



Andrew Dawson, Pauli Kolisoja

URAUTUMISONGELMIEN RATKAISEMINEN VÄHÄLIIKENTEISILLÄ TEILLÄ

Tiivistelmä

Urautumisongelmien ratkaiseminen vähäliikenteisillä teillä

TIIVISTELMÄ

Heinäkuu 2006

Andrew Dawson
Nottingham Centre for Pavement Engineering

Pauli Kolisoja
Tampereen teknillinen yliopisto

ESIPUHE

Tämä raportti on yhteenveto vuoden 2005 ROADDEX II –raportista “Permanent Deformation”. Sen tavoitteena on toimia työohjeena, jossa kuvataan miksi vähäliikenteisten teiden päällysrakenteissa tapahtuu urautumista. Näin ollen tarkoituksena on antaa teiden omistajille ja käyttäjille ohjeita siitä, miten vasta rakennettujen tai kunnostettujen teiden urautumisongelmia voidaan ratkaista suunnittelun avulla, ja kuinka nykyisten päällysteiden mahdollisia tulevia urautumisongelmia voidaan arvioida.

Tarkoituksena ei kuitenkaan ole korvata monia aiheeseen liittyviä oppikirjoja tai ohjeita ja suosituksia, vaan tekijöiden toiveena on, että yhteenvedot saavat lukijan ymmärtämään paremmin ongelman pääkohdat ja niiden ratkaisut sekä erityisesti ongelman tärkeyden, joka on usein heikosti ymmärretty.

Raportin ovat kirjoittaneet Andrew Dawson Nottinghamin yliopiston tietekniikan laitokselta (Nottingham Centre for Pavement Engineering) ja Pauli Kolisoja Tampereen teknillisestä yliopistosta. Ron Munro valvoi työtä yleisesti ROADDEX III –hankkeen projektipäällikkönä. Mika Pyhähuhta Laboratorio Uleåborgista on suunnitellut raportin ulkoasun.

Tekijät haluavat kiittää ROADDEX III –hankkeen johtoryhmää kannustuksesta ja opastuksesta tässä työssä.

Tekijänoikeudet © 2006 Roadex III -hanke

Kaikki oikeudet pidätetään.

Roadex III -pääyhteistyökumppani: Ruotsin tiehallinto, Region Norr, Box 809, S-971 25 Luleå. Projektinjohtaja: Krister Palo.

SISÄLLYSLUETTELO

ESIPUHE.....	3
KAPPALE 1. JOHDANTO.....	6
1.1 ROADEX -PROJEKTI	6
1.2 URAUTUMINEN VÄHÄLIIKENTEISILLÄ TEILLÄ	7
KAPPALE 2. URAUTUMINEN	8
2.1 YLEISTÄ	8
2.2 URAUTUMISTYYPPI 0	9
2.3 URAUTUMISTYYPPI 1	10
2.4 URAUTUMISTYYPPI 2	12
2.5 URAUTUMISTYYPPI 3	12
2.6 YHDISTETYT TYYPIT.....	13
3 SITOMATTOMAT PÄÄLLYSRAKENNEKERROKSET	14
4 ILMASTON VAIKUTUKSET	16
4.1 SADE.....	16
4.2 ROUTA.....	16
5 LABORATORIOKOKOET JA LASKENNALLISET TARKASTELUT	18
5.1 TUTKIMUSMENETELMÄT	18
5.2 MATERIAALIT.....	19
5.3 TESTIMENETELMÄT	19
5.4 TESTITULOKSET	19
Jäykkyysominaisuudet.....	20
Plastinen käyttäytyminen	20
5.5 PÄÄLLYSRAKENNEANALYYSI	21
5.6 PÄÄLLYSRAKENNEANALYYSIIN TULOKSET	22
Urautumishavaintoja kiviaineskerroksessa (tyyppi 1).....	22

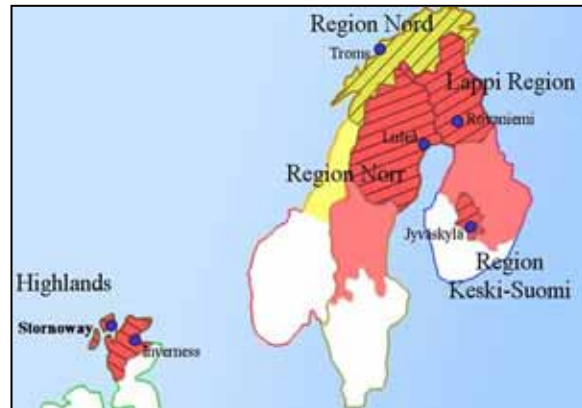
Urautumishavaintoja pohjamaasta (tyyppi 2).....	23
6 YKSINKERTAISTETTU SOVELTAMISMENETELMÄ	24
7 PÄÄLLYSRAKENTEEN PARANTAMINEN	25
8 PÄÄTELMÄT	25

Kappale 1. JOHDANTO

1.1 ROADEX -PROJEKTI

Roadex on pohjoiseurooppalaisten tie- ja kuljetusalan toimijoiden teknistä yhteistyötä hyödyntävä hanke, joka tähtää vähäliikenteisiin teihin liittyvän tutkimustiedon keräämiseen ja jakamiseen yhteistyötahojen välillä.

Hanke aloitettiin vuonna 1998 kolmen vuoden pilottiprojektina, jossa yhteistyötahoina oli tiepiirit Suomen Lapista, Tromssan alueelta Norjasta, Pohjois-Ruotsista sekä Highland Councilin alueelta Skotlannista. Hanketta jatkettiin myöhemmin toisella projektilla, ROADEX II:lla, vuosina 2002-2005.



Kuva 1: Pohjoisen Periferian alue ja Roadex II -yhteistyökumppanit

ROADEX II –projektin yhteistyökumppaneina olivat Pohjoisen Periferian alueiden tiehallinnot, metsätalousjärjestöt, metsäyhtiöt ja kuljetusorganisaatiot. Näitä olivat The Highland Council, The Western Isles Council (Highlandin ja The Western Islesin aluehallinto) ja Forest Enterprise (valtiojohtoinen, mm. metsäautoteistä vastaava laitos) Skotlannista, Norjan tiehallinnon pohjoinen tiepiiri ja Norjan tiekuljetusliitto, Ruotsin tiehallinnon pohjoinen tiepiiri sekä Suomen tiehallinnon Lapin ja Keski-Suomen tiepiirit. Edellisten lisäksi hankkeessa on Suomesta ollut mukana Metsähallitus, Lapin metsäkeskus, Metsäliitto sekä Stora-Enso.

Hankkeen päämääränä oli ideoida ja kehittää uusia työkaluja interaktiiviselle ja innovatiiviselle vähäliikenteisten teiden ylläpidolle, jotka kuitenkin ottavat samalla huomioon paikallisen teollisuuden, yhteiskunnan ja tiejärjestöjen tarpeet. Hankkeen tuloksena syntyi kahdeksan virallista raporttia ja DVD. Kopiot kaikista raporteista on ladattavissa ROADEX:in Internet-sivuilta osoitteessa www.roadex.org.

Tämä yhteenvetoraportti on yksi kahdeksasta lyhennelmästä, jotka on laadittu ROADEX III –projektin puitteissa. ROADEX III (2006-2007) on uusi projekti, johon aiemmin mainittujen tahojen lisäksi uusiksi Pohjoisen Periferian yhteistyökumppaneiksi ovat liittyneet Sisimiutin kunta Grönlannista, Islannin tiehallinto ja Suomen tiehallinnon Savo-Karjalan tiepiiri.

1.2 URAUTUMINEN VÄHÄLIIKENTEISILLÄ TEILLÄ

Sorapääallysteiset tai ohuella bitumisella kerroksella päällystetyt tiet ovat hyvin yleisiä tutkimuksen kohteina olleilla Pohjoisen Periferian alueilla. Tyypillisesti tällaiset tierakenteet koostuvat yhdestä, tai useammasta, pohjamaan päälle levitetystä kiviaineskerroksesta (kuva 1.1). Tien pintamateriaalina on joko soraa tai ohut bitumikerros, jonka pinnalle on levitetty tasakokoisia kiviä. Molemmissa tapauksissa päällysrakenteen toimivuus perustuu lähinnä kiviaineskerrosten kantavuuteen.



Kuva 1.1 Poikkileikkaus ohuella bitumisella kerroksella päällystetystä tierakenteesta. (Kerrosten rajat korostettu ruiskumaalilla) (kuva: S. Erlingsson)

Tiivistetty kiviaines on joustavaa materiaalia. Jos kiviainesmateriaali on liian heikkoa, se on altis plastisille muodonmuutoksille, joita tapahtuu hieman jokaisen pyöräkuorman alla. Vähitellen muodonmuutokset kasaantuvat, mikä ilmenee tien pinnan urautumisena. Tätä tapahtuu jokaisessa kerroksessa. Mitä suurempaa liikenteen kuormitus on, sitä enemmän urautumista tapahtuu.

Raportin tarkoituksena on selvittää, miksi urautumista tapahtuu, mitkä tekijät siihen vaikuttavat, ja kuinka teiden omistajat ja käyttäjät voivat lieventää urautumisongelmia.

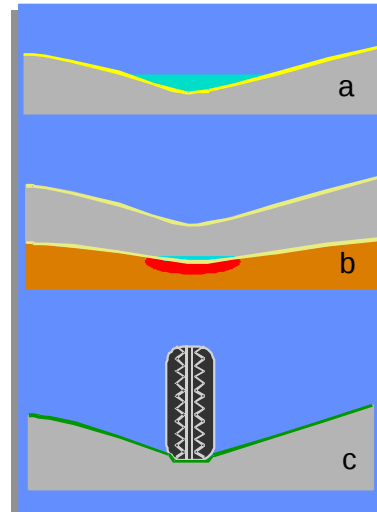
Kappale 2. Urautuminen

2.1 YLEISTÄ

Tien pinnan urautuminen on erittäin haitallista useasta syystä (ks. kuva 2.1). Tienkäyttäjille urautumisen ongelmat näkyvät polttoaineen kulutuksen kasvuna ja liukkauteena (veden tai jään päällä) – esim. kuvan 2.2 olosuhteissa. Ongelmia aiheutuu myös tien omistajalle, sillä urat estävät vettä valumasta pois tien pinnalta ja helpottavat sen imeytymistä päällysrakenteen sisään, minkä seurauksena tierakenne vaurioituu nopeasti. Tällä tavoin tierakenteeseen päässyt vesi saattaa kerääntyä pinnan alla olevaan uraan pohjamaassa (ks. kuva 2.1) ja/tai pienentää sitomattomien kerrosten kantavuutta. Viimeisimpänä mainittua ongelmaa käsitellään tarkemmin tässä raportissa.

Haitallinen urautuminen tien rakenne- ja/tai pohjamaakerroksissa saattaa johtaa myös ylempien asfalttikerrosten vaurioitumiseen (kuva 2.3). Epäsuorempi vaikutus on se, että urautuminen ei ole tasaista koko tien pituudelta, jolloin epätasaisuudet aiheuttavat ajomukavuuden alenemista.

Renkaiden sivuun kohdistuu enemmän kitkaa, jolloin polttoaineen kulutus ja renkaiden kulumisen kasvaa.



Kuva 2.1. Syitä urautumisen haitallisuudelle:

(a=veden kertyminen uraan, mikä vaikuttaa liikennöintiin;
b=veden imeytyminen alempiin rakennekerroksiin heikentäen niitä;
c=renkaiden kulumisen lisääntyminen)



Kuva 2.2. Vettä kertyy ohuen asfalttipäällysteen ajouraan.



Kuva 2.3. Alempien kerrosten urautuminen johtaa asfalttipäällysteen vaurioitumiseen.

Urautuminen voi johtua monesta eri syystä. Periaatteessa vaikutusmekanismit voidaan jaotella neljään eri tyyppiin, joita tässä raportissa kutsutaan urautumistyypeiksi 0, 1, 2 ja 3. Käytännössä urautuminen johtuu usein usean mekanismin samanaikaisista vaikutuksista. Seuraavaksi käsitellään jokaista tyyppiä erikseen.

2.2 URAUTUMISTYYPPI 0

Kyllästymättömien materiaalien tiivistyminen tierakenteessa voi aiheuttaa urautumista (kuva 2.4). Yleensä ennen tien käyttöönottoa tehtyä tiivistystä pidetään riittävänä varokeinona estämään jälkeensä tapahtuva lisätiivistyminen. Lisäksi tiivistyminen itsessään vakauttaa olosuhteita – eli liikenteen aiheuttama tiivistyminen ehkäisee lisätiivistymistä (kuva 2.5). Se myös lisää materiaalin jäykkyyttä, jolloin kuormitus leviää laajemmalle. Paremman kuormituksen jakautumisen ansiosta pohjamaahan kohdistuu vähemmän rasitusta, ja siten urautumisen todennäköisyys ja määrä pienenee.

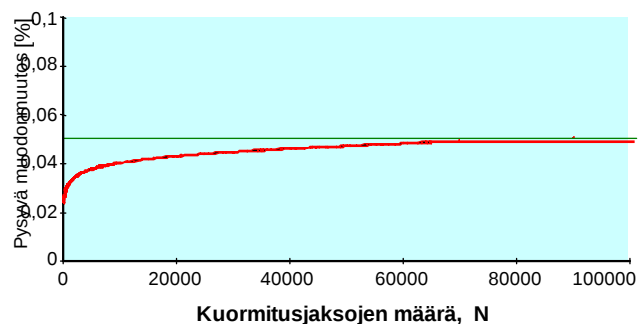
Tämän tyyppin urautuminen ilmenee pienenä painumana alkuperäiseen pintaan nähden (kuva 2.4).

Vaikutukset kohdistuvat tällöin pääasiassa lähinnä pintaa oleviin materiaaleihin. Pienimuotoinen tyyppin 0 urautuminen onkin hyödyllistä. Tehokas tiivistäminen vähentää havaittavan urautumisen määrää.

Joka talvi routaantuvilla alueilla jäätyminen yhdessä kosteuden kanssa aiheuttaa routanousuja. Uusimmat tutkimukset ovat osoittaneet, että vaikka routanousut ovat yleensä pohjamaan ongelma, niitä voi muodostua myös rakennekerrokseen, etenkin jos niihin on päässyt imeytymään runsaasti vettä. Routanousut aiheuttavat rakennekerrosten tiiviyden heikkenemistä. Kun jäätynyt kiviaines ja pohjamaa keväällä sulavat, tiivistyminen on taas mahdollista ja tyyppin 0 urautumista voi



Kuva 2.4. Urautumistyyppi 0 –vain rakennekerrosten tiivistyminen



Kuva 2.5. Pysyvän muodonmuutoksen kehittyminen murskatulla granodioriitilla

esiintyä. Pohjamaan luonnolliset vaihtelut aiheuttavat rakennekerrokseen epätasaisia routanousuja, jolloin seurauksena on epätasaista urautumista.

Tähän kelirikkoilmiöön saattaa liittyä myös leikkausmuodonmuutoksia (joita käsitellään alla tyyppinä 1), sillä löyhtynyt kiviaines on paljon heikompaa kuin tiivistetty. Usean kelirikkovuoden jälkeen tämä voi johtaa kohtuuttoman suurten urien syntymiseen.

2.3 URAUTUMISTYYPPI 1

Heikommilla sitomattomilla materiaaleilla voi renkaan lähellä tapahtua paikallista leikkautumista. Tästä voi aiheutua tien pinnan kohoamista ajouran välittömään läheisyyteen (kuva 2.6). Tämän tyyppinen urautuminen on seurausta lähinnä tien pinnan lähellä olevan kiviaineksen riittämättömästä leikkauslujuudesta. Sekä koerakenteista saadut tulokset että teoreettiset laskelmat ovat osoittaneet, että suurimmat leikkausmuodonmuutokset syntyvät syvyydessä, joka on noin 1/3 renkaan leveydestä (tai rengasparin leveydestä, jos käytössä on paripyörät) – eli $\varnothing 15\text{--}20\text{ cm}$. Jos liikenne ei keskity ajouriin (leveäkaistaisilla teillä, tiemerkitöjen puuttuessa, urautumattomilla teillä), syvyys voi olla hieman suurempi. Paksummalla asfalttikerroksella päällystetyillä teillä kriittinen syvyys on todennäköisesti jonkin verran syvemmällä pinnasta kuin kolmasosa rengasleveydestä, sillä asfaltin vaikutuksesta rasitus jakaantuu päällysrakenteessa eri tavalla.

Kuvat 2.7 ja 2.8 ovat skotlantilaiselta tieltä, jolla esiintyy tämän tyyppin urautumisvaurioita. Huomaa kuvissa näkyvä tyypillinen pientareen kohoaminen. Rakenteen sisältä vaurio saattaa



Kuva 2.6. Urautumistyyppin 1 leikkausmuodonmuutos pinnan lähellä olevissa rakennekerroksissa.



Kuva 2.7. Skotlantilainen metsätie, jossa esiintyy tyyppin 1 urautumista. (kuva: W. Tyrrell)



Kuva 2.8. Lähikuva urasta skotlantilaisella metsätiellä. (kuva: W. Tyrrell)

näyttää kuvan 2.9 kaltaiselta. Siinä pientareen nousun aiheuttava paikallinen leikkautuminen on selkeästi nähtävissä. Pohjamaan muodonmuutoksia ei kuvassa ole havaittavissa (keltaisilla viivoilla on kuvassa korostettu rakennekerrosten rajoja).

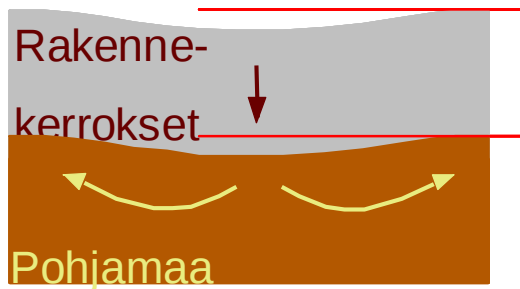
Ideaalisessa tapauksessa tämän tyypin urautumiseen ei liity pohjamaan pinnan muodonmuutoksia. Urautumistyyppiä esiintyy usein pohjoisilla alueilla kausittaisen routaantumisen takia. Näillä alueilla urautumistyyppi 1 onkin monesti tärkein urautumista aiheuttava vaikutusmekanismi, kun huonolaatuisen kiviaineksen kantavuus heikkenee kevään sulamisaikaan vesipitoisuuden kasvaessa liian suureksi. Muina vuodenaikoina tämä sama materiaali voi uudelleen tiivistyneenä (ks. tyyppi 0) ja kuivuneena toimia täysin moitteettomasti.



Kuva 2.9. Poikkileikkaus kuvien 2.7 ja 2.8 tiestä. (Kerrosten rajoja korostettu ruiskumaalilla) (kuva: W. Tyrrell)

Ainoa parannuskeino tämäntyyppiseen urautumiseen on kiviaineksen laadun parantaminen tai pyöräkuormista aiheutuvien rasitusten pienentäminen. Pohjamaan käsittelyllä ei ole tähän urautumistyyppiin minkäänlaista vaikutusta. Sitomattoman materiaalin laatua voidaan parantaa tiivistyksellä (tiettyyn rajaan asti), stabiloinnilla, geosynteettisillä vahvisteilla tai parantamalla sen toimintaan vaikuttavia olosuhteita – esim. kuivatusta. Tämän tiivistelmän lähderaportissa asiaa on käsitelty yksityiskohtaisemmin [ks. Dawson & Kolisoja, 2005]. Jos mikään näistä toimenpiteistä ei tehoa, saatetaan kiviaines joutua vaihtamaan. Vaihtoehtoisesti myös rengaspaineita voidaan pienentää.

2.4 URAUTUMISTYYPPI 2



Kuva 2.10. Urautumistyyppi 2 – Rakennekerrokset mukailevat pohjamaan leikkausmuodonmuutosta.



Kuva 2.11. Poikkileikkaus pitkälle edenneestä tyyppin 2 urautumisvauriosta hyvin heikolla pohjamaalla. (kuva: W. Tyrrell)

Jos kiviaines on hyvälaatuista, koko tierakenne saattaa urautua. Kuvassa 2.10 on yksinkertaistettu hahmotelma pohjamaan muodonmuutoksesta, jota rakennekerrokset mukailevat täysin (so. saman paksuisena kaikissa kohdissa). Tien pinnalle muodostuu leveä ura, ja etäällä ajourasta pinta nousee hieman (koska sen aiheuttaa pohjamaa-ainesten siirtyminen paikoiltaan). Tämän tyyppin vaurioista on ääriesimerkki kuvassa 2.11, jossa pinnan uraa on täytetty jatkuvasti uudella kiviaineksella, mutta pohjamaan urautuminen on jatkunut. Pohjamaa on puristunut ylöspäin ajourien väliin ja tien reunoihin – kuvassa 2.11 on esimerkki hyvin pitkälle edenneestä pohjamaan leikkausmuodonmuutoksesta, jota on havainnollistettu nuolilla kuvassa 2.10.

Sellaisilla alueilla, joilla kausittainen routaantuminen on voimakasta, aiemmin mainittu kelirikko-ongelma voi johtaa pohjamaan urautumiseen tyyppin 2 mukaisesti. Tällaisissa tapauksissa voimakasta tyyppin 2 urautumista ilmenee ainoastaan keväisin, kun pohjamaat ovat muutaman viikon ajan pehmenneitä roudan sulamisesta aiheutuvan liian korkean kosteuspitoisuuden takia.

Ratkaisu tämän urautumistyyppin ongelmiin on rakennekerrosten vahvistaminen tai paksuntaminen, jotta pyöräkuormat jakaantuisivat tehokkaammin. Tällöin pohjamaahan kohdistuva rasitus vähenee. Toinen ratkaisuvaihtoehto on pienentää korkeita akselipainoja (ei rengaspaineita), sillä niistä aiheutuvat suurimmat rasitukset syvemmälle tierakenteeseen.

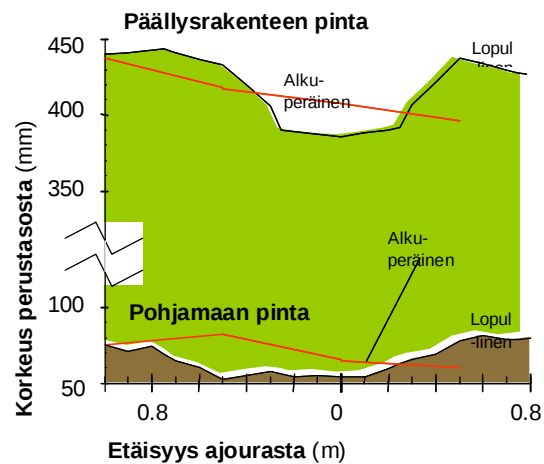
2.5 URAUTUMISTYYPPI 3

Kiviainesrakeiden rikkoutuminen (esim. kuluminen tai hankautuminen, mm. nastarenkaiden vaikutuksesta) saattaa aiheuttaa samanlaista pinnan urautumista kuin tyyppi 0 (kuva 2.4), mutta vaikutusmekanismi on luonnollisesti hyvin erilainen.

Jos ylimääräistä hienoainesta syntyy, se saattaa tukkia kiviaineksen huokokset, jolloin kiviaineksesta tulee kosteustilaherkempää.

2.6 YHDISTETTY TYYPIT

Käytännössä urautuminen tapahtuu eri vaikutusmekanismien yhdistelmänä. Skotlannissa suoritetuista tutkimuksissa havaittiin (koeteiden poikkileikkauksista), että tierakenteissa ilmenee sekä sitomattomien kerrosten ohentumista (tyyppi 1) että pohjamaan painumista (tyyppi 2) – ks. kuva 2.12. Kuvasta nähdään selvästi ajouran viereisen alueen kohoaminen (tai 'olkapää') ja pohjamaan muodonmuutosten vähäisyys verrattuna tienpinnan painumiseen.



Kuva 2.12. Rakenteen aukikaivussa havaittu urautuminen

Tyyppin 1 urautumisen otaksutaan, ja sen on myös havaittu, olevan ilmeinen seuraus kanavoidusta liikenteestä (esim. monilla metsäteillä), jossa renkaat kulkevat aina samoja ajouria, eivätkä siten voi siirtää syrjäytynyttä kiviainesta takaisin paikalleen ja tiivistää sitä (tyyppi 0). Sen sijaan vapaammin sivusuunnassa liikkuvasta liikenteestä seuraa selvemmin tyyppin 2 urautumista, johon liittyy usein tyyppin 0 vaikutuksia, sillä ajourien ulkopuolelle kohdistuvan pyöräkuormituksen muokkaava vaikutus aiheuttaa tehokkaampaa tiivistymistä.

3 Sitomattomat päällysrakennekerrokset

Tässä raportissa käsitellyt päällysrakenteen rakennekerrokset koostuvat lähes poikkeuksetta tiivistetystä, rakeisesta materiaalista, jota saadaan joko alluviaalisista tai jäätikkösyntyisistä hiekka- ja soraesiintymistä tai kivilouhoksista (kuvat 3.1-3.4) täysin tai osittain murskaamalla. Molemmissa tapauksissa pitkät välimatkat vakinaisiin kaupallisiin kiviainesten tuotantolaitoksiin aiheuttavat paineita paikallisten kiviaineslähteiden käyttämiseen kustannusten vähentämiseksi. Tällaisissa olosuhteissa käytettävä materiaali ei kuitenkaan usein ole kovin ihanteellista.



Kuva 3.1. Jäätikkösyntyistä soraä kaivetaan harjuesiintymästä Ruotsissa.



Kuva 3.2. Metamorfisen murskekiviaineäsen louhos (grauvakkaliusketta) Skotlannin Baluntonissa. (kuva: W. Tyrrell).



Kuva 3.3. Osittain murskattua alluviaalista soraä.

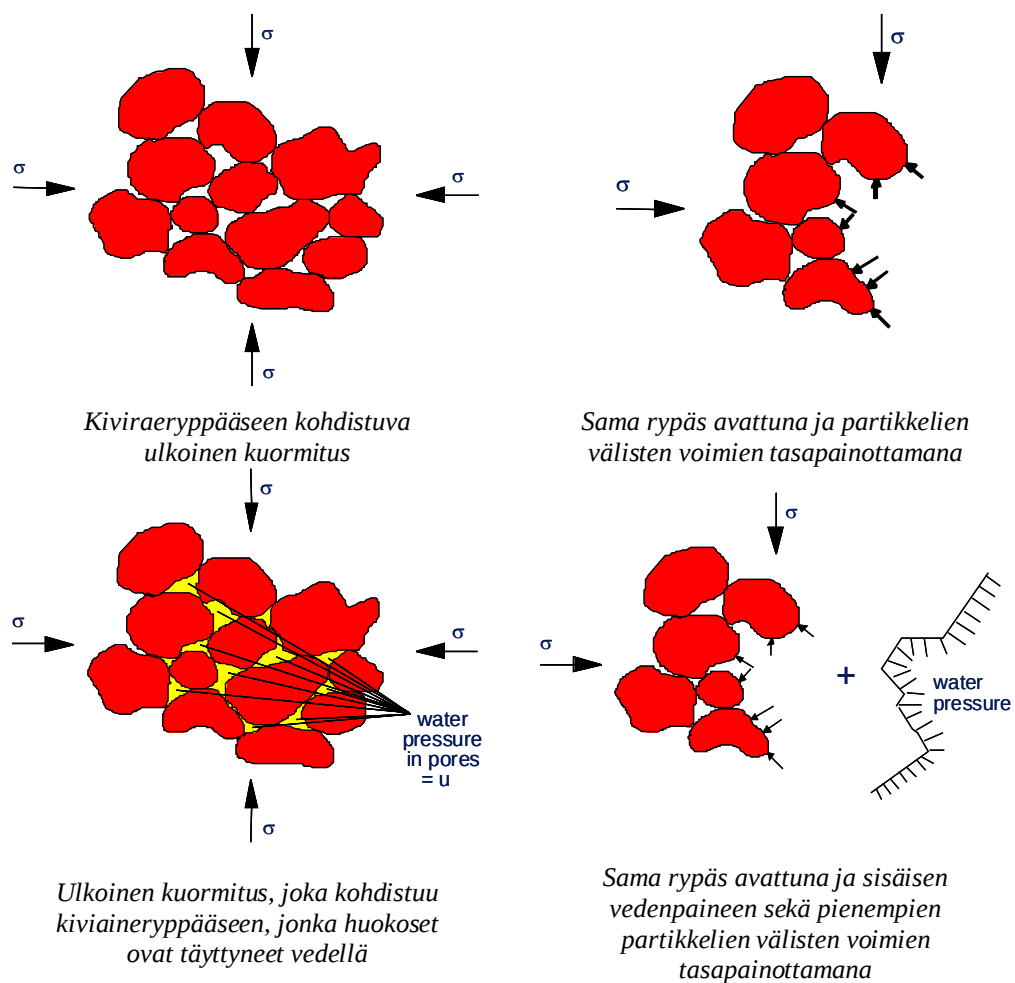


Kuva 3.4. Osittain murskattua alluviaalista soraä päällystämättömällä tiellä.

Koska kiviaines on geoteknistä materiaalia, sillä on samanlaisia heikkouksia kuin muillakin maa-aineäksillä – erityisesti kiviainesrakeiden väliäin huokostiloihin kertyvä ylimääräinen vesi heikentää materiaalia. Liikenteen kuormitukset aiheuttavat kiviainesrakeiden väliäin huokosveteen ylipainetta, joka vastustaa kiviä yhteen

puristavia voimia (kuva 3.5). Siten kivirakeiden kosketusjännitykset eivät ole niin suuria kuin voisivat olla. Tämä vuorostaan tarkoittaa sitä, että kiviainepartikkeleiden välinen kitka on haluttua pienempi, jolloin kitkavoima ja muodonmuutosten vastustuskyky pienenevät liian alhaiselle tasolle. Käytännössä huokosiin päässyt vesi voi tehdä hyvälaatuisesta sitomattomasta materiaalista huonolaatuista.

Lisäongelmia aiheutuu kiviaineksen raekoosta. Jos kivet ovat suuria, myös niiden väliset huokokset ovat yleensä reilun kokoisia. Materiaalin kuivatus toimii hyvin, ja siten se vastustaa urautumista melko hyvin jopa suhteellisen kosteissa olosuhteissa. Toisaalta hienorakeisille kiviaineksille on ominaista kosteuden sitominen (ja jopa veden imeminen huokosiin kapillaarivoimien vaikutuksesta), minkä takia ne toimivat huonosti kostealla säällä, ja erityisesti kausittaista routimista seuraavan sulamiskauden aikana.



Kuva 3.5. Kuvasarja, josta nähdään kuinka tärkeä alhainen huokosvedenpaine on partikkelien välisten voimien ja siten hyvien kitkaominaisuuksien kannalta.

4 Ilmaston vaikutukset

Pohjoisen Periferian alueella ilmasto vaikuttaa merkittävästi lähes kaikkiin rakentamisen osa-alueisiin. Teiden päällysrakenteet eivät muodosta poikkeusta. Ongelmia aiheuttaa kaksi päätekijää:

4.1 SADE

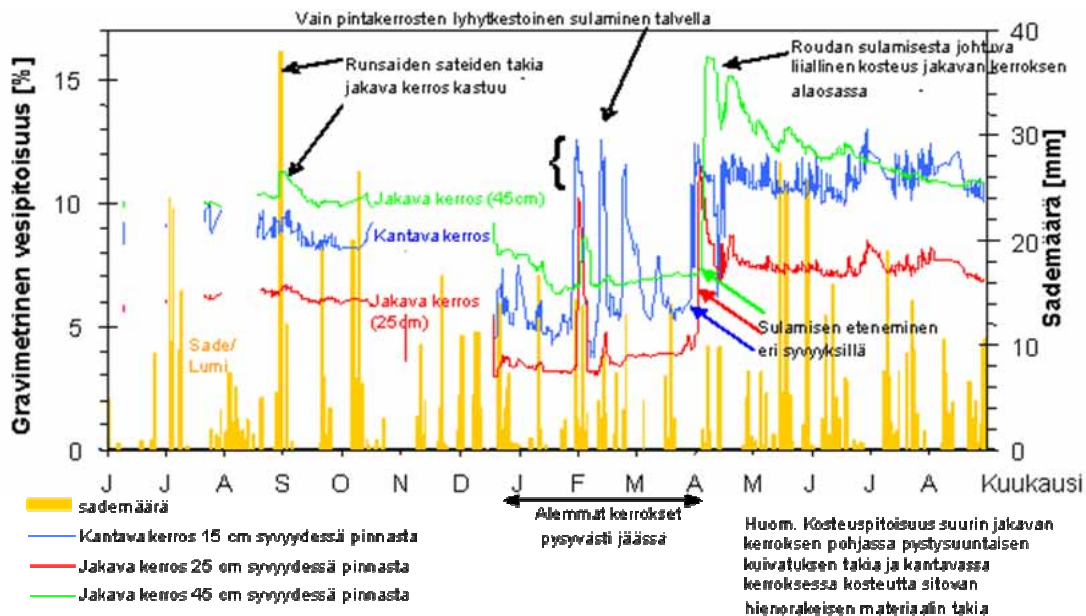
Sadevedellä on pyrkimys tunkeutua tien päällysrakenteeseen. Hienorakeisempien kiviainesten kohdalla kapillaari-imuvoimat edesauttavat veden imeytymistä rakenteeseen. Imeytyminen on vähäisempää, jos tienpinta on päällystetty bitumilla sidotulla kerroksella, mutta päällysteisiin syntyy helposti halkeamia, joista vesi pääsee rakenteen sisään. Ongelmalta ei voida täysin välttyä, mutta karkearakeisen kiviaineksen käyttö, hyvä sivukaltevuus (>4 %) ja pinnan päällystäminen asfaltilla (tai tiivistetyllä hienorakeisella aineksella osittaisen suojan muodostamiseksi) vähentävät sadeveden imeytymisen määrää. Kuivatuksen toimiminen on myös tärkeää. Useimpiin päällysrakenteisiin on rakennettu jonkinlainen kuivatusjärjestelmä, yleensä sivuoja. Rajallisista budjeteista johtuen kunnossapitotoimenpiteet saattavat kuitenkin jäädä tekemättä, jolloin ajan myötä kuivatus lakkaa toimimasta suunnitellulla tavalla. Laiminlyöntien taustalla on myös melko varmasti ”poissa silmistä, poissa mielestä” –suhtautumista. Kuivatusongelmista on kirjoitettu oma Roadex II –raportti [Berntsen et al, 2005], jossa käsitellään aihetta yksityiskohtaisemmin. Lisäksi aiheesta on myös tämän raportin kanssa samaan tiivistelmien sarjaan kuuluva kuivatusraportti [Aho & Saarenketo, 2006].

4.2 ROUTA

Kylmällä säällä päällysrakenteen sisällä oleva vesi jäätyy. Kun routaraja liikkuu alemmaksi päällysrakenteessa pitkien, kylmien jaksojen vaikutuksesta, rakenteeseen syntyy imupainetta, joka imee vettä lähemmäksi routarajaa. Tällä tavoin vettä kertyy rakenteeseen jään muodossa. Sulamisen alkaessa keväällä tämä vesi jää loukkuun kiviaineksen huokostiloihin eikä pysty poistumaan niin kauan, kun tierakenteen kuivatusjärjestelmä on vielä jäässä. Tämäkin ongelma voidaan ratkaista karkearakeisemmalla kiviaineksella, johon imupainetta ei niin helposti synny. Erityisesti sitomattomien rakennekerrosten pohjalle sijoitettu karkea kiviaineskerros voi toimia kapillaarikatkona, joka katkaisee veden kulun ylemmissä sitomattomissa kerroksissa sijaitsevaan routarajaan.

Molemmissa tapauksissa ongelmien takana on ylimääräinen vesi, joka pienentää kitkavoimaa (kuva 3.5) ja tekee urautumisesta nopeampaa ja vakavampaa.

Kuvassa 4.1 on esitetty lämpötila, sademäärä ja päällysrakenteessa olevan kosteuden määrä eräässä tierakenteessa. Jäätymisen ja sulamista seuraavan korkean kosteuspitoisuuden vaikutukset ovat ilmeisiä. Myös runsaiden sateiden vaikutukset näkyvät päällysrakenteen kosteuspitoisuuden tilapäisinä nousuina. Pohjamaan korkeamman hienoainespitoisuuden voidaan myös huomata aiheuttavan kaiken kaikkiaan korkeampaa kosteuspitoisuutta sekä hitaampaa kuivumista kosteuspitoisuushuipun saavuttamisen jälkeen.



Kuva 4.1. Tietoja erään päällysrakenteen ympäristöolosuhteista 14 kuukauden ajalta. Kuvaajasta näkyy TDR-antureiden osoittama vapaa gravimetrinen kosteuspitoisuus kolmessa syvyydessä yhdistettynä sademäärätietoihin. [COURAGE, 1999]

Kuvan 4.1 perusteella näyttäisi myös, että päällysrakenteessa olisi talvella jonkin verran vapaata vettä, jopa 5 %. Tämä lukema ei mitä todennäköisimmin kuitenkaan pidä paikkansa, ja se on seurausta mittauslaitteiston ja käytettyjen tulkintamenetelmien puutteista. Todellisuudessa jäätymätöntä huokosvettä on maaperässä todennäköisesti vähemmän kuin 0,5 tilavuusprosenttia.

5 Laboratoriokokeet ja laskennalliset tarkastelut

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa tietoa teiden omistajille ja ylläpitäjille, jotta he osaisivat arvioida, mitkä kunnossapitomenetelmät ja materiaalit huonontavat päällysrakenteiden toimivuutta, ja mitkä parantavat sitä. Tutkimuksessa on pyritty kehittämään kohtuuttoman suurten pysyvien muodonmuutosten todennäköisyyden arviointiin soveltuvia menetelmiä, jotta teiden omistajilla olisi keinoja olemassa olevien päällysrakenteiden arviointiin, vahvistustoimenpiteiden suunnitteluun, vähäliikenteisten yleisten teiden ja yksityisten metsäteiden päällysrakenteiden mitoittamiseen, sekä painorajoitusten asettamiseen huonokuntoisille teille.

Tavoitteen saavuttamiseksi tutkimuksessa on pyritty hyödyntämään olemassa olevaa tietoa eri kiviaineksista ja monista aikaisemmista tutkimushankkeista sekä täydentämään tietoja tutkimalla kahta kiviainesta eri raekokoina ja vaihtelevissa kosteusolosuhteissa. Tulosten avulla tehtiin laskelmia päällysrakenteen rasiustilasta tyypillisen kuorma-autoliikenteen alla, minkä perusteella voitiin edelleen arvioida urautumisen todennäköisyyttä.

5.1 TUTKIMUSMENETELMÄT

Pääasialliset tutkimusmenetelmät olivat:

- kiviainesten testaaminen, jotta nähdään miten ne reagoivat toistuvaan kuormitukseen,
- näistä kiviaineksista rakennettujen päällysrakenteiden rasiustien laskeminen kokeista saatujen tulosten avulla,
- niiden alueiden tunnistaminen päällysrakenteesta, joihin rasiustien vaikutuksesta todennäköisesti aiheutuu plastisia (palautumattomia) muodonmuutoksia,
- rasiustien vaikutuksesta deformatiivien ja siten urautumiselle alttiiden päällysrakenneseosuksien laskeminen,
- yksinkertaisista arviointimenetelmistä saatujen tulosten yhdistäminen hankkeessa tehtyjen koekuormitusten tuloksiin. Tämä tehtiin, jotta voitaisiin määrittää tierakenteen tai pohjamaan materiaalin urautumistodennäköisyys ilman monimutkaisia laboratoriokokeita,
- yleisten päätelmien ja ohjeiden laatiminen tutkimusten perusteella, erityisesti suunnittelu- ja arviointimenetelmän kehittäminen.

Tässä tiivistelmäraportissa ei ole mahdollista esittää kaikkia tehtyjen tutkimusten yksityiskohtia. Lisäksi näiden tietojen esittäminen todennäköisesti hankaloittaisi tavoitteena ollutta selkeän yleiskuvan antamista. Tämän takia tässä raportissa ei esitellä juurikaan yksityiskohtia, vaan lukijoita kehoitetaan kääntymään tiivistelmän lähderaportin [Dawson & Kolisoja, 2005] puoleen, mikäli he haluavat lisätietoja tehdyistä tutkimuksista ja analysoinneista.

5.2 MATERIAALIT

Kahdesta kiviaineksesta tehtiin kokeita erityisesti tätä tutkimusta varten. Toinen materiaaleista oli laadultaan kohtalainen metamorfinen kiviaines Skotlannista ja toinen parempilaatuinen norjalainen soramurske. Lisäksi raportissa on hyödynnetty tietoja eri maissa käytetyistä useista muista kiviaineksista, mukaan lukien ne materiaalit, joita on käytetty päällysrakenteissa vallitsevien ympäristöolosuhteiden tutkimuksessa Percostation-mittausasemalla Pohjois-Suomessa. Yhdistettynä nämä aineistot kattavat suuren joukon geologisen alkuperän, raekoon, kiven laadun, muodon jne. suhteen erilaisia kiviaineksia. Suurin osa materiaaleista, joihin raportin johtopäätökset perustuvat on kalliomurskeita, mutta myös joitakin hiekka- ja soramateriaaleja on tutkittu. Kiviaineksia tutkittiin eri kosteuspitoisuuksissa ja raekokoina, ja lisäksi joitakin niistä testattiin myös jäädytyksen ja sulamisen jälkeen.

5.3 TESTIMENETELMÄT

Tutkimuksissa yleisimmin käytetty testimenetelmä oli syklinen kolmiaksaalikoe, jolla mitataan pysyvän muodonmuutoksen kehittymistä. Kolmiaksaalikokeet tehdään laboratoriolaitteistolla, joka pystyy simuloimaan toistuvan liikenteen, jopa tuhansien ajoneuvojen, vaikutuksia kiviainekseen. Simulaatioon kuluu aikaa vain muutama tunti. Kiviainekseen kohdistuva rasitustila ja sen kosteusolosuhteet voidaan pitää tierakennetta vastaavina. Testeissä käytettiin erilaisia kiviaineksia eri kosteusolosuhteissa, joitakin kokeita tehtiin jäätymis-sulamisprosessin jälkeen, ja erilaisilla kuormitustasoilla – jokaista kuormitusimpulssia toistettiin monta kertaa. Tutkimuksessa tehtiin myös monia muita testejä, kuten materiaalin lujuuden ja jäykkyyden (moduulin) mittauksia, seulontakokeita, tiivistyskokeita ja dielektrisyysmittauksia (Tube Suction –kokeiden yhteydessä).

5.4 TESTITULOKSET

Tehdyt kokeet osoittivat, että dielektrisyysarvosta voidaan päätellä epäsuorasti materiaalin mekaanista toimintakykyä. Tutkimuksen perusteella on ehdotettu, että materiaalit luokiteltaisiin dielektrisyysarvojen mukaan siten (Saarenketo et al. 1998), että laadultaan heikoimpien sitomattomien kiviainesten käyttöä

tierakennuksessa ei enää edes harkittaisi. Materiaalit, joiden dielektrisyysarvo on >9 ovat todennäköisesti alttiita pysyville muodonmuutoksille. Niiden käytöstä aiheutuu todennäköisesti haitallisia seurauksia alueilla, joilla esiintyy jäätymissulamissyklejä talvisin. Erittäin heikosta pysyvien muodonmuutosten vastustuskyvystä kertoo varmuudella dielektrisyysarvo, joka on >16 .

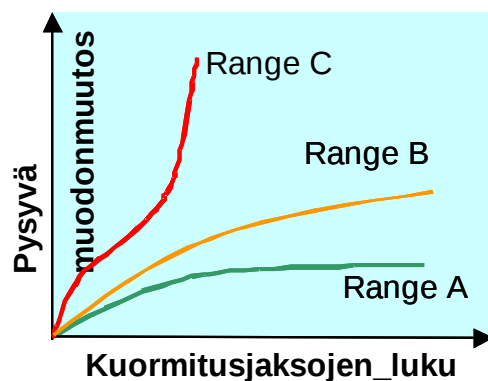
Jäykkyysominaisuudet

Kokeet osoittivat, että materiaalin mekaaninen toimintakyky muuttuu selvästi, kun hienoaineksen määrä ja kosteuspitoisuus kasvavat. Hienorakeisemman kiviaineen huomattiin myös saavuttavan paljon korkeampia vesipitoisuuksia, sillä partikkelien väliset pienemmät huokokset pystyvät pidättämään niissä enemmän vettä kuin mitä on mahdollista karkeammissa aineksissa.

Kun näytteeseen lisätään vettä, materiaalin jäykkyys pienenee. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että hienorakeisemmat kiviainekset ovat yleensä kosteampia, eivätkä niistä tehdyt päällysrakenteen kerrokset kykene jakamaan kuormitusta yhtä hyvin kuin karkearakeisemmat kerrokset. Tästä vuorostaan seuraa, että pohjamaahan kohdistuvat rasitukset kasvavat. Suurempi rasitus johtaa puolestaan pohjamaan urautumisen kasvuun (urautumistyyppi 2 kappaleessa 2).

Plastinen käyttäytyminen

Päällysrakenteen plastiset muodonmuutokset kasvavat vähitellen liikenteen aiheuttamien toistuvien kuormitusjaksojen seurauksena. Kuvasta 5.1 nähdään rakenteen vasteen päätyypit. Tyypin A mukainen käyttäytyminen on toivottavaa, sillä siinä muodonmuutoksia (jotka päällysrakenteessa ilmenevät urautumisena) tapahtuu alussa, mutta ei enää myöhemmin. Tyypin A tapauksessa muodonmuutosten (urautumisen) määrä ennen tasaantumista riippuu merkittävästi kiviaineksen vesipitoisuudesta.



Kuva 5.1. Pysyvän rasituksen vaikutukset

Analyysit ja käytännön kokemukset sitomattomista päällysrakenteista ovat osoittaneet, että harvojen, jos minkään, kiviainesten avulla on mahdollista saavuttaa liikenteen alla suoraan tyypin A mukainen käyttäytyminen. Sen sijaan tyypin B käyttäytyminen on todennäköisempää hyvin toimivalle sorapäällysteiselle tai ohuella asfalttikerroksella päällystetylle tielle. Tyypin A käyttäytyminen on mahdollista saavuttaa paksumman asfalttikerroksen avulla (> 80 mm). Sorapäällysteisen tai ohuella asfalttikerroksella päällystetyn tien suunnittelussa tulisikin siksi olla tavoitteena saavuttaa tyypin B käyttäytyminen, eikä tyypin C, joka johtaa päällysrakenteen nopeaan rikkoontumiseen. Lisäksi tyypin B mukaisen

käyttäytymisen kuvaajan tulisi olla kulmakertoimeltaan mahdollisimman loiva, jolloin päällysrakenteen käyttöikä kasvaa.

Tutkimuksissa todettiin, että etäisyys staattiseen murtotilanteeseen on tärkeä tekijä plastisten muodonmuutosten kehityksessä. Kun kiviainesnäytteeseen kohdistettiin toistuvasti tietyn suuruinen kuormitus, näytteessä esiintyi plastista muodonmuutosta. Kun kosteuspitoisuudeltaan ja raekooltaan samanlaiseen näytteeseen kohdistettiin suurempi toistuva kuormitus, plastisen rasituksen taso oli korkeampi. Plastisen muodonmuutoksen kehittymisnopeuden huomattiin olevan yhteydessä siihen, kuinka lähellä näytteeseen kohdistettu kuormitus on murtumisen kertakuormituksella aiheuttavaa kuormitustasoa.

Yhteenvedon todettakoon, että molempien tutkimuksissa yksityiskohtaisesti tutkittujen materiaalien ja muista lähteistä saatujen tietojen perusteella voidaan päätellä, että plastisen muodonmuutoksen määrä kiviaineksessa kasvaa:

- kiviaineksen kosteuspitoisuuden kasvaessa,
- kun kiviaines ensin routii ja sen jälkeen sulaa,
- kun kiviainekseen kohdistettu rasitus lähestyy staattisen murtotilanteen aiheuttavaa kuormitustilaa.

Yllä mainitut tulokset huomioon ottaen suunnittelussa olisi tarpeen varmistaa, ettei mihinkään päällysrakenteen kerroksista kohdistu murtojännityksen tiettyä murto-osaa suurempaa kuormitusta. Tutkijat ovat aikaisemmin ehdottaneet, että pääjännitysero (tai leikkausjännitys) rajoitettaisiin 70 %:iin siitä jännityksestä, joka tarvitaan staattisen murtotilanteen aikaansaamiseen muuten samoissa olosuhteissa. Tämän tutkimuksen tulokset vahvistavat arvion järkeväksi. Kuitenkin, jos urautuminen halutaan pitää alhaisella tasolla, tässä projektissa tehtyjen materiaalitutkimusten perusteella rajan tulisi olla vain 50-55 %, kun kiviaines on hyvin kostea ja materiaalin hienorakeisuus estää sen nopean kuivattumisen tai kun ollaan kelirikko-olosuhteissa. Tube Suction –kokeiden tuloksia voidaan myös hyödyntää arvioitaessa sitä, pidetäänkö kiviainesta ”märkänä/hienorakeisena” vai ”normaalina” (eli käytetäänkö materiaalille 50-55 % vai 70 % rasitusrajaa?) Tutkimustulosten mukaan raja kulkee dielektrisyysarvossa, joka on < 9 (mikä yleensä tarkoittaa huokoisuusarvoa $> 0,33$).

5.5 PÄÄLLYSRAKENNEANALYYSI

Laboratoriokokeista saatujen jäykkyystietojen (moduuliarvojen) avulla tehtiin tietokonemallinnus, jolla arvioitiin eri tyyppisten ja paksuisten päällysrakenteiden rasiustasoa. Analyysit tehtiin lähes nollasta (1 mm) 200 mm:iin vaihtelevilla

asfaltin paksuuksilla, mutta ainoastaan ohuimmista asfalttipäällysteistä saadut tulokset ovat tämän hankkeen kannalta tärkeitä.

5.6 PÄÄLLYSRAKENNEANALYY SIN TULOKSET

Päällysrakenteiden tietokoneanalyysistä voidaan laskea niiden sisäiset rasi tustasot. Laskelmat eivät ole kovin yksinkertaisia, sillä kiviaineksen jäykkyysmoduuli riippuu ulkoisesta kuormituksesta, joka taas vuorostaan riippuu osittain moduulin arvosta, minkä takia analyysissä on käytettävä iterointia. Kun kuormitusten ja moduulien tasapainoarvot on löydetty, plastisten muodonmuutosten todennäköinen muodostumisnopeus voidaan arvioida missä tahansa kohdassa päällysrakenteen kiviainesta käyttämällä syklisistä kolmiaksaalikoikeista saatuja tuloksia.

Urautumishavaintoja kiviaineskerroksessa (tyyppi 1)

Laskelmat osoittivat, että asfalttikerroksen paksuuden tulee olla tiettyä kynnysarvoa (ehkä >4cm) suurempi, jos sen halutaan jakavan kuormitusta tehokkaasti ja vähentävän merkittävästi alempiin kiviaineskerrokseen kohdistuvaa rasi tusta. Muussa tapauksessa päällyste toimii ainoastaan "sateensuojana", mutta ei suojaa kiviainesta tehokkaasti liikenteen aiheuttamilta suurilta rasi tuksilta.

Kuten kappaleessa 5.4 on kuvailtu, etäisyys staattiseen murtotilanteeseen vaikuttaa selvästi urautumisen kehittymisnopeuteen. Analyysit osoittivat, että kiviaines on lähinnä staattista murtumista 10–15 cm:n syvyydessä päällysrakenteen pinnalta (9–14 cm:n syvyydellä kiviaineksessa). Tämä on siis se syvyys, jossa kuormitustasoa on alennettava murtotilannetta pienemmäksi, jotta urautumista kiviaineskerroksissa voitaisiin vähentää. Tämä voidaan tehdä laskemalla nostamalla materiaalin murtolujuutta (esim. parantamalla sitomattoman materiaalin laatua kuivatuksen tai stabiloinnin avulla) tai alentamalla kiviaineksen kuormitustilaa lisäämällä päällysrakenteeseen paksumpi asfalttikerros.

Esimerkiksi on tässä valittu erään skotlantilaisen kiviaineksen käyttäytyminen. Kiviaineksen ollessa melko kuivaa ja sisältäessä kohtalaisen määrän hienoainesta, suurin siihen kohdistunut rasi tus oli n. 65 % (2cm paksuisella asfaltilla) ja 80 % (1cm paksuisella asfaltilla) staattisen murtotilanteen aiheuttavasta kuormituksesta. Kohteella tehdyt havainnot tämän materiaalin käyttäytymisestä vahvistavat, että liikenteen vaikutuksesta se on altis urautumiselle, erityisesti märällä kelillä. Kun otetaan nämä käytännön kokemukset huomioon, tälle materiaalille kriteerinä voisi olla 75–80 % staattisen murtotilanteen lujuudesta, jotta urautuminen voitaisiin estää. Tämä arvo on samansuuntainen muissa lähteissä julkaistujen tulosten kanssa.

Urautumishavaintoja pohjamaasta (tyyppi 2)

Kun kiviaineskerrosta paksunnetaan, pohjamaahan kohdistuva rasitus pienenee. Analyysit tehtiin vaihtelevilla kiviainespaksuuksilla, ja pohjamaan pintaan kohdistunut kuormitus laskettiin monilla laboratoriossa testatuilla eri kiviaineksilla. Tulokset osoittivat selvästi, että kosteus- ja hienoainespitoisuuden pienenemisen seurauksena kiviainekset pystyvät jakamaan liikenteen kuormitusta paljon paremmin, mikä vähentää pohjamaahan kohdistuvan rasituksen suuruutta. Laskelmien perusteella voidaan myös päätellä, että märällä kiviaineksella kiviaineskerrosten paksuuden on oltava 14-73 % suurempi kuin mikä on melko kuivalla, rakenteeltaan avoimella kiviaineksella tarvittava paksuus. Routivan ja sulavan kiviaineksen paksuutta on laskelmien mukaan tarpeen kasvattaa 85-92 %. Paljon hienoainesta sisältäville kiviaineksille saatiin samankaltaisia paksuusvaatimuksia kuin märille kiviaineksille. Siten puhtaampia ja kuivempia materiaaleja käyttämällä saavutetaan ohuemmilla kerroksilla yhtä hyvä käyttäytyminen tyylin 2 (pohjamaan) urautumisen kannalta. Joskus paksuutta voidaan vähentää melkein puoleen, ja silti urautumisen suhteen saavutetaan samanlainen käyttäytyminen.

6 Yksinkertaistettu soveltamismenetelmä

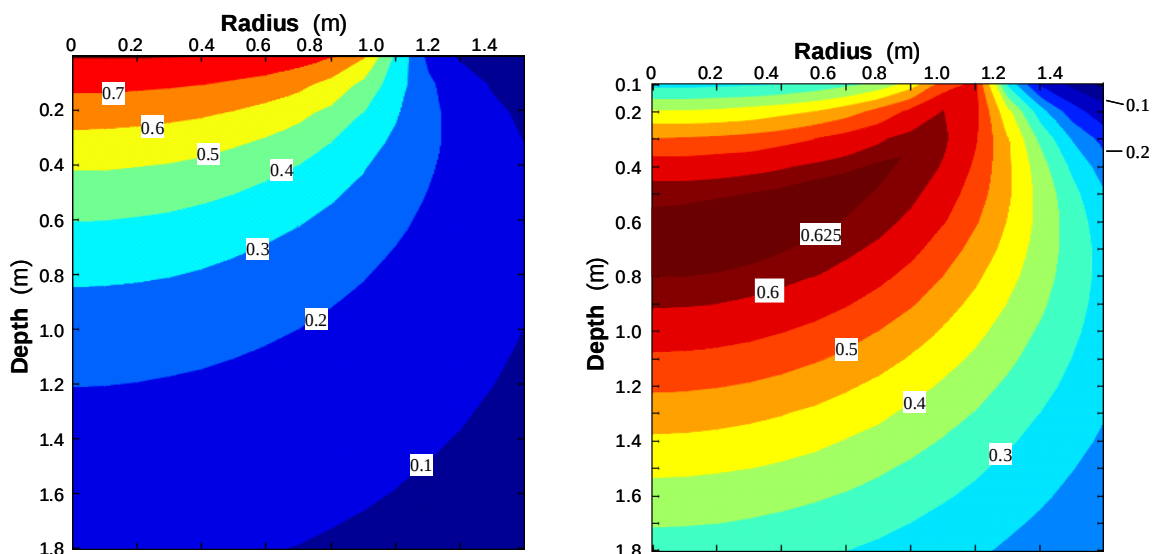
Laboratoriokokeiden tulosten, tietokoneanalyysien, kirjallisuudessa julkaistujen tietojen ja tutkimusryhmän kokemusten perusteella on kehitetty menetelmä, jolla tutkimuksen tuloksia voidaan soveltaa käytäntöön. Itse asiassa Pohjoisen Periferian suunnittelijoiden käyttöön on kehitetty yksinkertaistettu menetelmä, johon on pyritty yhdistämään perustiedot materiaalien käyttäytymisestä, urautumisen muodostumistyypeistä ja kuormitus-tilanteiden analyyseistä käytännöllisellä tavalla. On hyvin epätodennäköistä, että näillä suunnittelijoilla olisi aikaa, rahoitusta, asiantuntemusta tai tarvittavia laitteistoja niin kattavaa tutkimusta varten, joka tässä hankkeessa on tehty. Ehdotetussa menetelmässä yhdistetään siis kappaleessa 5 esitelty lähestymistapa yksinkertaistettuihin menettelytapoihin.



Kuva 6.1 Tube Suction -koejärjestely

Materiaalin kosteustilaherkkyys tulisi määrittää Tube Suction –kokeen avulla (ks. kuva 6.1) (tosin myös huokosluvulla voidaan tehdä ensiarviointi materiaalin kuivatuskyvystä). Kiviainesnäyte tiivistetään kosteana, minkä jälkeen se kuivataan ja sen annetaan uudelleen imeä vettä. Mikäli Tube Suction –kokeella tällöin mitattava dielektrisyysarvo on korkea, materiaalilta voidaan odottaa huonoa toimivuutta. Toimintakyky (hyvä vai huono) voidaan määrittää seuraavalla tavalla.

Päälysrakenteen sitomattomiin rakennekerrokseen, lähelle renkaita, kohdistuvien jännitysten arvioimiseksi voidaan käyttää kuvan 6.2 kaavioita. Nämä kaaviot on kehitetty elementtimenetelmällä tehtävän analyysin korvaajiksi, ja niiden käyttöä on



Kuva 6.2. Jännitykset (ilmaistuna suhteessa rengaspaineeseen) kuormitusalueen alla 1m säteellä. Vasemmalla = hydrostaattinen jännitys. Oikealla = deviatorinen jännitys

kuvailtu yksityiskohtaisemmin tämän tiivistelmän lähderaportissa [Dawson & Kolisoja, 2005]. Kaaviot perustuvat Boussinesq'n jännitysanalyysiin, jota varten ei tarvitse tietää kiviainesten jäykkyysmoduuliarvoja. Menetelmä ei sovellu asfalttipäällysteisille teille, sillä Boussinesq'n menetelmässä oletetaan päällysrakenteen koostuvan ainoastaan yhdestä kerroksesta. Sillä voidaan kuitenkin arvioida päällystämättömien tierakenteiden rasitusta, joka on yleensä kriittisempi tapaus.

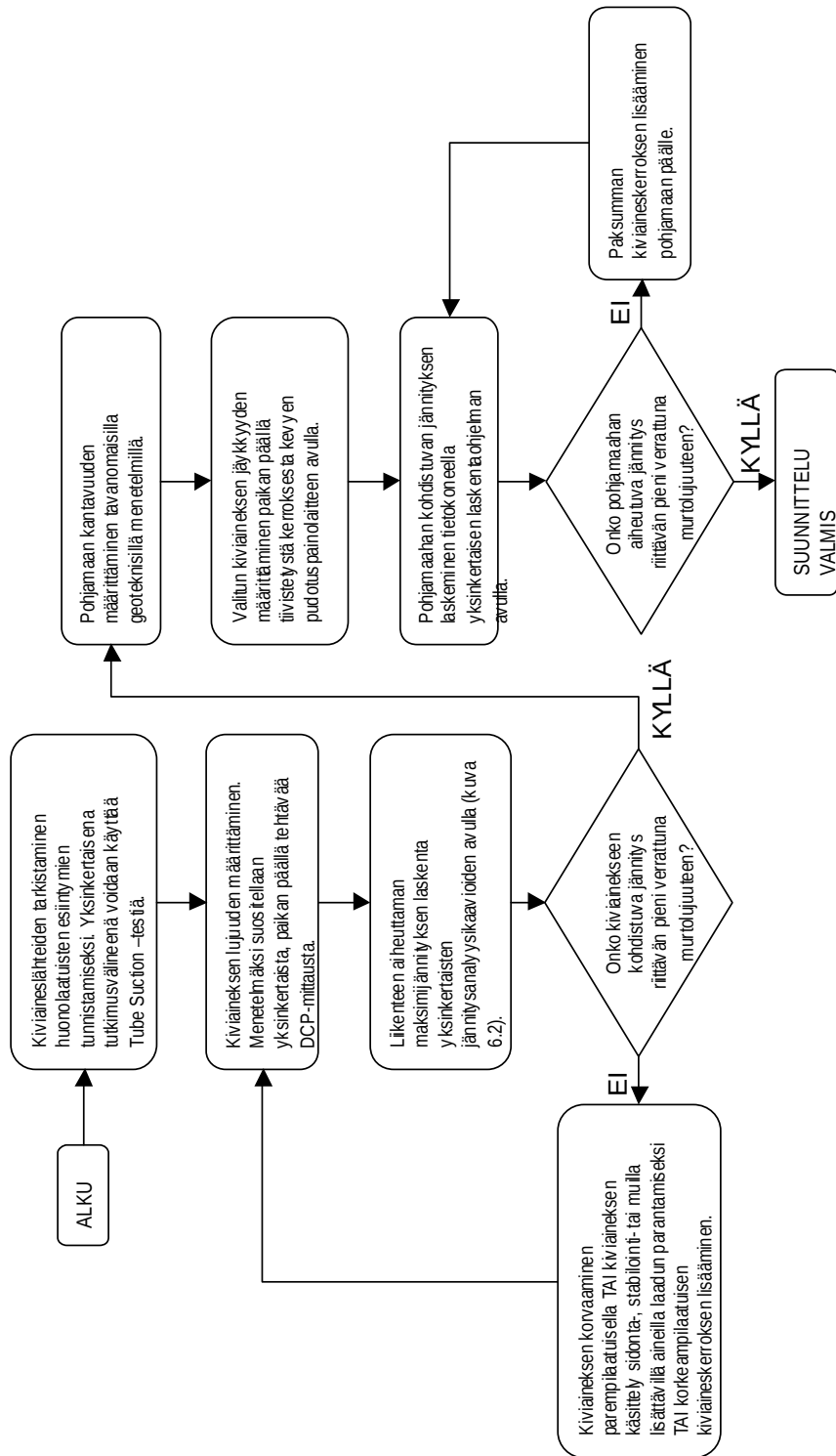


Kuva 6.3 DCP-laite

Kiviaineksen leikkauslujuuden määrittämiseen suositellaan DCP-laitetta (dynamic cone penetrometer, ks. kuva 6.3), joka on yksinkertainen, paikan päällä käytettävä ja nopeita (tosin ei kovin tarkkoja) tuloksia antava menetelmä. Rasituksia voidaan sitten verrata materiaalin lujuuteen, ja kiviaineksen soveltuvuus päällysrakennemateriaaliksi voidaan arvioida.

Näiden vaiheiden avulla voidaan arvioida kiviaineksen laatua, ja tarvittaessa voidaan myös suunnitella parannustoimenpiteitä tai keinoja jännityksen alentamiseksi (esim. asfalttipäällysteen avulla). Pohjamaahan kohdistuvat jännitykset voidaan laskea tietokoneella yksinkertaista, yleisesti saatavilla olevaa analyysiohjelmaa käyttämällä. Pohjamaan lujuus voidaan mitata esim. savimaaperässä siipikairauksella. Näitä kahta arvoa vertailemalla voidaan sitten lisätä kiviainekerroksen paksuutta kunnes pohjamaahan kohdistuva jännitys on pienentynyt siedettävälle tasolle.

Menetelmää on kuvailtu kokonaisuudessaan kuvan 6.4 lohkokaaviossa.



Kuva 6.4 Lohkokaaviotiivistelmä suunnittelu-/arviointimenetelmästä

7 Päälysrakenteen parantaminen

Monet suunnittelijat ovat kiinnostuneempia olemassa olevien päälysrakenteiden kunnossapidosta ja kunnostuksesta kuin uusien rakenteiden suunnittelusta. Periaatteessa siihen voidaan käyttää samaa menetelmää – päälysrakenteen kunnan arvioimista paikan päällä DCP-laitteella (kiviaines) ja siipikairauksella (saviset ja silttiset pohjamaat) ja rakenteen käyttäytymisen ennakoimista aikaisemmin kuvaillulla tavalla. Jos suunniteltu rakennepaksaus on niin pieni, että pohjamaan urautumista ilmeni, on rakenteen paksuutta lisättävä ylimääräisillä kerroksilla. Jos kiviaines on liian huonolaatuista, voidaan sen pinnalle levittää ylimääräinen kerros, ja juuri esitellyn menetelmän avulla voidaan tarkistaa, että alle jääneeseen vanhaan kiviainekseen kohdistuva rasitus ei ole liian suuri.

Myös Tube Suction –kokeita voidaan tehdä kiviainesmateriaalien kosteustilaherkkyden tarkistamiseksi.

Yleisesti ottaen on varmistettava, että tierakenteesta otettu materiaalinäyte on edustava. Tämä ei välttämättä ole mikään helppo tehtävä, sillä liikenteestä ja uudelleenmuotoutumisesta johtuva päälystämättömän rakenteen kiviainesten lajittuminen aiheuttaa usein poikkeamia päälysrakenteen koostumukseen sen poikkileikkaussuunnassa, kun taas routimisesta, pumppautumisesta ja urautumisesta johtuvat häiriöt voivat kaikki aiheuttaa hienoainesten epätasaista jakautumista päälysrakenteessa.

8 Päätelmät

Tässä raportissa esiteltujen tutkimusten, laboratoriokokeiden, tietokoneanalyysien ja tulkintojen tarkoituksena on tarjota Pohjoisen Periferian vähäliikenteisten teiden päällysrakenteiden suunnitteluun yksinkertaistettu, mutta vankkaan teoreettiseen tietämykseen perustuva suunnittelumenetelmä. Kokemukseen perustuvat lähestymistavat ovat hyvin arvokkaita, mutta ne eivät auta avainkysymyksen, rakenteen käyttäytymisen ymmärtämisessä. Tästä syystä kuvaillussa menettelytavassa pyritään teorian ja kokemuksen parhaita puolia yhdistämällä tarjoamaan käytännön hyötyä mm. Pohjois-Euroopassa tavallisten vähäliikenteisten teiden suunnittelijoille.

Paljon työtä on vielä tekemättä tässä tiivistelmässä ja sen lähderaportissa ehdotettujen parametrien soveltamisessa käytännön kohteisiin. On kuitenkin toivottavaa, että tässä raportissa esitetyt tiedot rohkaisivat arvioimaan materiaalien laatua aiemmin kuvailluilla tavoilla sekä vertailemaan niiden arvioitua ja todellista käyttäytymistä. Tällä tavalla toimien voidaan saavuttaa pitkäaikaista hyötyä, jos marginaalisten materiaalien käyttö tierakenteessa hallitaan sillä tavoin luotettavammin, ettei niitä saateta kuormitustiloihin tai olosuhteisiin, joissa niihin muodostuisi merkittävää urautumista. Vastaavasti pitempiaikaista hyötyä saavutetaan myös, jos näitä materiaaleja voidaan käyttää siten, että alla olevan pohjamaan urautuminen voidaan estää.



ROADEX III PUBLICATIONS

Executive Summaries

Managing rutting on low volume roads

Treatment of moisture susceptible aggregates

Design and repair of roads suffering spring thaw weakening

Socio-economic impacts of road conditions on low volume roads

Managing peat related problems on low volume roads

Managing drainage on low volume roads

Environmental guidelines and checklist

Monitoring low volume roads

Copyright © 2006 The ROADEX III Project, EU Northern Periphery Programme. All rights reserved.

ROADEX III Lead Partner: The Swedish Road Administration, Northern Region, Box 809, S-971 25 Luleå.

Project co-ordinator: Mr. Krister Palo.