laskee. Jos kuulamylykokeessa raja-arvoksi asettaisi 20 niin 7/13:sta pintakelirikkotutkimuksen kivistä ei kelpaisi sorastusmurskeeksi; raja-arvolla 22 vain 3/13:sta ei täytä vaatimusta.

Jos pintakelirikkoalttiiden teiden sorastusmurskeen kulumis-/hienonemiskestävyydelle halutaan siis asettaa jokin testimenetelmällä saatu raja-arvo niin se voisi olla micro-Deval -kokeella saatu arvo 15. Raja-arvo pohjautuisi tällöin tuotestandeissa olevan luokan raja-arvoon. Jos tutkimusmenetelmänä halutaan kuitenkin käyttää kuulamylykoetta niin raja-arvo tulisi olla 20 tai 21. Raja-arvoa ei tällöin voida kuitenkaan sitoa minkään tuotestandardin luokkaraja-arvoon.

Ruotsin tielaitoksen vuoden 2005 ohjeissa (ATB Väg 2005) micro-Deval raja-arvo on niinkin korkea kuin 35. Ohjeissa kuitenkin neuvotaan välttämään micro-Deval arvoltaan  $> 30$  olevien kiviainesten käyttöä niiden hienonemiseriskin vuoksi. Ohjeissa on toisaalta irtosoraistumisriskin (ruots. rullgrus) vuoksi rajattu myös micro-Deval -arvon alarajaksi 14. Tämän tutkimuksen perusteella edellä mainitut ruotsalaiset micro-Deval raja-arvot tuntuvat hieman liian korkeilta.





---

## LÄHDEKIRJALLISUUS

Kivimieskalenterit vuosilta 1994, 1995, 1996, 2000, 2002, 2005 ja 2006.  
Suomen Maarakentajien Keskusliitto r.y (SML). Helsinki.

Saarenketo, T. Tube Suction test. Sitomattomilla murskeilla suoritettujen  
rengastestien tulokset. Tielaitoksen selvityksiä 20/2000.

Saarenketo, T, Kolisoja, P., Vuorimies, N., Yliheikkilä, T., Ylitapio, S. Kantavan  
kerroksen murskeen imupaine- ja muodonmuutosominaisuudet. Osa I & II.  
Tampereen teknillinen korkeakoulu. Geotekniikan laboratorio. Julkaisu 51.  
Tampere 2000.

Stenslid, L. Utvärdering av micro-Deval metoden. Slutrapport SBUF projekt  
5002. Skanska Sverige Ab. Vägteknisk Centrum Nord, Balsta. Februari 2000.

Vuorinen, J. Kuulamyly- ja micro-Deval -kokeiden vastaavuus. Tielaitoksen  
selvityksiä 30/1999. Tiehallinto. Helsinki 2000.

ATB Väg 2005. Kapitel E. Obundna material. VV Publikation 2005:112

ISSN 1457-9871  
ISBN 978-952-221-047-0  
TIEH 3201092