



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JAAKKO NURMI  
PINTAKELIRIKKOISEN SORATIEN KUNNOSSAPITO

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
25. kesäkuuta 2018

## TIIVISTELMÄ

**JAAKKO NURMI:** Pintakelirikkoisen soratien kunnossapito

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 62 sivua, 2 liitesivua

Joulukuu 2018

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Infrarakenteet

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja

Avainsanat: ilmastonmuutos, kelirikko, kunnossapito, pintakelirikko, sorastus, soratie

Tässä diplomityössä perehdyttiin sulan kauden pintakeliriksoon ja sen torjumiseen kolmen osakokonaisuuden avulla. Osakokonaisuudet ovat kirjallisuusselvitys, haastattelututkimus ja maastokäynnit pintakelirikkoisille sorateille.

Ilmastonmuutoksen seurauksena ilmakehä ja meret ovat lämmenneet ja lunta sekä jäätä on entistä vähemmän. Muuttunut ilmasto on tehnyt sulan kauden pintakelirikosta yleisen ilmiön Suomen sorateilla. Keskilämpötilan odotetaan nousevan ja sademäärien ennustetaan kasvavan jatkossa etenkin pohjoisilla leveysasteilla. On myös todennäköistä, että nykyistä suurempi osa lumesta sataa jatkossa vetenä. Tämän perusteella pintakelirikkoa voidaan odottaa esiintyvän jatkossakin. Maastokäynneillä havaittiin, että jo 5 mm sademäärä on riittävä aiheuttamaan pintakelirikkoa sopivissa olosuhteissa.

Soratien kulutuskerroksessa ilmeneviin ongelmiin on harvoin vain yhtä syytä. Ongelmat ovat usein seurausta esimerkiksi mikroilmaston, kulutuskerrosmateriaalin ominaisuuksien ja kuivatuspuutteiden yhteisvaikutuksesta. Kulutuskerrosmateriaalin pintakelirikoherkkyyteen vaikuttavat esimerkiksi kiviaineksen mineralogia sekä hienoaines- ja kloridipitoisuus. On havaittu viitteitä siitä, että kiviaineksen kiillepitoisuuden (biotiitti, muskoviitti, kloriitti) noustessa kiviaineksen kulutuskestävyys heikkenee. Suolaaminen vähentää kulutuskerroksen pölyämistä, mutta saattaa lisätä alttiutta pintakelirikolle. Imupainekokeella (Tube Suction test, TST) voidaan arvioida sorastusmateriaalin pintakeliriko- ja pölyämisherkkyyttä. Tulee kuitenkin muistaa, että luotettavan tuloksen saamiseksi testattavan näytteen tulee vastata käytettäväksi aiottavaa kulutuskerrosmateriaalia, sillä rakeisuus vaikuttaa suuresti materiaalin imupaineominaisuuksiin. Korjaussuunnittelussa tulee huomioida soratien kunnon tila kokonaisvaltaisesti. Pintakeliriko-ongelmaa ei välttämättä saada poistettua parhaimmallaakaan kulutuskerroksella, jos osasyllisenä ongelmaan on esimerkiksi pohjamaa, kuivatusjärjestelmä tai rakenne. Valmiiseen kulutuskerrokseen tulee saada riittävä sivukaltevuus ja pinta tulee tiivistää ja tasoittaa hyvin materiaaliävikin vähentämiseksi.

Haastattelututkimuksen tarkoituksena oli etsiä täydentävää tietoa pintakelirikosta ja haasteista sorateiden hoidossa. Lähes kaikki haastatellut mainitsivat kelirikon tai pintakelirikon, muuttuneen ilmaston ja alhaisen budjetin aiheuttavan haasteita sorateiden hoidossa. Toivottiin, että tilaaja ja urakoitsija tekisivät hoidon suunnittelua yhteistyössä perustuen havaintoihin sorateiden nykytilasta. Suunnittelun lähtökohdan asettaminen todettiin tärkeäksi, sillä pintakelirikon, pölyämisen tai irtosoraisuuden torjumisen edellytykset ovat jokseenkin ristiriitaiset. Sorateiden hoitoon liittyvässä tietämyksessä todettiin olevan parantamisen varaa niin tilaaja- kuin urakointiorganisaatioissa. Tietämyksen ja osaamisen parantamiseksi esitettiin toimenpiteitä, kuten koulutuksia ja perehdytyksiä.

## ABSTRACT

**JAAKKO NURMI:** Mitigation of surface weakening on gravel roads  
Tampere University of Technology  
Master of Science Thesis, 62 pages, 2 Appendix pages  
December 2018  
Master's Degree Programme in Civil Engineering  
Major: Municipality Engineering  
Examiner: Professor Pauli Kolisoja

**Keywords:** gravel road maintenance, surface weakening, wearing course

The purpose of this master's thesis was to research the phenomenon and mitigation measures of surface weakening on gravel roads caused by rainfall. The thesis consists of three parts: literature review, interview study and excursions to gravel roads suffering of wearing course weakening.

Because of the climate change, the atmosphere and oceans have become warmer. Surface weakening has also become a common phenomenon on Finnish gravel roads. Average temperature and precipitation are expected to continue rising especially in the northern latitudes. It is also likely that a greater part of the snowfall will rain in liquid form in the future. Thus, surface weakening may be expected to appear in the future as well. During the excursions, an observation was made that only 5 mm of precipitation is sufficient to cause the wearing course to turn plastic in adequate weather conditions.

Usually there's more than one factor causing the problems occurring in the wearing course. They are usually related to microclimate, parameters of wearing course material and insufficient drainage. Such aggregate properties are e.g. minerology, fines content and chloride content. It has been found that high mica content might project low abrasion resistance. Spreading salt prevents dust problems on the gravel roads but it may cause the wearing course to become more water sensitive. Tube Suction Test can be used to estimate the behaviour of wearing course during rainy and dry seasons. When planning the repairs of gravel road, the road's condition in its entirety should be considered. The problem might not be resolved only by renewing the wearing course, if the problem is additionally caused by the subgrade, faulty drainage system or structures. It should be ensured, that the repaired wearing course has sufficient cross fall and that the surface is compacted and levelled properly.

The target of the interview study was to acquire supporting knowledge of the studied phenomenon and difficulties faced during gravel road maintenance. Most of the interviewees acknowledged that the spring thaw and water related weakening phenomena, changed climate and the low budget to cause challenges to gravel road maintenance. It was hoped, that planning of maintenance could be done in co-operation with both parties of the contract. Setting the objective for planning was pointed out to be important, as the qualities expected for wearing course may be conflicting. It was admitted that there is a need for further development to increase the knowledge and know-how related to gravel road maintenance among both authorities and contractors.

## ALKUSANAT

Muuttunut ilmasto on tehnyt sorateiden sulan kauden pintakelirikosta ajankohtaisen ilmiön. Se on tuttu monille sorateitä käyttäville ja saanut palstatilaa myös paikallismedioissa. Silti pintakelirikon aiheuttajasta ja oikeanlaisesta hoidosta ei välttämättä ole konsensusta eri osapuolten välillä. Toivon, että diplomityöni voisi toimia materiaalina rakentavalle keskustelulle ja tiedonlähteenä aiheesta kiinnostuneille.

Tämä työ tehtiin Tampereen teknillisessä yliopistossa osana diplomi-insinöörin tutkintoa. Haluan ilmaista kiitoksen työnantajalleni Destialle ja työn tilaajalle Liikennevirastolle, jotka mahdollistivat diplomityön tekemisen. Mentoriani ja työn ohjaajaa Taina Rantasta haluan kiittää aiheeni ideoinnista ja tälle työlle annetusta merkittävästä panoksesta. Pauli Kolisojaa ja Heikki Lappalaista haluan kiittää matkan varrella saadusta rakentavasta palautteesta ja työni ohjaamisesta oikeaan suuntaan. Kiitokset osoitan myös kaikille haastatteluihin osallistuneille. Teidän panoksenne vaikutti työni sisällön laatuun merkittävästi.

Suurin kiitos kuuluu kaikille ystäväilleni, läheisilleni ja kollegoilleni tuesta ja kannustuksesta tämän matkan aikana.

Tyrväällä, 23.12.2018

Jaakko Nurmi

# SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	TEORIA JA TAUSTA.....	2
2.1	Ilmastonmuutos .....	2
2.2	Kelirikon terminologia .....	4
2.3	Soratiet .....	5
2.3.1	Soratien rakenne .....	5
2.3.2	Sorateiden pintakuntoon vaikuttavat tekijät .....	7
2.3.3	Tilastotietoa sorateistä .....	8
2.3.4	Soratiksi palauttaminen .....	11
2.3.5	Sorateiden statusarvo.....	13
2.4	Tienpito Suomessa .....	14
2.4.1	Valtiojohtoisen tienpidon alkaminen .....	14
2.4.2	Tielaitosuudistus.....	15
2.4.3	Nykytilanne .....	16
2.4.4	Muutosnäkömät vuodesta 2019 eteenpäin .....	18
3.	SULAN KAUDEN PINTAKELIRIKKO .....	20
3.1	Ilmastonmuutos ja sen vaikutus pintakelirikkoon.....	20
3.2	Imupaineteoria.....	20
3.3	Pintakelirikon luokittelu ja inventointi .....	21
3.3.1	Pintakelirikon luokittelu.....	21
3.3.2	Automatisoitu sorateiden pintakunnon inventointi ja seuranta.....	24
3.3.3	Maitotiepilotti .....	25
3.4	Pintakelirikon ennaltaehkäisy ja hoito .....	25
3.4.1	Ennaltaehkäisy hoidon menetelmillä .....	25
3.4.2	Korjausmenetelmät .....	27
4.	SORASTUS .....	29
4.1	Muokkaus ja sorastus .....	29
4.2	Materiaalit .....	33
4.3	Pintakelirikkoherkkyyden indikaattorit .....	34
4.3.1	Mineralogia .....	34
4.3.2	Kloridipitoisuus.....	35
4.3.3	TS-arvo .....	36
5.	HAASTATELUTUTKIMUS .....	38
5.1	Haastattelujen toteutus.....	38
5.2	Haastattelun tulokset .....	38
5.2.1	Ilmastonmuutos .....	39
5.2.2	Sulan kauden pintakelirikko .....	40
5.2.3	Sorastustoimenpide ja -materiaalit .....	40
5.2.4	Kalusto .....	42
5.2.5	Rakenteellinen kunto.....	43
5.2.6	Tietämys, osaaminen ja koulutus .....	44

5.2.7	Kehitystarpeet.....	45
6.	MAASTOKÄYNNIT .....	47
6.1	Valvontakierros Kangasalan ja Oriveden alueurakoilla .....	47
6.2	Nokian pintakelirikkoisten sorateiden seurantakäynnit.....	49
6.2.1	Taustaa.....	49
6.2.2	Maastokäynti 2.9.2018 .....	50
6.2.3	Maastokäynnit 5.10.2018 ja 7.10.2018 .....	52
6.2.4	Maastokäynti 2.11.2018 .....	54
7.	YHTEENVETO .....	57
	LÄHTEET.....	59

LIITE A: HAASTATELLUT HENKILÖT

LIITE B: HAASTATELLUKYSYMYKSET

## KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Maapallon keskilämpötilan havaittu muutos 1850–2012 (sisältää maa- ja merialueet) (Ruosteenoja 2014).</i> .....	2
<b>Kuva 2.</b>	<i>Pintalämpötilan havaittu muutos vuosina 1901–2012 (Ruosteenoja 2014).</i> .....	3
<b>Kuva 3.</b>	<i>Rakennettu ja rakentamaton soratie.</i> .....	6
<b>Kuva 4.</b>	<i>Soratien kunnan osatekijät (Liikennevirasto 2014)</i> .....	7
<b>Kuva 5.</b>	<i>Valtion ylläpitämät tiet päällystetyypeittäin vuonna 2017 (Liikennevirasto 2018)</i> .....	8
<b>Kuva 6.</b>	<i>Liikennesuorite päällystetyypeittäin vuonna 2017 (Liikennevirasto 2018).</i> .....	9
<b>Kuva 7.</b>	<i>Sorateiden jakautuminen liikennesuoritteiden mukaan (Liikennevirasto 2018).</i> .....	10
<b>Kuva 8.</b>	<i>Kuoppainen SOP-pinta (Lämsä 2005).</i> .....	11
<b>Kuva 9.</b>	<i>Huonokuntoinen SOP-pinta (Perälä et al. 2006).</i> .....	12
<b>Kuva 10.</b>	<i>Liikenneväylien korjausvelan jakautuminen vuonna 2017</i> .....	17
<b>Kuva 11.</b>	<i>Virastouudistuksessa tavoiteltava alustava tehtäväjako (Ilola et al. 2017).</i> .....	18
<b>Kuva 12.</b>	<i>Pintakelirikkoa etelä-Pohjanmaalla (kuva: Anders Östergård).</i> .....	22
<b>Kuva 13.</b>	<i>Pintakelirikkoa maantiellä 17353 (Rantanen et al. 2008).</i> .....	23
<b>Kuva 14.</b>	<i>Lievää pintakelirikkoa maantiellä 17639 (Rantanen et al. 2008).</i> .....	23
<b>Kuva 15.</b>	<i>Hydraulinen polannelana tappiterällä ja tasaterillä (Soukkio 2018a).</i> .....	27
<b>Kuva 16.</b>	<i>Sorastusmurskeen 0/16 rakeisuuden ohjealue (Liikennevirasto 2014).</i> .....	30
<b>Kuva 17.</b>	<i>Sorastusmurskeen 0/11 rakeisuuden ohjealue (Liikennevirasto 2014).</i> .....	31
<b>Kuva 18.</b>	<i>Asfalttinormien 2011 mukaisen PAB-V 0/16 murskeen rakeisuuden ohjealue (Liikennevirasto 2014).</i> .....	32
<b>Kuva 19.</b>	<i>Yleisimmät haastatteluissa mainitut haasteet sorateiden hoidossa.</i> .....	39
<b>Kuva 20.</b>	<i>Sorastusjälkeä Teiskon kirkkotiellä mt 3381 tierekisteripaalulla 5125.</i> .....	47
<b>Kuva 21.</b>	<i>Rumpurikko Siltasavontiellä mt 14276 tierekisteripaalulla 5495.</i> .....	48
<b>Kuva 22.</b>	<i>Veden ja liikenteen syövyttämä ura kulutuskerroksessa, Siitamantie mt 14207 tierekisteripaalulla 2780.</i> .....	48
<b>Kuva 23.</b>	<i>Hoidon synnyttämää reunapalletta Kellosalmentiellä mt 14213 tierekisteripaalulla 2110.</i> .....	49
<b>Kuva 24.</b>	<i>Hautaantien mt 12995 kunnostamatonta osuutta 2.9.2018.</i> .....	51
<b>Kuva 25.</b>	<i>Hautaantien mt 12995 kunnostettua koeosuutta 2.9.2018.</i> .....	51
<b>Kuva 26.</b>	<i>Alusterällisen kuorma-auton työjälkeä Houhajärventiellä 2.9.2018.</i> .....	52
<b>Kuva 27.</b>	<i>Alkavaa pintakelirikkoa Härkäläntiellä mt 2991 tierekisteripaalulla 2640.</i> .....	53
<b>Kuva 28.</b>	<i>Liettynttä kulutuskerrosta Jokivarrentiellä mt 13765 tierekisteripaalulla 1650.</i> .....	53
<b>Kuva 29.</b>	<i>Vasemmalla kiinteää kulutuskerrosta Hautaantien mt 12995 koeosuudella tierekisteripaalulla 460 ja oikealla liettynttä kulutuskerrosta Hautaantiellä tierekisteripaalulla 2790</i> .....	54
<b>Kuva 30.</b>	<i>Uusi kulutuskerros Jokivarrentiellä mt 13765 tierekisteripaalulla 430.</i> .....	55

<b>Kuva 31.</b>	<i>Pintakelirikkoista kulutuskerrosta Hautaantiellä mt 12995 tierekisteripaalulla 2790. ....</i>	<i>56</i>
-----------------	--	-----------



## TERMISTÖ

HARJA	Järjestelmä, jota käytetään maanteiden hoidon toteumatietojen hallintaan.
HARJA-ilmoitus	Tien tilaa koskevasta palautteesta tehty ilmoitus, joka välitetään kunnossapidosta vastuussa oleville tahoille.
Kantavuus	Kantavuusarvo kuvaa rakenteen jäykkyyttä eli kykyä vastustaa palautuvia muodonmuutoksia. Tavanomaisilla tierakenteilla kantavuutta voidaan pitää kuormituskestävyyden indikaattorina, mutta korkea kantavuusarvo ei aina tarkoita suurta kuormituskestävyyttä.
KKVL	Kesän keskimääräinen vuorokausiliikenne
Reunapalle	Soratien pientareelle sorastusmateriaalista muodostuva harjanne, joka estää veden virtaamisen sivuojiin.
SOP-pinta	Soratielle bitumisella sideaineella liimattu ohut murskekerros.
Sorastus	Sisältää sorastusmateriaalin (esimerkiksi sora- moreeni- tai kalliomurske) levityksen, <i>muokkauksen ja tiivistyksen irtomaiseksi höylätylle kulutuskerrokselle.</i>
Sorateiden hoito	Toimenpiteet, joilla vaikutetaan soratien pinnan kuntoon ja varmistetaan päivittäinen liikennöitävyys. Esimerkiksi pinnan muokkaus, pölynsidonta ja tasaaminen, sorastus, varusteiden ja laitteiden hoito.
Soratien muokkaus	Sisältää kulutuskerroksen leikkaamisen kuoppien pohjan tasolle, epätasaisuuksien tasoittamisen, kulutuskerroksen saattamisen tasapaksuksi ja homogeeniseksi sekä reunalteiden poiston.
Teiden kunnossapito	Teiden ja niiden varusteiden hoito ja ylläpito. Teiden kunnossapidolla taataan tieverkon turvallisuus ja liikennöitävyys.
Tienpito	Teiden suunnittelu, kunnossapito ja sen suunnittelu, rakentaminen ja parantaminen, liikenteen palvelut.
Tierekisteri	Tietokanta, joka sisältää tietoa maanteistä.

# 1. JOHDANTO

Työn ideointi lähti liikkeelle Tiehallinnon selvityksestä Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon (Ruotoistenmäki et al. 2009). Ideointivaiheessa diplomityön aihe rajattiin ilmaston muutoksen yleisistä vaikutuksista sorateiden sulan kauden pintakelirikoon. Edellä mainitun selvityksen mukaan ilmastonmuutoksen seurauksena erityisesti syksyllä esiintyvän pintakelirikon arvioidaan yleistyvän, mikä puolestaan aiheuttaa lisäkustannuksia kasvavan materiaali- ja työmenekin muodossa. Ilmiötä on tutkittu Tiehallinnon selvityksessä Pintakelirikkoselvitys (Rantanen et al. 2008), joka toimi pohjana tälle työlle. Selvityksessä esitettiin, että pintakelirikkoalttiin tien hoitoa ohjattaisiin suunnitelmallisemmaksi ja ennakoivammaksi. Tavoitetta tukevin toimenpiteinä esitettiin esimerkiksi selvitykset tien nykytilasta hoitourakan alkuvaiheessa sekä tarkemmat vaatimukset sorastusmurskeen teknisille ominaisuuksille. Näistä jälkimmäinen on sisällytetty alueurakoiden vaatimuksiin pintakelirikkoherkille kohteille.

Työn tarkoitus on tutkia sulan kauden pintakelirikkoa ilmiönä ja selvittää syitä sen esiintymiseen soratieverkolla. Rakennekelirikko, pohjamaan kelirikko ja tyypillisesti keväisin rakennekelirikkoa edeltävä lyhyt sulamisajan pintakelirikko käsitellään tässä diplomityössä vain pintapuolisesti. Tavoitteena on tuoda esille kehitystarpeita pintakelirikon hoidossa ja ennaltaehkäisyssä sekä sorateiden hoidossa yleisesti.

Tutkimusmenetelminä käytetään kirjallisuuskatsausta, haastattelututkimusta sekä maastokäyn- tejä pintakelirikosta kärsiville kohteille. Kirjallisuuskatsauksessa perehdytään sulan kauden pintakelirikoon liittyvään tutkimukseen sekä sorateiden sorastus- ja muokkaustöiden ohjeistukseen. Historiakatsauksen avulla syvennytään Suomen tienpidossa lähivuosikymmeninä tapahtuneisiin muutoksiin, joilla on saattanut olla vaikutuksia hoidon laatutason muutoksiin.

Haastattelututkimuksella kartoitetaan hoitourakoitsijoiden, tilaajien ja tutkijoiden näkemyksiä sorateiden hoidon nykytilasta sekä sulan kauden pintakelirikkoa aiheuttavista tekijöistä. Tavoitteena on myös muodostaa kuva pintakelirikko-ongelman maantieteellisestä laajuudesta sekä koetusta haitasta. Haastateltavilta tiedustellaan myös näkemyksiä ilmastonmuutoksen aiheuttamista muutoksista sorateiden hoitoon. Tällaisia tekijöiksi ennakoidaan esimerkiksi lumen sijaan vetenä tulevan sateen määrä, muutokset hoitotoimenpiteiden ajoituksessa sekä pidentynyt roudaton aika.

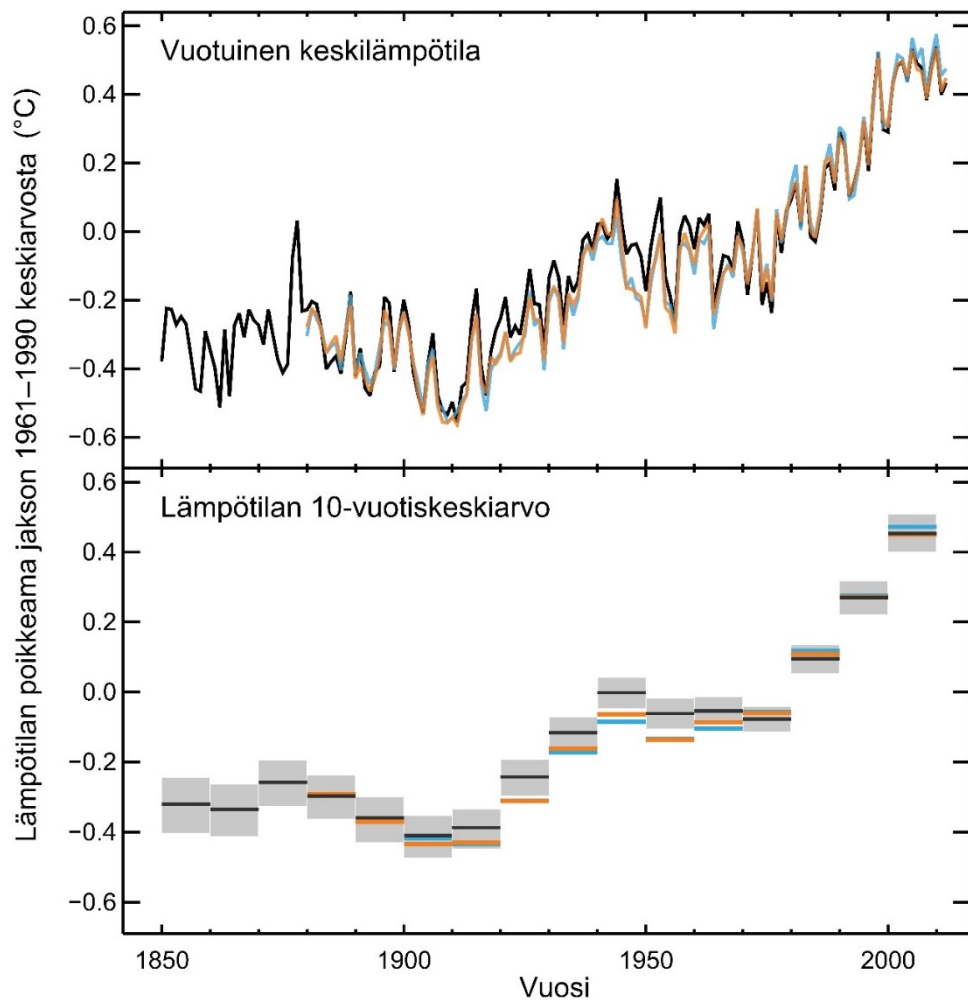
Maastokäynnein tarkasteltaviksi kohteiksi valitaan pintakelirikkoisiksi tiedettyjä sorateita Nokian Tottijärveltä ja Sarkolasta. Maastokäynneillä verrataan pintakelirikon vakavuutta suhteessa käyntiä edeltävään sademäärään ja arvioidaan liikennesäätöön. Kyseisille sorateille tehdään pintakelirikkokorjauksia syksyllä 2018. Korjattujen soratieosuuksien toimivuutta arvioidaan vertaamalla niitä vielä korjausta odottaviin osuuksiin.

## 2. TEORIA JA TAUSTA

Tässä luvussa perehdytään ilmastonmuutokseen, sorateihin, Suomen tienpidon historiaan ja ke-  
lirikkoon yleisellä tasolla.

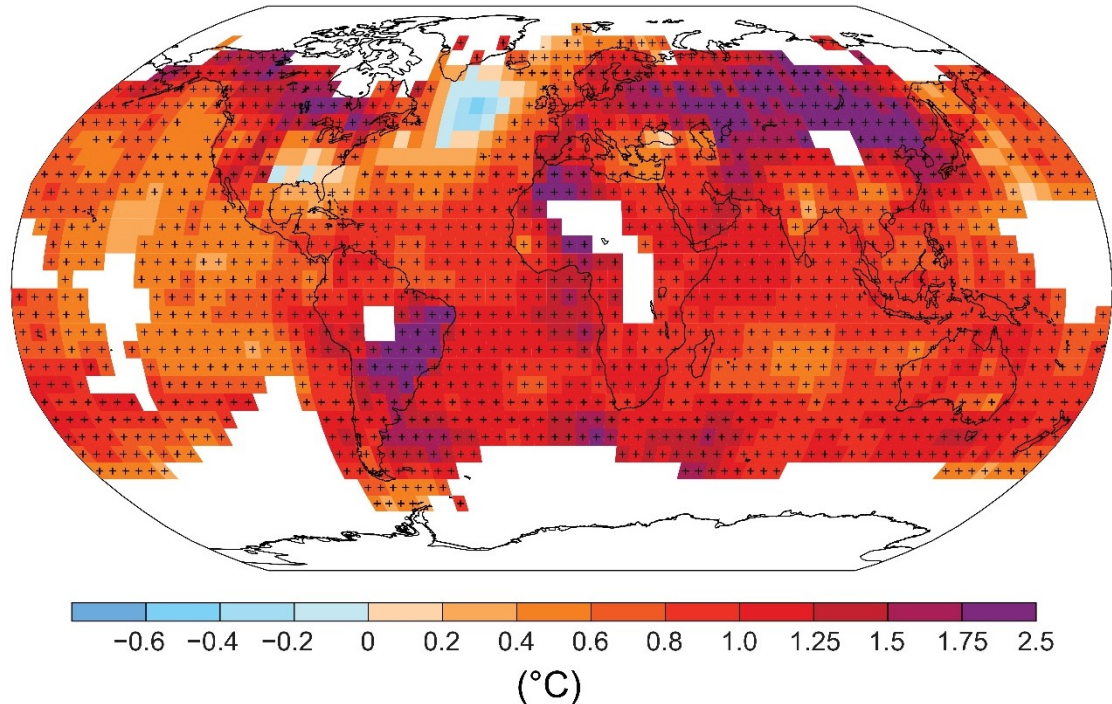
### 2.1 Ilmastonmuutos

Kolmesta viimeisimmästä vuosikymmenestä on kukin ollut lämpimämpi kuin yksikään vuosikym-  
men 1800-luvun puolivälin jälkeen. Ilmastonmuutoksen seurauksena ilmakehä ja meret ovat  
lämmenneet. Lisäksi lunta ja jäätä on entistä vähemmän. On arvioitu, että 30-vuotiskaus 1983–  
2012 olisi lämpimin ajanjakso pohjoisella pallonpuoliskolla vähintään 1400 vuoteen. Keskiläm-  
pötilan nousun vuodesta 1880 vuoteen 2012 on laskettu olevan noin 0,85 astetta (kuva 1).  
(Ruosteenoja 2014)



**Kuva 1.** Maapallon keskilämpötilan havaittu muutos 1850–2012 (sisältää maa- ja meri-  
alueet) (Ruosteenoja 2014).

Ilmasto siis lämpenee pitkällä aikavälillä, vaikka keskilämpötilat heittelevät vuodesta toiseen. Niinpä laskettaessa trendiä lyhyelle ajanjaksolle on alku- ja loppuajankohdan valinnalla suuri merkitys. Siten lyhyen ajanjakson trendeistä ei saa oikeaa kuvaa ilmaston todellisesta, pitkän aikavälin kehityksestä. Kuvassa 1 on esitetty havaintoihin perustuva maapallon keskilämpötilan vaihtelu vuodesta 1850 vuoteen 2012 suhteessa jakson 1961–1990 keskiarvoon. (Ruosteenoja 2014)



**Kuva 2.** Pintalämpötilan havaittu muutos vuosina 1901–2012 (Ruosteenoja 2014).

Kuva 2 esittää vuotuisen keskilämpötilan muutoksen eri puolilla maapalloa lineaarisen muutostrendin mukaan laskettuna. Ristillä on merkitty alueet, joilla lämpötilan muutos on todettu tilastollisesti merkitseväksi 10 %:n tasolla. Kuvan perusteella keskilämpötila olisi noussut Länsi- ja Pohjois-Suomen alueella  $+1,0 - +1,25$  °C ja Itä-Suomessa  $+1,25 - +1,5$  °C. On todettu varsin ilmeiseksi, että 1900-luvun puolivälin jälkeinen ilmastonmuutos on pääosin ihmiskunnan aiheuttamaa. Vuosien 1951 ja 2010 välillä mitatusta keskilämpötilan noususta yli puolen voidaan katsoa olevan seurausta ihmiskunnan tuottamista kasvihuonekaasuista. IPCC:n mukaan ilmaston lämpiämisen voidaan odottaa jatkuvan. Myös sademäärien ennustetaan kasvavan etenkin pohjoisilla leveysasteilla ja lisäksi voimakkaiden rankkasateiden odotetaan voimistuvan entisestään. On myös todennäköistä, että nykyistä suurempi osa lumesta sataa jatkossa vetenä. (Ruosteenoja 2014)

Ruosteenoja *et al.* (2013) mukaan ilmastolliset muutokset Suomessa noudattavat globaalia trendiä. Suomessa keskilämpötila on noussut mittaustietojen perustella viimeisen sadan vuoden aikana lähes asteen ja lämpiämisen odotetaan jatkuvan. Keskilämpötilan odotetaan nousevan voimakkaimmin talvella sekä jonkin verran vähemmän keväällä ja syksyllä. Talvet muuttuvat keskimäärin kosteammiksi, pilvisemmiksi ja vähälumisemmiksi. Talvien suojasäiden yleistymisen

seurauksena entistä suurempi osuus sateista tulee talvellakin vetenä. Maahan asti satanut lumi sulaa herkemmin. Kuumat päivät yleistyvät, kun taas ankarat pakkaspäivät muuttuvat harvinaisemmiksi. Rankkoja sateita tulee esiintymään nykyistä useammin. Kuluvan vuosisadan loppuvuosikymmeninä auringonsäteilyä pääsee maanpinnalle 10–15 % nykyistä vähemmän. Itämeren jääpeitteen ja samoin maaperän roudan odotetaan ohenevan. (Ruosteenoja et al. 2013)

## 2.2 Kelirikon terminologia

Puhuttaessa kelirikosta tarkoitetaan tien liikennöitävyyden alenemista, joka johtuu tien pinnan, tien rungon tai pohjamaan pehmenemisestä ja siitä seuraavasta kuormituskestävyyden alenemisestä. Tässä työssä tutkittavalle ilmiölle päädyttiin käyttämään termiä sulan kauden pintakelirikko. Tällä haluttiin alleviivata tutkimuksen rajausta nimenomaan kesällä, syksyllä ja talvella ilmenevään pintakeliriksoon ja välttää sekaannus keväisin roudan sulamisen yhteydessä ilmenevälle pintakelirikolle. Ilmiön ymmärtämiseksi on tarpeen tuntea myös muut kelirikkotyypit. Ne on eritelty tässä alakappaleessa EU-rahoitteisessa Roadex II projektissa ehdotetun viisiluokkaisen jaon mukaisesti. Nämä viisi vaihetta ovat Aho *et al.* (2005) mukaisesti:

1. syksyn jäätymis-sulamispehmeneminen
2. kevään pintakelirikko
3. rakennekelirikko
4. pohjamaan kelirikko
5. sulan kauden pintakelirikko.

Huomionarvoista on, että käytettävästä luokituksesta puuttuu runkokelirikko. Sitä käytetään paljon, mutta se on määritelmän epämääräinen. Selkeyden vuoksi se on jaettu rakennekelirikoksi ja pohjamaan kelirikoksi. Jako on kuitenkin hyvin teoreettinen, sillä usein sorateiden rakenteet ovat ohuet ja sekoittuneet pohjamaan kanssa ainakin osittain. Näin ollen runkokelirikko saattaa olla terminä kuvaavampi, sillä soratiellä esiintyvä kelirikko ei välttämättä kohdistu selkeästi pelkästään pohjamaan tai rakenteeseen. Seuraavissa kappaleissa on käsitelty kelirikon vaiheet Saarenkedon ja Ahon (2005) mukaan.

### *Syksyn jäätymis-sulamispehmeneminen*

Syksyllä tien pinta saattaa sulaa ja jäättyä syklisesti ilman lämpötilan vaihtelun seurauksena. Sulamis-jäätymissyklien aiheuttama jäätymisimupaine (eng. *cryo suction*) saa veden virtaamaan sulasta pohjamaasta kohti routarajaa. Tämän seurauksena vettä päätyy tierakenteisiin tai kulutuskerrokseen, mikä saattaa johtaa muodonmuutoksiin rakennekerroksissa tai kulutuskerroksen muuttumiseen plastiseksi. Näiden syklien määrä vaikuttaa osaltaan kevään kelirikkotilanteen vakavuuteen.

### *Kevään pintakelirikko*

Talven jälkeen routa sulaa tien pinnasta alaspäin, jolloin voi ilmetä pintakelirikkoa. Pintakelirikon vakavuus riippuu toisaalta siitä, mihin tilaan tie on jäänyt ennen talvea (syksyn sulamis-jäätymissykli), mutta ennen kaikkea säästä, liikenteen määrästä ja sulamisen alkamisen ajankohdasta.

Kulutuskerroksen sulaessa huokosveteen pääsee kolloideja savimineraalien pinnalta, mikä saattaa muuttaa materiaalin plastiseksi. Tämä kriittinen vaihe kestää yleensä 6–14 päivää, jos sää on kuiva. Sulamis-jäätymissyklit eivät aina ole vahingollisia tierakenteille. Kevään pintakelirikon aikaan yöpakkasten yhdessä aurinkoisen sään kanssa aiheuttama jäätymisimupaine nopeuttaa tierakenteen kuivumista. Erityisen haitallista pintakelirikon poistumisen kannalta on jatkuva sade, joka estää pinnan ja rakenteen kuivumisen. Rakenteen vettyminen pahentaa myös rakennekelirikkovaihetta.

#### *Rakennekelirikko*

Rakennekelirikkovaihe alkaa, kun routa on sulanut 150–200 mm syvyyteen, mutta ei ole vielä saavuttanut pohjamaata. Tierakenteen kosteustila on riippuvainen sademäärästä ja kuivatusrakenteiden toimivuudesta. Raskaat ajoneuvot yhdistettynä tierakenteen korkean vesipitoisuuden aiheuttamaan kuormituskestävyyden alenemiseen aiheuttavat muodonmuutoksia rakennekerroksissa. Routanousu rakenteissa pahentaa tilannetta. Painorajoitusten tarve riippuu rakennekelirikkoa edeltävän pintakelirikon vakavuudesta: jos tien pinta on kiinteä ja raskasta liikennettä ei ole paljon, ei painorajoituksia yleensä tarvita.

#### *Pohjamaan kelirikko*

Pohjamaan kelirikkovaihe alkaa, kun roudan sulaminen on edennyt rakennekerroksista pohjamaan. Vaiheen vakavuus riippuu rakennekerroksien paksuudesta ja kuormituskestävyydestä, pohjamaan routivuudesta sekä raskaan liikenteen määrästä. Kantavuusarvolla mitattuna tie on yleensä heikoimmillaan, kun routa on kokonaan sulanut.

#### *Sulan kauden pintakelirikko*

Sulan kauden pintakelirikolla tarkoitetaan tien pinnan pehmenemistä kesällä, syksyllä tai talvella. Nimensä mukaisesti roudalla ei ole vaikutusta ilmiön syntyyn, toisin kuin edellä käsitellyillä neljällä kelirikon vaiheella. Kuten *kevään pintakelirikko* myös sulan kauden pintakelirikko vaatii vettä syntyäkseen. Tyypillisesti ilmiötä esiintyy syksyn runsaiden sateiden vaikutuksesta, mutta pahimmillaan jo lyhyt kesäinen sadejakso saattaa aiheuttaa pintakelirikkoa. Myös korkealla oleva pohjaveden pinta voi aiheuttaa veden pääsyn soratien kulutuskerrokseen, mutta tällöin tien muissakin rakennekerroksissa voidaan olettaa olevan ongelmia. (Aho et al. 2005; Rantanen et al. 2008)

## **2.3 Soratiet**

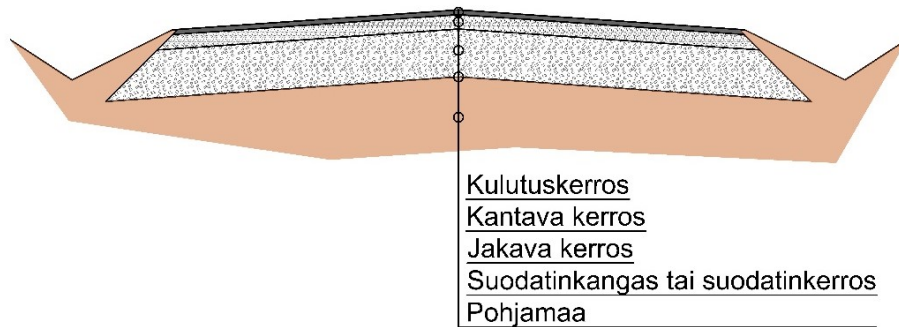
Seuraavissa alakappaleissa käydään läpi sorateiden tyypilliset rakenteet, sorateiden pintakuntoon vaikuttavia tekijöitä, tilastotietoa sekä tienkäyttäjien näkemyksiä sorateiden statusarvosta.

### **2.3.1 Soratien rakenne**

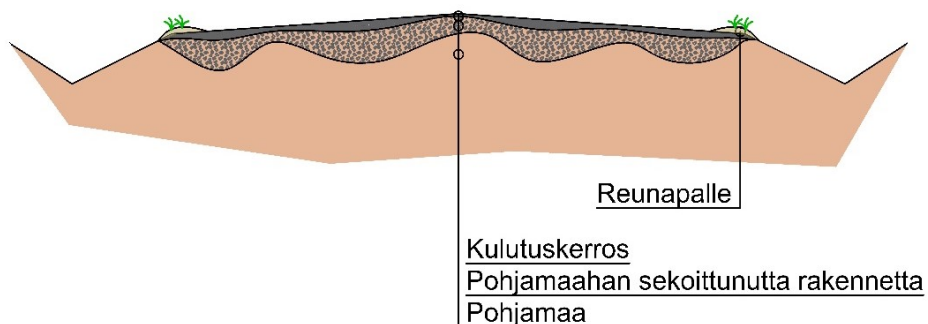
Rakennetuilla sorateilla on yleensä selkeä kerrosrakenne, joka koostuu kulutuskerroksesta, kantavasta kerroksesta, jakavasta kerroksesta sekä suodatinkerroksesta tai -kankaasta (kuva 3, yllä).

Rakennettuja sorateitä on kuitenkin vähän ja niitä löytyy esimerkiksi Ranuan, Posion, Kemijärven ja Sallan alueilta (Rantanen et al. 2005). Valtaosa sorateistä on rakentamattomia sorateitä, jotka on tehty leventämällä vanhoja hevoscärrypolkuja ja niissä ei siten ole asianmukaisia rakennekerroksia (kuva 3, alla).

### Rakennettu soratie



### Rakentamaton soratie

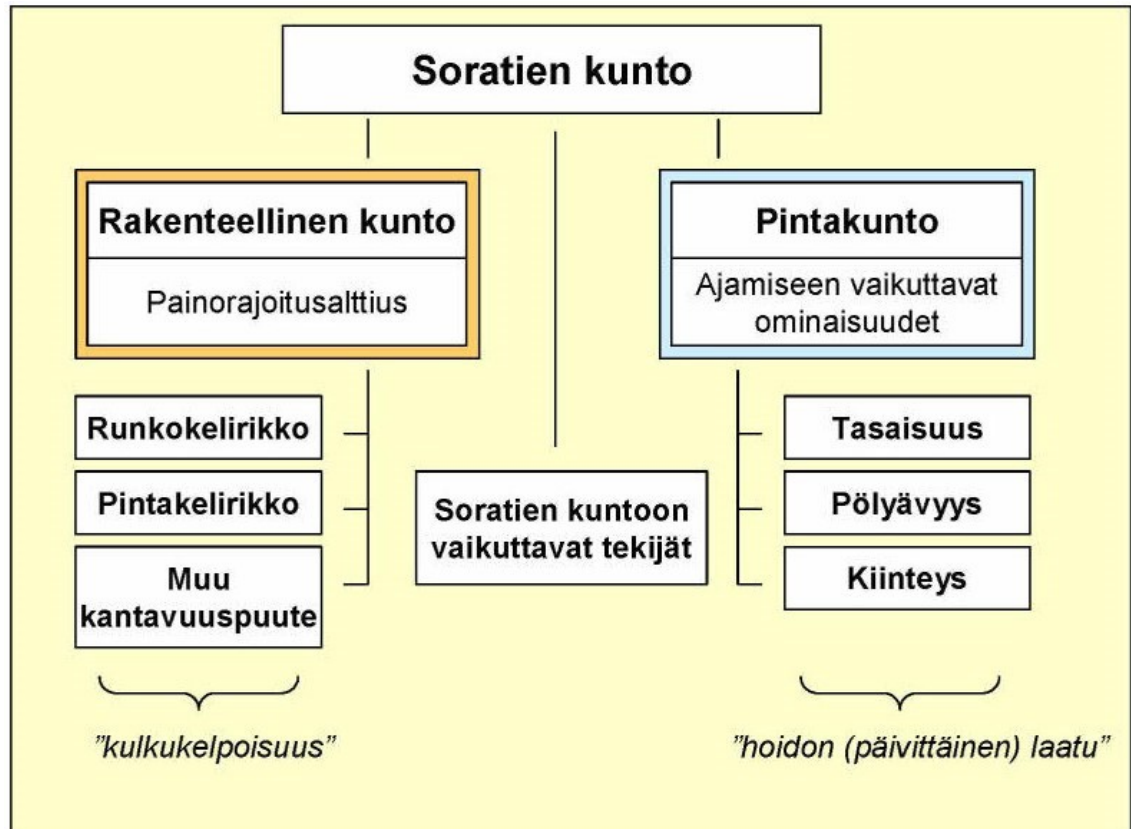


**Kuva 3.** Rakennettu ja rakentamaton soratie.

Rakentamatonta soratietä on saatettu kunnossapitää pelkästään sorastamalla, jolloin varsinaisia rakennekerroksia kulutuserroksen lisäksi ei ole. Osaa rakentamattomista sorateistä on vahvistettu kantavan kerroksen murskeella. Lisätty materiaali on kuitenkin saattanut sekoittua ajan myötä pohjamaahan ja muuttua routivaksi. Näissä tapauksissa rakenne on yleensä paksuimmillaan rengasurissa, kun tien keskilinjalla ja reunoilla se saattaa olla hyvinkin ohut (kuva 3). Rakenne saattaa olla 800 mm paksuinen rengasurien kohdalla ja ohuimmissa kohdissa vain 100 mm. Soratiellä saattaa olla myös pistemäisiä kelirikkorjauksia, jotka sisältävät suodatinkankaan, kantavan kerroksen ja kulutuserroksen. (The ROADEX Network 2007; Liikennevirasto 2014)

### 2.3.2 Sorateiden pintakuntoon vaikuttavat tekijät

Sorateiden kunto muodostuu pintakunnosta ja rakenteellisesta kunnosta. Vastaavasti sorateiden kulkukelpoisuutta ja liikennöintimukavuutta ylläpitävät toimenpiteet jaetaan kahteen luokkaan: hoito ja ylläpito. Hoidolla pyritään saavuttamaan soratien hyvä pintakunto ja turvaamaan päivittäinen liikennöitävyys. Ylläpidon toimet ovat hoitoa järeämpiä rakenteisiin kohdistuvia toimenpiteitä, kuten kelirikkorjauksia tai rakenteen parantamiseen liittyviä toimenpiteitä. (Liikennevirasto 2014)



**Kuva 4.** Soratieen kunnan osatekijät (Liikennevirasto 2014)

Sorateen kunnan jakautuminen rakenteelliseen kuntoon ja pintakuntoon sekä niihin vaikuttavat osatekijät on esitetty yllä (kuva 4). Näihin osatekijöihin vaikuttavat tien muoto (leveys ja sivukaltevuus), kuivatusjärjestelmän toimivuus, tien rakenne ja siinä käytetyt/käytettävät materiaalit, pohjamaan laatu, ympäristöolosuhteet (esim. sää), liikenne (KVL, raskaan liikenteen osuus) sekä hoitourakoitsijan toiminta. Tyypillisesti sorateiden hoidon ja ylläpidon resursseja kohdistetaan erityisesti kulutuskerrokseen ja kuivatusjärjestelmään. (Liikennevirasto 2014)

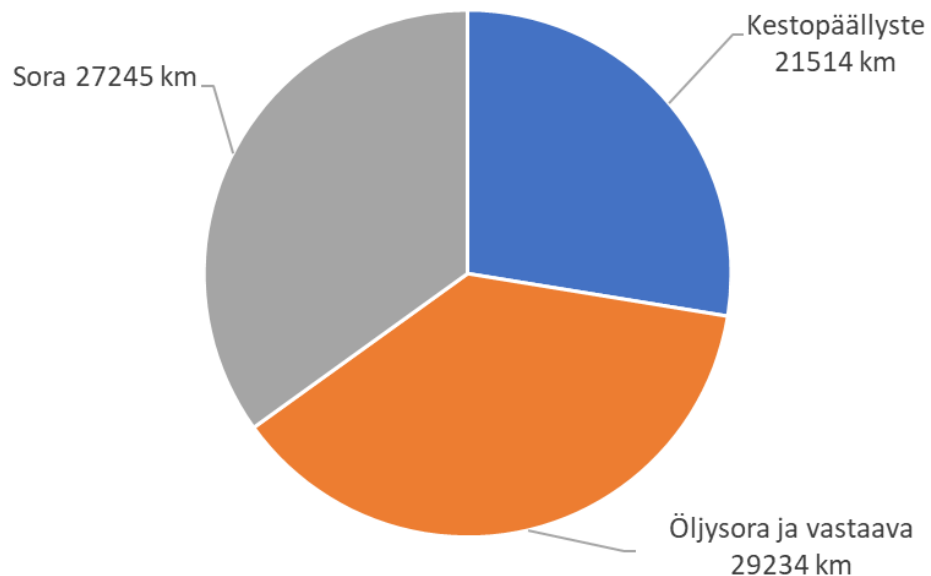
Tiehen kohdistuu rasituksia ympäristötekijöistä, kuten roudasta, lämpötilan muutoksista, saateesta, jäästä ja lumesta sekä auringon säteilystä. Tieliikenne on pääasiallinen soratietä kuormittava tekijä. Tieliikenteen aiheuttama kuormitus on hyvin vaihtelevaa, sillä tiestöllä liikkuu kaikenlaisia ajoneuvoja henkilöautoista täysperävaunuyhdistelmiin. Raskaiden ajoneuvojen kuormitus vaihtelee suuresti riippuen ajoneuvojen kuormaustavasta ja -asteesta. Tiehen kohdistuvaan kuormitukseen vaikuttavat myös renkaiden määrä, rengastyppi ja rengaspaine. Erilaiset



ajoneuvokuormitukset toistuvat satunnaisessa järjestyksessä, satunnaisin välein ja satunnaisessa suhteessa toisiinsa, mikä lisää soratiehen kohdistuvan kuormituksen vaihtelevuutta ja vaikeuttaa kuormituksen ennustettavuutta. Ajoneuvojen kuormitus jakautuu epätasaisesti myös soratien poikkileikkaussuunnassa, sillä se keskittyy voimakkaasti ajolinjojen määräämiin ajouriin. Tyypillistä on, että ajolinjat keskittyvät kapeilla sorateilla, kun taas leveämmillä päällystetyillä teillä vaihtelu on suurempaa. (Ehrola 1996)

### 2.3.3 Tilastotietoa sorateistä

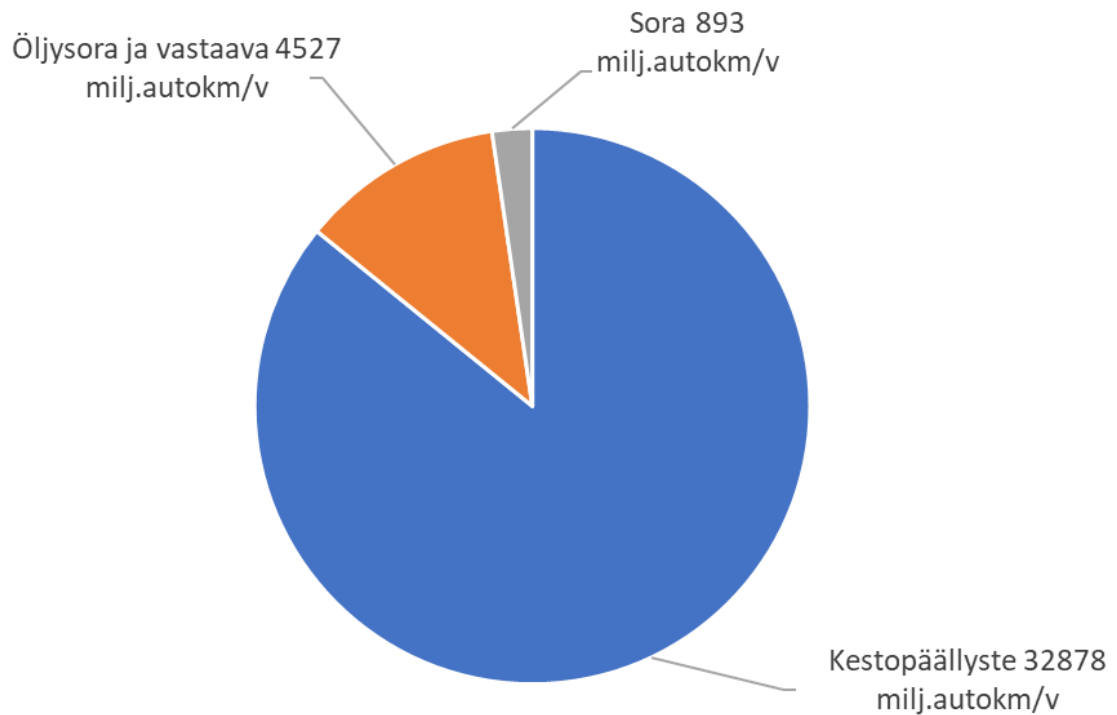
Vuonna 2017 valtion ylläpitämiä teitä oli yhteensä 77 993 km. Kilometreinä mitattuna eniten sorateita oli Pohjois-Savon sekä Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun ELY-keskusten alueella. Sorateiden kokonaispituus oli 27 245 km, mikä vastaa 35 % osuutta valtion teistä. Sorateiden pituus on lisääntynyt vuodesta 2009 71 km. Todellisuudessa sorateita on paljon edellä esitettyä enemmän, sillä Suomen yksityistieverkon laajuus on noin 360 000 km. Siitä pysyvän asutuksen käytössä on 90 000 km, rakennettuja metsäautoteitä 120 000 km ja autolla ajettavia metsä- ja mökkiteitä noin 110 000 km (Suomen tieyhdistys 2018a). Kuva 5 esittää valtion ylläpitämien teiden jakautumisen päällystetyypeittäin. (Liikennevirasto 2010; Liikennevirasto 2018)



**Kuva 5.** Valtion ylläpitämät tiet päällystetyypeittäin vuonna 2017 (Liikennevirasto 2018)

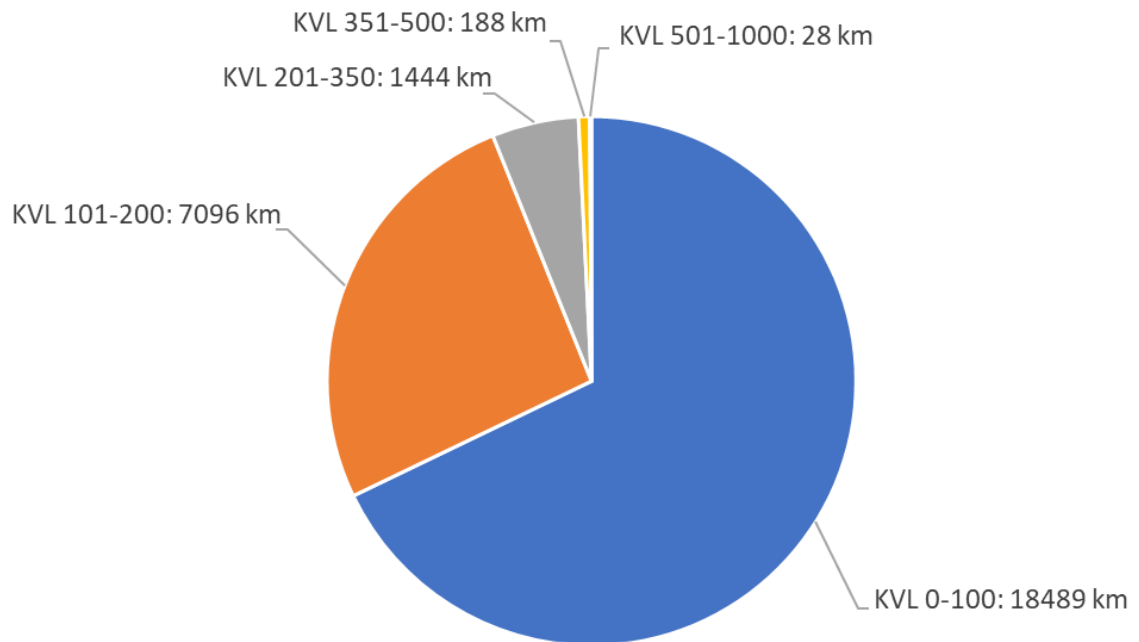
Vuonna 2017 koko maan liikennesuorite maanteilla oli 38 299 milj. autokm/v, josta 893 milj. autokm/v eli 2,3 % ajettiin sorateilla. Vastaavat luvut vuodelle 2009 olivat 35 870 milj. autokm/v ja 957 milj. autokm/v (2,6 %). Läpi 2010-luvun valtakunnan kokonaisliikennesuorite on siis kasvanut. Samalla liikennesuorite sorateilla on pienentynyt. Saman trendin voitaneen odottaa jatkuvan. Kuva 6 esittää liikennesuoritteen vuonna 2017 päällystetyypeittäin. Soratieverkon osuus

valtion ylläpitämien teiden kokonaispituudesta on selkeässä epäsuhdassa liikennesuoritteeseen. (Liikennevirasto 2010; Liikennevirasto 2018)



**Kuva 6.** Liikennesuorite päällystetyypeittäin vuonna 2017 (Liikennevirasto 2018).

Maantie luokitellaan vähäliikenteiseksi, jos sen KVL on alle 200 ajoneuvoa vuorokaudessa. Vastaavasti erittäin vähäliikenteiseksi luokitellaan tiet, joiden KVL on alle 50. Vähäliikenteisten teiden kokonaismäärä vuonna 2017 oli 34 169 km, josta sorateiden osuus oli 75 %. Vuonna 2017 sorateista 18 489 km eli 68 % kuului luokkaan KVL 0–100. Luokkaan KVL 101–200 kuului 7 096 km eli 26 %. Valtaosa sorateista luokitellaan siis vähäliikenteisiksi teiksi, joten sorateille on erikseen oma luokituksensa. Kuva 7 esittää sorateiden jakautumisen liikennesuoritteen mukaan. (Liikennevirasto 2018)



**Kuva 7.** Sorateiden jakautuminen liikennesuoritteeseen mukaan (Liikennevirasto 2018).

Sorateiden hoidon ja ylläpidon toimintalinjoissa (Tiehallinto 2008a) esitetystä soratieluokituksessa soratiet jaetaan kolmeen eri luokkaan KVL:n perusteella: I vilkkaat (KVL >200), II perusoratiet (KVL 50–200) ja III vähäliikenteiset (KVL < 50). Soratieluokitusta voidaan nostaa tai laskea tien verkollisen merkityksen mukaan. Luokan nosto edellyttää, että tiellä on esimerkiksi merkittävä verkollinen asema tai että sen varressa on merkittävää maankäyttöä. Soratieluokkaa määrää vaatimuksen tien pintakunnolle, joka arvioidaan viisiportaisella kuntoasteikolla (Tiehallinto 2008b). Vastaavasti soratieluokan perusteella määräytyvät vaatimukset myös muun muassa rakenteen kunnolle, tien tasaisuudelle, pölyävyydelle ja kiinteydelle. (Perälä et al. 2006; Tiehallinto 2008b)

Suhteessa alhaisesta käyttöasteestaan huolimatta vähäliikenteiset tiet ovat merkittäviä yhteiskunnalle ja elinkeinoelämälle. On arvioitu, että jopa 60 % teollisuuden kuljetuksista joko päättyy vähäliikenteiselle tieverkolle tai lähtee siltä. Nämä tiet ovat yleensä haja-asutusalueiden ainoita liikenneyhteyksiä ja siten ihmisten ja tavarankuljetuksen, sosiaalinen tasa-arvo ja alueen kehittämismahdollisuudet ovat riippuvaisia tiestä. Palveluiden, kuten päivittäistavarakaupan ja koulutuksen, keskittyminen kaupunkeihin ja kuntakeskuksiin lisää haja-asutusalueen asukkaiden liikumistarvetta entisestään kaikissa ikäryhmissä. Toisaalta esimerkiksi vanhusten kotihoidon yleistymisen luo tarpeen palveluiden pääsille asiakkaan luokse. Elinkeinoelämän kannalta merkittävimmät vähäliikenteisen verkon tienkäyttäjät ovat metsäteollisuuden raaka-ainekuljetukset, elintarviketeollisuuden ja maatalouden kuljetukset (esim. teuras-, rehu- ja maitokuljetukset) sekä kaupan jakelukuljetukset. Nämä kuljetukset tehdään yleensä raskailla ajoneuvoilla, jotka kohdistavat suuren rasituksen tiehen, joka saattaa olla ennestäänkin huonokuntoinen. Kuljetukset ovat lisäksi yleensä ympärivuotisia, ja niiltä edellytetään luotettavuutta, täsmällisyyttä ja kustannustehokkuutta, joten on tärkeää, että niiden käyttämät vähäliikenteisetkin tiet ovat ympäri vuoden liikennöitävissä. (Perälä et al. 2006)

### 2.3.4 Soratieksi palauttaminen

Päällystettyjä teitä on palautettu sorateiksi 2000-luvun alusta alkaen. Toimenpide sisältää päällysteen purkamisen ja soratien kulutuskerroksen rakentamisen. Tämä on herättänyt mielipiteitä niin puolesta kuin vastaan. Toimenpiteellä on tavoiteltu tasaisempaa pintaa ja parempaa ajomukavuutta. Esimerkiksi huonokuntoisia SOP-pintauksia on muutettu sorateiksi (kuva 8 ja kuva 9). Pintausten ylläpito on ollut vaikeaa ja toisaalta niiden odotettu käyttöikäkin oli vain noin viisi vuotta, sillä ne rakennettiin epätasaisesti routiville alhaisen kuormituskestävyyden teille (Perälä & Valkeisenmäki 2002). SOP-pintauksilla tavoiteltiin parempaa ajomukavuutta, helpompaa kunnossapitoa ja pölyämisen vähenemistä. (Lämsä 2005; Perälä et al. 2006)



**Kuva 8.** Kuoppainen SOP-pinta (Lämsä 2005).



**Kuva 9.** Huonokuntoinen SOP-pinta (Perälä et al. 2006)

Perälä et al. (2006) toteaa, että tien pitäminen päällystettynä saattaa olla kannattavaa, jos KVL ylittää 100 ajoneuvoa vuorokaudessa. Tätä pienemmillä liikennemäärillä päällysteen ylläpidon kustannukset per ajoneuvo-km nousevat eksponentiaalisesti. Päällysteen korjaamista ja paikkaamista kannattaa toki jatkaa mahdollisimman pitkään. (Lämsä 2005; Perälä et al. 2006)

Päällysteen purkamisen perusteet voidaan yleensä jakaa seuraaviin luokkiin (Meriläinen & Ruonakoski 2007):

- päällysteen kunto
- ylläpidon ja hoidon taloudellisuus
- liikennemäärät
- maankäyttö
- tien verkollinen merkitys.

Näistä tekijöistä määräävä on päällysteen kunto. Purkupäätöksen tekemiseksi päällysteen täytyy olla kunnoltaan niin huono, että siitä aiheutuu kohtuutonta haittaa tai jopa vaaraa liikenteelle esimerkiksi reikien väistelyn takia. Toinen tärkeä edellytys on, että soratieksi palauttaminen on yhteiskuntataloudellisesti kannattavaa. Vähimmäisvaatimus on, että toimenpide on taloudellinen tienpitäjälle koko tien elinkaaren aikana aiheutuvien kustannusten perusteella. Liikennemäärälle pidetään yleensä raja-arvona  $KKVL < 250$  ajoneuvoa vuorokaudessa. Pölyämisestä kärsivät toiminnot tulee huomioida maankäytön merkitystä arvioitaessa, sillä soratie saattaa aiheuttaa pölyämisongelmaa. Pölyäminen haittaa esimerkiksi marja- ja vihannestiloja sekä lähellä tietä olevaa asutusta. (Meriläinen & Ruonakoski 2007)

### 2.3.5 Sorateiden statusarvo

Soratiksi palautettaviksi suunniteltavat tiet ovat yleensä nimenomaan huonokuntoisia SOP-teitä ja muita kevytpäällysteisiä teitä. Vähäliikenteisiä kestopäällystettyjä teitä on hyvin vähän (Liikennevirasto 2018). Useimmiten tienkäyttäjät ovat olleet sitä mieltä, että kaikki keinot huonokuntoisen SOP-tien parantamiseksi ovat tervetulleita lukuun ottamatta soratiksi palauttamista. Tienkäyttäjät pitävät huonokuntoistakin päällystettyä tietä parempana kuin hyväkuntoista soratietä. Päällystettyä tietä saatetaan pitää saavutettuna etuutena, josta ei haluta luopua. Syrjäisillä alueilla, joilla sorateiden kunto oli ollut aihe murheeseen, pidettiin piktien tuleamista juhlan aiheena ja osoituksena valtiovallan huolenpidosta sekä merkinä elintason kohoaamisesta. Siksi päällystetyn tien palauttaminen soratiksi saattaa aiheuttaa mielikuvan joutumisesta valtiovallan intressien ulkopuolelle. (Meriläinen & Ruonakoski 2007)

Meriläisen ja Ruonakosken (2007) tekemän kyselytutkimuksen mukaan tienkäyttäjillä oli usein sellainen käsitys, että soratiksi palautettava tie pidetään ensimmäiset vuodet kunnossa, mutta sen jälkeen tien pintakunto laskee jopa alemmalle tasolle kuin vanhan SOP-pinnoitteen. Erityisesti pelättiin henkilöautojen rikkoutumista kuoppien ja kiveniskemien takia sekä sorapinnan aiheuttamaa pöly- ja kurahaittaa tien varren asutukselle ja ajoneuvoille. Soratiksi palauttamisen koettiin myös vievän mahdollisuuden erittäin kiinteän ja sileän pinnan vaativiin vapaa-ajan aktiviteetteihin, kuten rullaluisteluun, -hiihtoon ja potkulautailuun. Pyöräily ja lenkkeily todettiin onnistuvan, mutta pyöräilijöiden huomautettiin siirtyvän mielellään pois pientareen irtosoralta tien sileämmälle keskiosalle. Toisaalta autoilijoiden huomautettiin tekevän samoin, jolloin polkupyörän pyörien alla rullaava irtosora saattaa aiheuttaa vaaraa kohtaamistilanteessa. (Meriläinen & Ruonakoski 2007)

Tien varren asukkaat pitivät pölyä erityisen haitallisena. Pölyongelmaa todettiin esiintyvän etenkin kuivina kesinä. Pöly koettiin sitä haitallisempänä, mitä lähempänä tietä asuttiin ja mitä enemmän tiellä oli liikennettä ja erityisesti raskaita ajoneuvoja. Pölyn mainittiin aiheuttavan astmattikoille oireita ja estävän asuntojen tuulettamisen sekä liikaavan muun muassa ikkunat, pyykki, kasvimaat ja marjapensaat. Soratien puoleisen osuuden todettiin yleisesti jäävän vähälle käytölle pölyn vuoksi. Sateella pölyn todettiin muuttuvan kuraksi, joka sotki niin autot, pyörät kuin jalankulkijatkin. Auton kuraisuuden tai pölyisyyden taas koettiin leimaavan soratien varren asukkaat. Asukkaat myös uskoivat edellä mainittujen haittojen alentavan kiinteistöjen arvoa ja pitivät siten huonokuntoistakin pinnoitettua tietä soratietä parempana vaihtoehtona. Huomautettiin, että pölyvä tai pintakelirikkoisen soratie saattaa aiheuttaa haittaa tien varressa elinkeinoaan harjoittavalle, sillä asiakas saattaa valita paremman kulkuyhteyden varrella olevan toimijan. (Meriläinen & Ruonakoski 2007) Tienkäyttäjien mielikuvaa sorateista huonontaa ennen kaikkea se, että heidän odotuksensa ovat korkeammat kuin tienpitäjän määrittelemä tavoitetaso tien kunnolle (Tiehallinto 2008a).

Ammattiautoilijoiden kanta samassa kyselyssä oli jokseenkin myönteisempi soratiksi palauttamista kohtaan. He korostivat ajomukavuutta, ja pitivät SOP-teiden palauttamista soratiksi varsin hyvänä ratkaisuna olettaen, että soratie pidetään raskaan liikenteen edellyttämässä kun-

nossa. Tässä on toki huomioitava, että ajotuntuma pienellä henkilöautolla ja raskaammalla ajoneuvolla on varsin erilainen. Ammattiautoilijat totesivat huonokuntoisen SOP-tien laskevan selvästi ajonopeutta ja aiheuttavan vaurioita ajoneuvoille ja kalustolle. Soratieksi palautetulla tiellä taas ajonopeudet olivat suuremmat, mutta haitoiksi mainittiin kasvaneet polttoaine- ja korjauskustannukset kestopäällystettyihin teihin verrattuna. (Meriläinen & Ruonakoski 2007)

## 2.4 Tienpito Suomessa

Seuraavissa alakappaleissa tarkastellaan kirjallisuuskatsauksen keinoin Suomen tienpidossa tapahtuneita muutoksia ja niiden vaikutuksia.

### 2.4.1 Valtiojohtoisen tienpidon alkaminen

Keskiajalta vuoteen 1918 asti teiden rakentaminen ja niiden kulkukelpoisuuden varmistaminen olivat yksityisten maanomistajien, kuten talonpoikien velvollisuuksia. Valtiojohtoisen väylänpidon voidaan katsoa alkaneen 1800-luvun puoliväliin mennessä kuninkaallisen koskenperkaus-toimikunnan syntyminen myötä. Nimensä mukaisesti toimielimen pääasiallinen tehtävä oli vesiväylien liikennöitävyyden takaaminen. Vuonna 1918 alkaneet lainsäädännölliset uudistukset siirsivät vähitellen vastuun yleisten teiden kunnossapidosta ja rakentamisesta kokonaan valtiolle. Vuonna 1918 säädetty tielaki oli ensimmäinen laatuaan Suomessa. Sen laatimisen taustalla olivat sekä pitkäaikainen tyytymättömyys vanhaan tienpitojärjestelmään että autoistumisen luomat haasteet silloiselle tieverkolle ja tienpitojärjestelmälle. (Levä et al. 2008)

Autojen lukumäärä alkoi kasvaa Suomessa voimakkaasti 1920-luvulla: vuosikymmenen ensimmäisellä puoliskolla se kymmenkertaistui. Autoilun lisääntyminen aiheutti päivystarvetta lainsäädäntöön toisaalta liikenneturvallisuuden vahinkovastuiden ja toisaalta teiden hoitovastuun kannalta. Suomen tiestöä ei oltu suunniteltu eikä etenkään rakennettu autoilun tarpeet huomioidaan ottaen, vaan se oli muotoutunut palvelemaan matkantekoa hevostäällä, polkupyörällä sekä jalan. Tienpitäjien eli maanomistajien tärkeimmät työvälineet olivat lapio ja harava. Teiden rakenne ei kestänyt autojen painoa, ja lisäksi ohittamis- sekä kohtaamistilanteet olivat hankalia kapeilla kärrypoluilla. Tieliikenteen määrän kasvu loi tarpeen tienpidon tuntuvalle kehittämiselle ja tehostamiselle, mihin vastattiin muun muassa nimittämällä ensimmäiset tiemestarit ja alkamalla teiden koneellinen kunnossapito. Kunnossapidon modernisointi oli tärkeää, sillä vuotta 1918 edeltäneellä tienpitojärjestelmällä ei olisi voitu mitenkään toteuttaa autoilun vaatimia uudistuksia. Aiemmin tienpidosta vastanneella maaseudun väestöllä ei olisi ollut siihen vaadittuja teknisiä tai taloudellisia resursseja. Kyse oli myös tasa-arvosta, sillä suurella osalla tienpidosta vastanneista talonpojista ei ollut autoa. (Levä et al. 2008)

Vuoden 1918 tielain käytännön seuraus oli, että yleiset tiet siirtyivät joko valtion välittömään hoitoon tai maalaiskuntien hoidettaviksi valtion varoin. Paikallisteiden hoito kuului kuitenkin edelleen maanomistajille. Tuohon aikaan Suomi oli agrariyhteiskunta, jossa ei ollut suoranaisia valmiuksia siirtyä uuteen järjestelmään. Niinpä maanviljelijät olivat edelleenkin tärkeässä roolissa tienpidon tehtävissä yleisillä teillä, mutta urakoitsijan roolissa. Tienpidon lainsäädännön

kehittämistä jatkettiin 1920-luvulla. Valtioneuvoston päätöksissä ja laeissa määrättiin mm. teiden luokittelun uudistamisesta sekä tarkennettiin tienpitovastuita. Vuoden 1918 tielain jäljiltä lähes 4200 tiekilometriä oli jäänyt ilman hoitoa, koska tienpitovastuusta oli epäselvyyksiä. Tielaki uusittiin 1927 ja sen mukaan yleiset tiet jaettiin maanteihin, kunnanteihin ja kyläteihin. Maanteiden kunnossapidosta vastasi valtio ja kunnanteiden kunnossapidosta vastasivat kunnat ja kyläteistä niiden käyttäjät. (Levä et al. 2008)

Joillakin alueilla kunnossapidon toteutuksen siirtyminen urakoitsijoilta valtiolle kuitenkin viivästyi resurssi- ja osaamispuulan takia. Ensimmäiset tiemestarit palkattiin vuonna 1925, ja vuoden 1927 tielain voimaantulon jälkeen he olivat Tie- ja vesirakennushallituksen (TVH, 1925–1964) alaisuudessa. Vallitsevana ajatuksena oli yhdenmukaistaa tiemestarien ja tiemestaripiirien toimintatavat ja siirtää vastuu yleisistä maanteista kaikin puolin TVH:lle. Vuonna 1948 maantiet siirtyivätkin TVH:n hoitoon lääninhallituksilta, jotka samalla luovuttivat kalustonsa TVH:n käyttöön. Tienpito keskittyi tästä eteenpäin yhdelle viranomaiselle, jolloin tienpidon suunnittelusta tuli helpompaa. Uudistuksen jälkeen tieverkon kunnossapito alkoi tehostua ja yhtenäistyä. Kehitystä haittasi kuitenkin edelleen kalusto- ja resurssipuula. Toisaalta tienpidon painopiste oli siirtynyt 1920- ja 1930-lukujen tieverkon laajentamismisioista olemassa olevan ja sotien takia tuhoutuneen tieverkon kehittämiseen ja korjaamiseen. Kunnan- ja kylätiet lakkautettiin vuoden 1954 tielaille ja muutettiin TVH:n pitämiksi paikallisteiksi. TVH:ta seurasi Tie- ja vesirakennuslaitos (TVL, 1964–1990), johon kuuluivat keskusvirastona TVH ja sen alaiset tie- ja vesirakennuspiirit. Suomen tieverkko saatiin kokonaisuudessaan moottoriliikennekelpoiseksi 1970-luvun alkuun mennessä. TVL:sta muodostettiin Tielaitos (1990–2001) ja vesitieasiat siirrettiin merenkululaitokselle. (Levä et al. 2008)

## 2.4.2 Tielaitosuudistus

Tienpidon kehittäminen urakkapohjaiseen malliin alkoi tielaitosuudistuksella vuonna 2001. Tielaitos jaettiin tuolloin Tiehallinnoksi ja Tieliikelaitokseksi. Uudistusta seurasi neljän vuoden siirtymäaika, jona tienpito avattiin kokonaisuudessaan kilpailulle. Tätä ennen tiestön hoito teetettiin pääasiassa Tielaitoksen omana työnä. Tienpito oli muilta osin avoinna kilpailulle, joten Tielaitoksella oli vakaa kokemus tienpidon toimenpiteiden kilpailuttamiseen jo ennen tielaitosuudistusta. Teiden parantamis- ja rakentamistöistä yli 80 % ja suunnittelutöistä noin 60 % hankittiin yksityissektorilta jo ennen tielaitosuudistusta. Kunnossapidon töistä noin 75 % hoidettiin Tielaitoksen tuotannon henkilöstöllä ja kalustolla ja loput tilattiin yksityisiltä urakoitsijoilta. (Valtioneuvosto 2005)

Tielaitosuudistukseen kuului, että laitoksen työntekijöitä ohjattiin yritysmäisempään työskentelytyyliin. Tielaitoksen työntekijöistä tuli palvelutuottajia ja tienkäyttäjistä asiakkaita. Pekkala (2011) tutki uudistuksen vaikutuksia tienpitoon haastatteleamalla muutoskauden kokeneita Tielaitoksen työntekijöitä. Moni haastateltava ilmaisi huolensa osaamisen katoamisesta organisaatiouudistuksen yhteydessä, kun vähennystarve osui esimerkiksi moniosaaviin tiehöylänkuljettajiin. Toisen haastattelussa ilmennyt huolenaihe oli alemman tieverkon rappeutuminen. Sorateiden katsottiin olleen erittäin hyvässä kunnossa ennen uudistusta määrätietoisien toiminnan ja resurs-



sien oikean kohdistamisen takia, mutta rappeutuneen uudistuksen seurauksena. Syynä kehitykseen pidettiin määrärahojen puutetta sekä Tielaitosaikaan tehtyä ylilaatua. Tielaitoksen työntekijöille pyrittiin järjestämään työkantaa, minkä seurauksena sorateiden hoitotoimenpiteitä saatiin tehdä työllistämismielessä, vaikka niille ei olisi toimivuusvaatimusten puolesta ollut tarvetta. Tielaitosuudistuksen jälkeen hoitoa tehostettiin. Ylilaatua ei enää tehty ja siten laatutaso tosiaankin laski, joskaan se ei silti alittanut laatuvaatimuksia. Aikaisemmin laatutason todettiin pitkälti riippuneen tiemestarista. Vaikka yhteiset normit olivat jo tuolloin olemassa, niitä pidettiin usein laadun minimeinä. Nykyisen urakointimallin todettiin taas pitävän näitä normeja ehdottomana maksimina, sillä urakkamalli ei suosi ylilaadun tekemistä. Aiempaan ylilaatuun tottuneiden tienkäyttäjien näkökulmasta tämä tietenkin nähtiin laadun huononemisena. (Pekkala 2011)

Valtioneuvoston selonteon (VNS 3/2005) mukaan tiestön hoidon avaaminen kilpailulle tapahtui onnistuneesti. Uudistuksen suurimmat haasteet liittyivät nimenomaan kilpailuttamiseen. Tielikelaitoksella katsottiin olevan etulyöntiasema ja hoitourakoiden kilpailuttaminen vaati Tiehallinnolta uudenlaista osaamista. Vaikka Tielikelaitos oli pitkän historiansa ansiosta vahva toimija, ilmestyi alalle myös muita alueellisia ja valtakunnallisia toimijoita. Selonteossa todettiin uudistuksen yhtenäistäneen tiestön palvelutasoa koko maassa. Alemmalla tieverkolla palvelutason todettiin paikallisesti heikentyneen, mutta vastaavan Tiehallinnon alennettuja laatuvaatimuksia. Kokonaisuudessaan laatutason katsottiin siis olevan uudistusta edeltäneellä tasolla lukuun ottamatta alemmaa tieverkkoa, jolla laatutasoa alennettiin lievästi niukan rahoituksen vuoksi. Selonteossa todettiin, että tienpidon avaaminen kilpailulle synnytti vuositasolla 60 miljoonan euron säästön. Hoitokustannusten osuuden tästä summasta arvioitiin olevan 42 miljoonaa euroa. (Valtioneuvosto 2005)

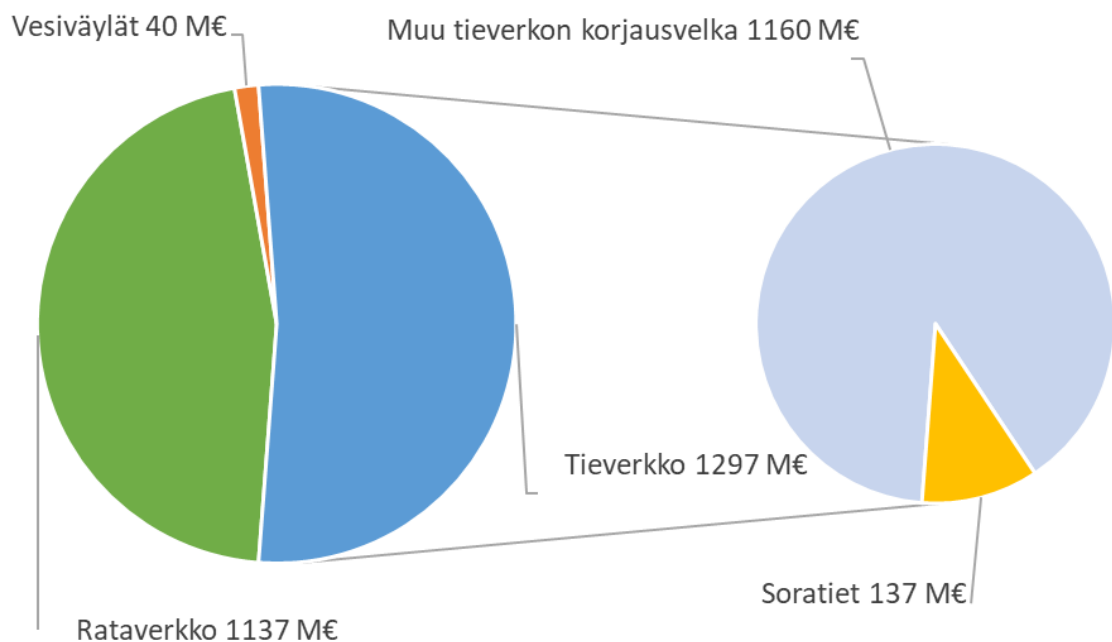
Valtiontalouden tarkastusvirasto (VTV) raportoi tielaitosuudistuksen vaikutuksista vuonna 2006. Raportissa todettiin uudistukselle asetettujen tavoitteiden toteutuneen ainakin laskeneiden hoitokustannusten ja säästöjen avulla tehdyn hoidon laatutason noston osalta. Tiehallinnon laadunvalvontamenetelmiä kuitenkin kritisoitiin. VTV kritisoi laadunvalvonnan olevan suunnittelematonta ja satunnaista pistokoevalvontaa, toisin kuin palveluiden hankintamenettely. Urakoitsijoiden huomautettiin raportoivan vain laadunvalvonnasta. Laadunvalvonnan todettiin perustuvan pitkälti urakoitsijoiden omaan sisäiseen laadunvalvontaan ja uskoon sen toimivuudesta. Valvontaa toivottiin kehitettäväksi järjestelmällisempään ja läpinäkyvämpään suuntaan. (Valtiontalouden tarkastusvirasto 2006)

### **2.4.3 Nykytilanne**

Tiehallinnon organisaatio koostui keskushallinnosta, yhdeksästä tiepiiristä sekä suurten projektien yksiköstä. Liikenne- ja aluehallinnon uudistuksessa vuonna 2010 tiepiirit siirrettiin ELY-keskuksiin. Ratahallintokeskuksesta, osasta Merenkulkulaitosta ja Tiehallinnon keskushallinnosta muodostettiin Liikennevirasto. Liikennevirasto ja ELY-keskukset ovat tienpidon vastuullisia viranomaisia. (Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus 2018a)

Teiden kunnossapito, rakentaminen ja parantaminen teetetään täysin yksityisillä palveluntuottajilla. ELY-keskukset tilaavat hoidon palveluntuottajilta, jotka valitaan kilpailuttamalla. Urakka-alueita on koko maassa 79. Alueurakkaan sisältyy talvihoito, sorateiden hoito, päällysteiden paikkaus, pientareiden niitto ja vesakonraivaus. ELY-keskukset määrittelevät urakkaan sisältyvät työt ja hoidon laatutason Liikenneviraston asettamien toimintalinjojen ja laatuvaatimusten perusteella. Toimintalinjojen tarkoitus on varmistaa samaan luokkaan kuuluvien teiden samanlainen hoidon taso maan eri osissa. Urakoitsija tekee hoidon valitsemillaan menetelmillä sekä hankkii kaluston ja materiaalit niin, että laatuvaatimukset saavutetaan. Hoitourakkaan kuuluu myös laatuvastuu ja raportointi ELY-keskukselle. ELY-keskus valvoo urakkaa omalta osaltaan muun muassa työmaakokousten, pistokoetarkastusten, auditointien sekä katselmusten avulla. (Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus 2018b)

Sorateilla hoidon laatuvaatimukset perustuvat soratieluokitukseen ja urakka-asiakirjoissa esitettyihin vaatimuksiin, jotka pohjautuvat Liikenneviraston asettamiin toimintalinjoihin ja laatuvaatimukseen. Käytännössä sorateita hoidetaan luokissa II ja III ja yksittäisiä sorateita luokassa I. Hoidon laatutasoa arvioidaan mittaamalla soratien pintakuntoa, mihin on esitetty ohjeet Tiehallinnon julkaisussa Sorateiden pintakunnon määrittäminen (Tiehallinto 2008b). Laatuvaatimukset on esitetty muun muassa Liikenneviraston ohjeessa Sorateiden kunnossapito sekä Maanteiden hoidon ja ylläpidon tuotekorteissa. Sorateiden pintakuntoa koskevat laatuvaatimukset eivät ole voimassa kelirikkoaikaan kelirikon pehmentämällä kohdilla ja tien ollessa lumi- tai jääpolanteella. (Liikennevirasto 2015; Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus 2018b)



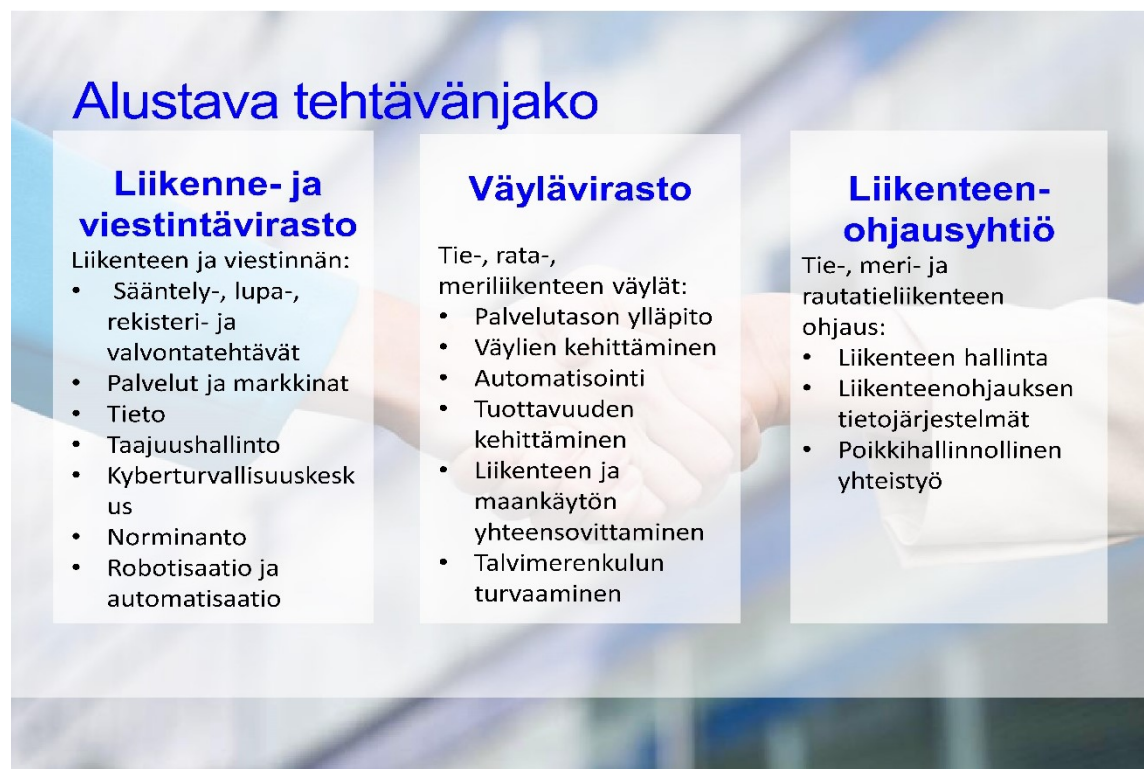
**Kuva 10.** Liikenneväylien korjausvelan jakautuminen vuonna 2017

Väyläomaisuuden korjausvelkaa raportoidaan vuosittain. Korjausvelka tarkoittaa sitä rahasummaa, jolla väyläverkko saataisiin nykytarpeita vastaavaan kuntoon. Kuva 10 esittää korjausvelan

jakautumisen väylätyypeittäin valtion hallinnoimalla väyläverkolla. Koko väyläomaisuuden korjausvelka oli vuoden 2017 alussa 2 473 miljoonaa euroa. Maanteiden osuus tästä summasta oli 1297 miljoonaa euroa. Edeltävään vuoteen verrattuna maanteiden korjausvelka kasvoi 15 miljoonaa euroa, kun rautateiden ja vesiväylien korjausvelat pienenivät 5 ja 4 miljoonalla eurolla. Maanteiden korjausvelasta linjaosuuksien osuus oli 1033 miljoonaa euroa, josta 137 miljoonaa euroa oli sorateiden pintakuntopuutteita. (Dietrich et al. 2017)

## 2.4.4 Muutosnäkymät vuodesta 2019 eteenpäin

Vuoden 2019 alussa toteutetaan Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan virastouudistus. Uudistus koskee Liikenteenturvallisuusvirasto Trafia, Viestintävirastoa sekä Liikennevirastoa. Uudistuksen tarkoituksena on muodostaa uusi viranomaiskokonaisuus Liikenne- ja viestintävirasto.



**Kuva 11.** Virastouudistuksessa tavoiteltava alustava tehtävänjako (Ilola et al. 2017).

Uudistuksen tavoitetila liikenteen ja viestinnän tehtävänjaolle on esitetty kuva 11. Uudistuksessa liikennealan sääntely- ja valvontatehtävistä vastaava Trafi, viestintäalan sääntely- ja valvontatehtävistä vastaava Viestintävirasto ja Liikenneviraston viranomaistehtävät yhdistetään Liikenne- ja viestintävirastoksi. Liikenneviraston liikenteenohjaustoiminnot yhtiöitetään valtion erityistehtäväyhtiöksi. Loput Liikenneviraston tehtävät muodostavat Väyläviraston. Virastouudistuksella tavoitellaan synergiaetuja, parempaa kykyä vastata digitalisaation, palveluistamisen ja robotisaation tuomiin muutoksiin toimintaympäristössä ja asiakastarpeissa sekä tuottavuuden parantamista. (Ilola et al. 2017)

2020-luvulle suunniteltu maakuntauudistus lakkauttaa ELY-keskukset ja Aluehallintovirastot. Pääosa niiden toiminnoista siirtyy uudistuksessa luotavan maakuntahallinnon alaisuuteen. Valtaosa nykyisten ELY-keskusten maantienpidon parissa työskentelevästä henkilöstöstä siirtyy maakuntien palvelukseen. Uusia maakuntia perustetaan 18 ja niissä päätöksiä tekevät vaalein valitut maakuntavaltuustot. Liikenteen valtakunnallisia (lupa)tehtäviä keskitetään Liikenne- ja viestintävirastoon (kuva 11). (Valtioneuvosto 2018a; Valtioneuvosto 2018b)

Lokakuussa 2019 alkavat hoitourakat toteutetaan uudella hoitourakkamallilla, joka perustuu pitkälti viime vuosina pilotoituun hoidonjohtourakkamalliin. Viimeisetkin hoidon ja ylläpidon alueurakat vaihtuvat uuteen malliin lokakuussa 2023. Uudella urakkamallilla tavoitellaan tuottavuuden kehittymistä hukan vähentämisellä, tyytyväisempiä tienkäyttäjiä, nopeampaa reagointikykyä muutoksiin, hoitoprosessien parempaa läpinäkyvyyttä ja hallittavuutta sekä yleistä osaamisen ja tietotaidon paranemista tilaajien, urakoitsijoiden ja alihankkijoiden keskuudessa. Urakoitsijan valintavaiheessa laadun painoarvo lisääntyy. Uusi urakkamalli lisää avoimuutta ja yhteistyötä urakoitsijan ja tilaajan välillä. Urakoitsija ja tilaaja ovat kaiken aikaa vuorovaikutuksessa. Uusi menettelytapa auttaa ratkaisemaan ja vähentämään ongelmallisia tilanteita. Lisääntynyt yhteistyö toki työllistää tilaajan virkamiehiä, mutta toisaalta valvonnan tarve vähenee. Niinpä kokonaistyömäärän ennakoidaan pysyvän samana. Suurena muutoksena on myös laskutuksen avoimuus, jolloin tilaaja tietää paljonko kukin alihankkija maksaa urakalle. (Elinkeino- ja ympäristökeskus 2017)

### 3. SULAN KAUDEN PINTAKELIRIKKO

Kulutuskerroksessa ilmeneviin ongelmiin on harvoin vain yhtä syytä, sillä pintakelirikkoa aiheuttavia tekijöitä on useita. Ongelmat ovat usein seurausta esimerkiksi mikroilmaston, kulutuskerrosmateriaalin ominaisuuksien ja kuivatuspuutteiden yhteisvaikutuksesta.

#### 3.1 Ilmastonmuutos ja sen vaikutus pintakelirikkoon

Pintakelirikon ilmenemisen kannalta oleelliset ennustetut muutokset Suomen ilmastossa ovat talvikauden leudontuminen ja lumisateiden muuttuminen vesisateiksi. Maa pysyy sulana nykyistä pitempään, mikä luo otolliset olosuhteet pintakelirikon synnylle. Jo nykyisellään Suomen lounaisrannikolla on lämpimien talvien aikaan jouduttu hoitamaan sorateita kesähoidon menetelmillä keskellä talvea. Vastaavien haasteiden odotetaan olevan edessä myös muualla Etelä-Suomessa. (Ruotoistenmäki et al. 2009)

Ruotoistenmäki *et al.* (2009) arvioivat kahden lämpimän talvikauden 2006–2007 sekä 2007–2008 vaikutuksia sorateiden ylläpidon tarpeeseen. Mittareina käytettiin kelirikon ja siitä aiheutuvien painorajoitusten määrää. Inventoidun runkokelirikon sekä siitä johtuvien painorajoitusten määrä oli laskenut aina kevääseen 2008 asti. Myönteinen kehitys oli seurausta sekä kelirikokorjauksiin kohdistetuista määrärahoista että suotuisasta säästä. Talvi 2007–2008 oli leuto ja runsassateinen, minkä seurauksena routaantuminen oli hidasta ja pohjavedenpinnat kohosivat. Tämä kaksinkertaisti inventoidun runkokelirikon määrän ja lähes kolminkertaisti painorajoitusten määrän. Kelirikon vakavuuteen vaikuttavat kuitenkin monet toisistaan riippumattomat tekijät, minkä takia kelirikon vakavuudessa on suuresti vaihtelua vuositasolla. Ilmastonmuutoksen kuitenkin arvioidaan lisäävän syysateita ja siten kevään kelirikkojen sekä merkittävästi syyskauden kelirikkojen määrää. (Ruotoistenmäki et al. 2009)

Ilmastonmuutoksen seurauksena myös kesät tulevat olemaan lämpimämpiä, jolloin pölynsidontatarve kasvaa. Kesäkauden pidentymisen ja talvien leudontumisen seurauksena sorateiden pinnat pysyvät sulina nykyistä pitempään. Tämä kasvattaa hoidon merkitystä sorateiden pintakunnon säilyttämisessä. Ilmastonmuutoksen seurauksena lisääntyvän hoito- ja ylläpitotarpeen kustannusten arvioidaan olevan luokkaa 5–10 M€ vuodessa. (Ruotoistenmäki et al. 2009)

#### 3.2 Imupaineteoria

Tierakenne on avoin termodynaaminen systeemi, joka on vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa. Rakenne voi vaihtaa ympäristönsä kanssa sekä materiaalia – esimerkiksi vettä – että energiaa. Systeemi on termodynaamisessa tasapainossa, jos se on tasapainossa mekaanisesti, kemiallisesti ja lämpötilan suhteen. Koska tiehen vaikuttaa vaihtelevasti muun muassa ympäristön lämpötila, auringon säteily, pohjaveden tason vaihtelu, sateet ja lumisateet sekä liikennekuormitus, ei sen voida katsoa olevan termodynaamisesti tasapainossa. Siksi on tärkeää, että

termodynamiikka huomioidaan, kun tutkitaan tien kunnon kausittaista vaihtelua. (Saarenketo & Aho 2005)

Systeemi kuitenkin pyrkii aina kohti termodynaamista tasapainoa. Tierakenteen termodynaamista epätasapainoa korjaavana elementtinä toimii pääasiassa vesi, joka myös aiheuttaa suurimman osan tien vaurioista. Tierakenteessa ja pohjamaassa oleva vesi voidaan jakaa kolmeen luokkaan. Nämä ovat adsorptiovesi eli hygroskooppinen vesi, viskoosinen vesi eli kapillaarivesi ja vapaa vesi. Näistä materiaalin huokosissa liikkuva vapaan veden määrä vaikuttaa materiaalin mekaaniseen käyttäytymiseen. Mittaamalla materiaalin dielektrisyttä voidaan arvioida vapaan veden määrää materiaalissa. Dielektrisyttä käsitellään tarkemmin luvussa 4.3.3. (Saarenketo & Aho 2005)

Kaikkein tärkeimmät sitomattoman materiaalin mekaanisen käyttäytymiseen vaikuttavat imupaineet ovat matriisi-imupaine, osmoottinen imupaine sekä kylmillä alueilla esiintyvä jäätymissupaine (*cryo-suction*). Näistä kahden ensimmäisen summaa kutsutaan kokonaisimupaineeksi ja se kuvaa energiaa, joka vaaditaan vapaan veden irrottamiseksi. Matriisi-imupaineeseen vaikuttavat pääasiassa materiaalin huokosluku, huokosten koko ja hienoainespitoisuus. Osmoottista imupainetta säätelee puolestaan ioniyhdisteiden määrä. Imupaineominaisuudet muodostavat voimia maapartikkelien välille huokosvedessä, ja siten parantavat soratien kulutuskerroksen kuormituskestävyyttä. Kun materiaalin vesipitoisuus kasvaa, samalla heikkenevät myöskin materiaalin imupaineominaisuudet. Riittävän suuressa vesipitoisuudessa esimerkiksi soratien kulutuskerros muuttuu plastiseksi. Suuri matriisi-imupaine siis lisää materiaalin pintakelirikkoherkkyyttä, mutta toisaalta liian alhainen matriisi-imupaine heikentää koossapysyvyyttä ja altistaa pölyämislle. Pölyämistä voidaan torjua lisäämällä tien kulutuskerrokseen suolaa, joka kasvattaa materiaalin osmoottista imupainetta. Osmoottisen imupaineen kasvu kuitenkin nostaa kokonaisimupainetta, mikä lisää kulutuskerroksen pintakelirikkoherkkyyttä. Materiaalin imupaineominaisuuksia voidaan arvioida Tube suction -testillä, jota käsitellään luvussa 4.3.3. (Fredlund & Rahardjo 1993; Saarenketo & Aho 2005; Pylkkänen & Nurmikolu 2015)

### 3.3 Pintakelirikon luokittelu ja inventointi

Tässä kappaleessa esitetään pintakelirikon inventoinnissa huomioitavat seikat sekä perehdytään joukkoistetun tiedontuotannon mahdollisuuksiin soratieverkolla. Tällä hetkellä sorateiltä inventoidaan runkokelirikko kerran vuodessa. Inventoinnin tekee laadunvalvontakonsultti, jolta edellytetään teknistä koulutusta ja perehtyneisyyttä kunnossapitoon. Inventointi pyritään ajoittamaan keväällä runkokelirikon oletettavasti pahimpaan vaiheeseen. Menetelmän heikkoutena on, että inventointi tehdään vain kerran, jolloin ajankohdalla on suuri vaikutus havaintoihin. (Lipponen 2018)

#### 3.3.1 Pintakelirikon luokittelu

Kattavan inventoinnin avulla olisi mahdollista saada tietoa siitä, kuinka laajasti ja pahasti pintakelirikkoa esiintyy alueellisesti ja ajallisesti. Sekä pinta- että runkokelirikoinventointien tulokset ovat herkkiä inventointiajankohdalle. Todellista kuvaa pintakelirikko-ongelman vakavuudesta ei

voida muodostaa yksittäisen inventointijakson, saati yksittäisen inventoinnin perusteella. Päätelmät inventointien oikeellisuudesta ja tarkkuudesta vaativat luonteeltaan jatkuvaa inventointidataa useamman vuoden pintakelirikkokausilta sekä inventointiajankohdan sääolosuhteista. Pintakelirikkoselvityksessä (Rantanen et al. 2008) esitetty pintakelirikon kolmiportainen luokittelu on kuvattu alla.

#### *Luokka 1. Erittäin paha*

Tien pinta on pehmennyt yli 80 mm syvyydelle (kuva 12). Tienkäyttäjää joutuu harkitsemaan, onko kulku mahdollista. Ajolinjat on valittava tarkkaan, sillä auton ohjaaminen tuntuu vaikealta ja tie liukkaalta. Auton pohja saattaa ottaa tiehen kiinni.



**Kuva 12.** Pintakelirikkoa etelä-Pohjanmaalla (kuva: Anders Östergård).

#### *Luokka 2. Paha*

Tien pinta on pehmennyt 30–80 mm syvyydelle (kuva 13). Pehmenemisen takia ajonopeutta joudutaan laskemaan huomattavasti ja ajolinjoja joudutaan hakemaan. Auton ohjaaminen on hankalaa.



**Kuva 13.** Pintakelirikkoa maantiellä 17353 (Rantanen et al. 2008).

*Luokka 3. Lievä*

Tien pinta on pehmennyt 10–30 mm syvyydelle (kuva 14). Ajonopeutta joudutaan hieman laskemaan ja ajoneuvo saattaa ohjautua tai huojua hieman.



**Kuva 14.** Lievää pintakelirikkoa maantiellä 17639 (Rantanen et al. 2008).



Inventointi on suositeltavaa tehdä syksyllä, jotta voidaan varmistua kyseessä olevan sulan kauden pintakelirikko. Alustavaa inventointia voidaan tehdä myös runkokelirikoinventoinnin yhteydessä, mutta tällöin tulee tehdä kohdennettuja tarkastuskäyntejä syksyllä. Inventoinnin yhteydessä on syytä kirjata kokonaisvaltaisia havaintoja tien tilasta, kuten poikkileikkaus- ja kuivatuspuutteista. (Rantanen et al. 2008)

### **3.3.2 Automatisoitu sorateiden pintakunnon inventointi ja seuranta**

Liikennevirasto pilotoi sorateiden kantavuutta mittaavan ja kuormituskestävyyttä ennustavan järjestelmän toimivuutta yhteistyössä Postin kanssa. Postin jakeluautoihin asennettiin eri laite-toimittajien mittalaitteita, jotka mittasivat sivuttaiskiiltovyökyä tien kantavuuden arvioimiseksi. Kantavuusdata yhdistettiin Klimatorin laatimiin säämalleihin. Jakeluautoihin asennettiin myös älypuhelimia, joiden tuottama videokuva-aineisto lähetettiin langattomasti palvelimelle. Palvelimella järjestelmä tunnisti aineistosta sille opetetut muuttujat, kuten kuopat ja tienpinnan epätasaisuudet. Postin jakeluautot kulkivat säännöllisiä ja ennalta määrättyjä reittejä, jolloin saatiin suuri määrä jatkuvaa dataa. (Liikennevirasto 2017)

Tuloksia tarkasteltaessa havaittiin, että eri toimijoiden pintakelirikkohavainnot osuivat usein samoihin kohtiin toistensa kanssa, mutta esimerkiksi pintakelirikon luokittelussa ja tulosten esitystarkkuudessa oli eroja. Laitteistojen tekemien pintakelirikkohavaintojen pohjalta tehtiin maastokäyntejä tulosten tarkkuuden selvittämiseksi. Havaittiin, että osa laitteistojen tekemistä pintakelirikkohavainnoista oli luokiteltu pahemmiksi kuin ne todellisuudessa olivat. Osa laitteistoista oli myöskin rekisteröinyt kuoppia pintakelirikoksi. (Liikennevirasto 2017)

Osaan jakeluautoista asennettiin myös painonapit, joilla kuljettajat raportoivat omia havaintojaan pintakelirikosta. Menettely havaittiin käyttökelpoiseksi eikä se häirinnyt kuljettajan työskentelyä. Ongelmalliseksi todettiin kuitenkin tuotetun tiedon subjektiivisuus, jolloin tiestön tilasta tuotettu tieto ei ole välttämättä tasalaatuista. Sama ongelma toki koskee myös perinteistä, vaikkakin asiantuntijatyönä tehtävää tapaa inventoida esimerkiksi runkokelirikkoa. (Liikennevirasto 2017)

Pilotissa testattiin myös kuormituskestävyystiedon reaaliaikaista välittämistä puutavarakuljetusautoihin asennettuihin ajoneuvopäätteisiin. Puutavarakuljetusryityksille tarjottiin myös mahdollisuus tarkastella kuormituskestävyyssennusteita ja suunnitella reitit ja kuljetukset etukäteen. Ajantasainen ja kartalla esitetty painorajoitustieto koettiin kuljettajien keskuudessa hyväksi etenkin vieraalla alueella liikuttaessa. Älypuhelimilla tuotetun videokuvan ja siitä prosessoidun mittausaineiston todettiin hyödyttävän sekä aluevastaavien että urakoitsijoiden työtä. Mikäli videokuvaaminen ulkoistettaisiin säännöllisesti samoja reittejä kulkeville ajoneuvoille, voitaisiin maastokäynnit kohdentaa paremmin videokuvalla havaittuihin ongelmakohtiin. Automatisoidut ja ihmisestä riippumattomat mittausmenetelmät voisivat olla tulevaisuuden keino kerätä jatkuvaa ja tasalaatuista tietoa. Kvantunnistusta tulee kuitenkin vielä opettaa ohjelmistoille, jotta ne osaavat erottaa vauriot toisistaan sekä luokitella ne paremmin. (Liikennevirasto 2017)

### 3.3.3 Maitotiepilotti

Maitotiepilottissa hyödynnetään maitoautoja olosuhdetiedon tuottajina. Havainnointi ei ole kuitenkaan automatisoitua, vaan perustuu maitoauton kuljettajan tekemiin havaintoihin. Maitotiepilottin tavoitteena on tuottaa tietoa poikkeavista tilanteista tiestöllä. Näin ollen kuljettaja ei raportoi esimerkiksi sorateiden pintakelirikosta, koska se on tyypillisesti tiestöllä vallitseva tila. Pilotissa mukana olevien autojen tuulilasilla on kamera, joka on päällä auton käydessä. Kamera kuvaa kaiken aikaa, mutta kuvat tallennetaan vain, jos kuljettaja haluaa tehdä havainnon. Napia painamalla laite tallentaa 15 kuvaa ennen ja jälkeen painalluksen. Kuljettaja pystyy tekemään tien kuntoraportin muutamalla painalluksella esimerkiksi kuorman purun aikana. Raporttiin hän kuvailee ongelman ja valitsee 30 kuvasta 1–5 parasta. Tieto välittyy tieliikennekeskuksen kautta HARJAan ja edelleen HARJA-viestinä urakan työnjohdolle ja aluevastaaville. (Lappalainen 2018a; Lappalainen 2018b)

Kokemukset pilotista ovat positiivisia. Palautteiden on koettu olevan asianmukaisia, tarpeellisia ja antavan tienpitäjälle ja urakoitsijalle tärkeää tietoa vähäliikenteisen tieverkon kunnosta. Järjestelmä on tuotannollisessa toiminnassa ja ilmoitusketju maitoauton kuljettajalta urakoitsijalle on havaittu varsin toimivaksi. Kuljettajien palautteet erottuvat selkeästi massasta, sillä he liikkuvat laajalla alueella ja siten ovat perillä soratieverkon vallitsevasta tilasta. Myös kuljettajat ovat suhtautuneet pilottiin positiivisesti alkuvaiheen skeptisyyttä lukuun ottamatta. Kuljettajien käytössä oleva työkalu välittää tiedon poikkeuksesta myöskin muille Valion kuljettajille ja toisaalta nopeuttaa poikkeaman korjausta, joten kuljettajat ovat kokeneet pilotista olevan käytännön hyötyä. (Lappalainen 2018a; Lappalainen 2018b)

Pilotti ei ole aiheuttanut tienpitäjälle merkittäviä lisäkustannuksia, sillä ainoa kiinteä kustannus on kameran hankinta. Toimintamalli on myöskin tarvittaessa monistettavissa ja siirrettävissä kennelle tahansa toimijalle. Suurin hyöty maitotiepilottin kaltaisesta järjestelmästä on äkillisissä tilanteissa. Inventointiin ja laajamittaiseen olosuhdetiedon keräämiseen se soveltuu huonosti, sillä se perustuu kuljettajan subjektiivisiin havaintoihin. (Lappalainen 2018a; Lappalainen 2018b)

## 3.4 Pintakelirikon ennaltaehkäisy ja hoito

Ensisijaisesti tulisi pyrkiä siihen, että pintakelirikkoo ennaltaehkäistään normaalein sorateiden hoitotoimenpitein. Toisinaan pintakelirikon vakavuus vaatii järeämpiä toimenpiteitä. Molempia näkökulmia käydään läpi seuraavissa alakappaleissa.

### 3.4.1 Ennaltaehkäisy hoidon menetelmillä

Pintakelirikkoo edistäviä tekijöitä ovat liian paksu kulutuskerros sekä liian pieni sivukaltevuus. Paksun kulutuskerroksen kuivuminen on hitaampaa, mutta toisaalta hyvä kosteudensitomiskyky vähentää pölyämistä. Pintakelirikkokorjauksia suunniteltaessa tulee huomioida, että ongelmaa ei välttämättä saada poistettua parhaimmallaan kulutuskerroksella, jos osasyllisenä ongelmaan on esimerkiksi pohjamaa, kuivatusjärjestelmä tai rakenne. Kulutuskerrokselta vaadittavat

ominaisuudet ovat osittain ristiriitaisia ja siksi kulutuskerroksen materiaalilta vaadittaville ominaisuuksille ei voida asettaa yksiselitteisiä vaatimuksia. Sorastuksen suunnittelussa tulisikin käyttää tapauskohtaista harkintaa. Riittävä sivukaltevuus ja toimiva kuivatusjärjestelmä ovat olennaisia myös muiden vaurioiden torjunnassa. Rantanen *et al.* (2008) esittävät pintakelirikon ennaltaehkäisyyn kolmiportaista mallia:

1. sorastusmateriaalin valinta teknisten ominaisuuksien perusteella
2. kuivatuksen kunnostaminen
3. tien poikkileikkauksen kunnostaminen
  - a. reunapalteiden poisto
  - b. tien kaventaminen (leveys korkeintaan 6,5 m)
  - c. sivukaltevuuden korjaaminen vähintään 4–5 %.

Sorastusmateriaalin pintakelirikkoherkkyyteen vaikuttavia ominaisuuksia on käsitelty kappa-leessa 4.3. Kulutuskerrosmateriaalia lisättäessä tulee huomioida tien nykyisen kulutuskerroksen rakeisuus sekä lisättävän materiaalin mahdollinen hienoneminen. Pintakelirikkoisille teille suositellaan käytettäväksi sorastusmurskeen ohjealuetta (kuva 16 ja kuva 17) vähemmän hienoainesta sisältävää kulutuskerrosmurskettä. Sopiva ohjealue rakeisuudelle on esimerkiksi asfalttinormien 2011 mukainen PAB-V 0/16 murskeen ohjealue (kuva 18). Lisättävän sorastusmurskeen suhteittamista nykyisestä kulutuskerroksesta otettavien näytteiden perusteella tulee myös harkita. Suhteittamalla valmiin kulutuskerroksen rakeisuuskäyrä ohjealueiden mukaisesti voidaan torjua sekä pintakelirikkoisuutta että irtosoraisuutta ja pölyämistä. (Liikennevirasto 2014)

Reunapalteiden poisto on osa kuivatuksen kunnostamista. Kuljetus- ja työkustannuksissa säästämiseksi voidaan harkita reunapalteen siirtämistä takaisin kulutuskerrokseen. Ennen toimenpidettä tulee kuitenkin varmistua, ettei reunapalteessa ole liikaa humusta tai hienoainesta, jotka kulutuskerrokseen sekoitettuna lisäävät pintakelirikkoherkkyyttä. Kulutuskerrokseen sopimaton reunapalle tulee joko kuljettaa läjitykseen tai jalostaa sopivaksi. Jalostaminen tehdään lisäämällä karkeampaa kulutuskerrosmateriaalia ja poistamalla kivet, orgaaninen aines ja muut epäpuhtaudet. Jalostamisen tarve vähenee, kun reunapalteen poisto tehdään säännöllisesti. (Liikennevirasto 2014)

Soratien kulutuskerrosta muokattaessa on tärkeää, että se muokkaustaso ylittää kuoppien pohjien tasolle asti. Muutoin kuopat alkavat helposti syntyä uudelleen. Muokkauksen jälkeen on tärkeää tiivistää kulutuskerros hyvin, sillä muutoin sorastusmateriaalia siirtyy reunapalteisiin ja ojiin liikenteen vaikutuksesta. Kulutuskerrosmateriaalin sekoittaminen ja siirto tien reunoilta keskelle edellyttää riittävän raskasta työkonetta sekä työhön soveltuvaa terää. Terällä tulee olla riittävä leikkausteho sekä säätömahdollisuudet mm. teräkulmalle ja poikkikallistukselle. Perinteisin ja parhaana pidetty kone kulutuskerroksen muokkaukseen on tiehöylä suuren massansa ja terän säätömahdollisuuksien takia. Tiehöylän lisäksi sorateiden kulutuskerroksen muokkaukseen käytetään myös raskaita traktorilanoja. (Liikennevirasto 2014)



**Kuva 15.** Hydraulinen polannelana tappiterällä ja tasaterillä (Soukkio 2018a).

Alusterällistä kuorma-autoa voidaan käyttää kulutuskerroksen pienimuotoisiin tasaustöihin, mutta raskaampaan muokkaukseen se ei sovellu. Kulutuskerroksen muokkaukseen suositellaan käytettäväksi tasaterien sijaan ns. tappiteriä (kuva 15) sillä tappiterällä on parhaat irrotus- ja leikkausominaisuudet. Tappiterä kuluu tasaisesti kauttaaltaan ja jättää uraisen leikkauspinnan, johon irronnut kulutuskerrosmateriaali asettuu paremmin paikalleen. Tasaterää voidaan käyttää kevyissä kesäajan muokkauksissa. Tasaterä kuluu epätasaisesti. Pahasti keskeltä kulunut tasaterä leikkaa reunoilta liian syvältä ja keskiosa raapii tien pintaa vain ohuelti. Ohjeet terien valintaan sekä oikeaoppiset menetelmät traktorilamalla ja tiehöylällä tehtävään kulutuskerroksen muokkaukseen on esitetty Liikenneviraston ohjeessa Sorateiden kunnossapito. (Liikennevirasto 2014)

### 3.4.2 Korjausmenetelmät

Ennen korjaustoimenpiteisiin ryhtymistä on tärkeää varmistaa, että ongelmana on ainoastaan pintakelirikko eikä esimerkiksi rakennekelirikko tai kuivatusperäinen ongelma. Lisäksi tulisi tarkastella myös soratien rakenteen kuormituskestävyyttä suhteessa kuormitukseen ja rakenteen toimivuutta kokonaisuutena. Tulee tarkistaa, että tien sivu- ja pituuskaltevuudet ovat riittävät soratien pinnan kuivattamiseksi. Oikean ja kustannustehokkaan korjausmenetelmän valinnan kannalta on ensiarvoisen tärkeää luokitella pintakelirikko luvun 3.3.1 mukaisesti ja selvittää ongelman aiheuttaja. Alla on esitetty korjausmenetelmät Rantanen *et al.* (2008) mukaan:

### *Luokka 1 – erittäin paha pintakelirikko*

Kulutuserros tulee uusia kokonaan hyvälaatuisella murskeella. Vanha kulutuserros poistetaan ja korvataan hyvälaatuisella murskeella. Sorastusmurskeelta vaadittavia ominaisuuksia käsitellään luvussa 4. Vaihtoehtoisesti osa vanhasta kulutuserroksesta jätetään ja siihen sekoitetaan hyvälaatuista mursketta. Mikäli heikkolaatuinen kulutuserros on paksu (yli 150 mm), tulee ainakin osa vanhasta kulutuserroksesta poistaa ennen uuden ja hyvälaatuisen kulutuserros-materiaalin lisäämistä.

### *Luokka 2 – paha pintakelirikko*

Kulutuserroksen laatua voidaan parantaa esimerkiksi sekoittamalla vanhaan kulutuserrokseen hyvälaatuista sorastusmursketta. Mikäli ongelman aiheuttaa liian hienoainespitoinen kulutuserros, voidaan rakeisuutta parantaa lisäämällä rakeisuudeltaan karkeampaa mursketta.

### *Luokka 3 – lievä pintakelirikko*

Kulutuserroksen laatua voidaan tarvittaessa parantaa lisäämällä hyvälaatuista mursketta vanhan kulutuserroksen pinnalle.

Kaikissa esitetyissä toimenpiteissä on tärkeää, että valmiiseen kulutuserrokseen saadaan riittävä sivukaltevuus. Pinta tulee tiivistää ja tasoittaa hyvin materiaalihävikin vähentämiseksi. Korjaussuunnittelussa tulee huomioida soratien kunnon tila kokonaisvaltaisesti. Lähtökohtaisesti hyvälaatuisenkaan sorastusmurskeen lisäyksellä ei saavuteta merkittäviä hyötyjä pintakelirikon torjumiseksi, jos tien pintakuivatus ei toimi ja sorastusta ei viimeistellä huolella.

## 4. SORASTUS

Soratien kulutuskerrokselle asetettavat laatuvaatimukset määräytyvät ajomukavuudelle, liiketurvallisuudelle, kuormituskestävyydelle ja pintakunnolle asetettavien tavoitteiden mukaan. Kulutuskerroksen tehtävä on pitää tienpinta mahdollisimman tasaisena ja kiinteänä. Valmiin kulutuskerroksen laatuun voidaan vaikuttaa parhaiten sorastusmateriaalin oikealla valinnalla ja kulutuskerrosta muokkaavilla toimenpiteillä.

### 4.1 Muokkaus ja sorastus

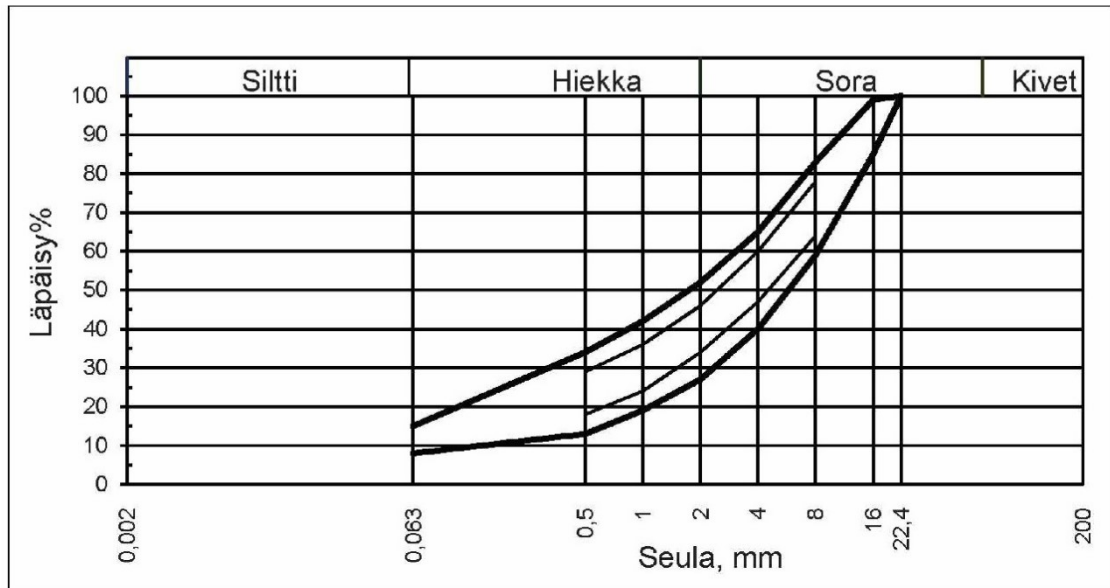
Kulutuskerroksen materiaaliominaisuudet muuttuvat, kun liikennesäätö ja luonnonvoimat aiheuttavat materiaalihävikkiä ja hienonemista. Sorastuksella varmistetaan kulutuskerroksen riittävän paksuuden ja ohjeiden mukaisen rakeisuuden säilyminen. Rakennetuilla sorateilla tavoiteltava kulutuskerroksen paksuus on 100 mm, sillä ne ovat tyypillisesti rungotaan kuivia. Rakentamattomille sorateille riittävä kulutuskerroksen paksuus on 50 mm. Rakentamattomissa sorateissa ei välttämättä ole kapillaarista nousua katkaisevaa rakennekerrosta, joten paksu kulutuskerros lisää pintakelirikon riskiä. Sorastus sekä muokkaukset ja tasaukset tulee tehdä silloin, kun kulutuskerros on sula ja optimaalisessa kosteudessa. Vääränä ajankohtana tai ohjeistusten vastaisesti tehty sorastus saa aikaan löyhän murskekerroksen, joka ei sekoitu olemassa olevaan kulutuskerrokseen. (Liikennevirasto 2014; Liikennevirasto 2015)

Lisättävä materiaali tulee levittää oikeaan poikkileikkausmuotoon höylätylle irtonaiselle pinnalle. Levitetty materiaali sekoitetaan olemassa olevaan kulutuskerrokseen ja tiivistetään huolellisesti. Näillä toimenpiteillä lisättävän sorastusmateriaalin hävikki pienenee olennaisesti. Irtonainen kulutuskerrosmateriaali päättyy lumenaurauksen ja tieliikenteen vaikutuksesta tien sivuun, jolloin materiaalihävikki kasvaa ja työn kustannuksen ja laadun suhde heikkenee. Kulutuskerroksen materiaalivalinnassa tulee pyrkiä siihen, että sorastusmateriaalissa on riittävästi sitovia komponentteja, kuten hienoainesta. Kulutuskerros ei saa kulua liian nopeasti vaan sen tulee säilyä kiinteänä ja tasaisena. Kulutuskerros ei saa myöskään liettyä sateella. (Rantanen et al. 2005; Liikennevirasto 2015)

Sorastus tulee tehdä kulutuskerroksen ollessa sopivan kostea, jotta sorastusmateriaali tarttuu hyvin irrotettuun pintaan. Liian kovaksi kuivunut kulutuskerros irtoaa huonommin ja lisää terien kulumista. Kulutuskerrosta voidaan pehmentää kastelemalla, mutta tämä lisää kustannuksia huomattavasti. Ohjeiden mukaisen valmiin kulutuskerroksen saavuttamiseksi tulee selvittää olemassa olevan kulutuskerroksen rakeisuus ja paksuus. Selvittämällä kulutuskerroksen ominaisuudet voidaan sorastukset suunnitella ja kohdistaa tieosittain, jolloin kustannusten ja laadun suhde paranee. (Liikennevirasto 2014; Liikennevirasto 2015)

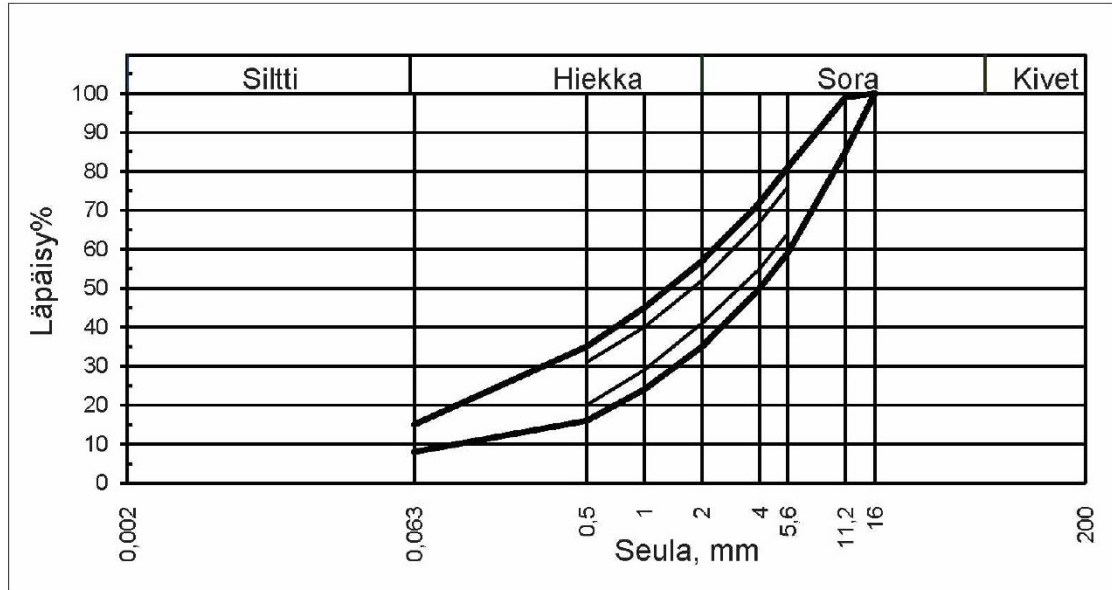
Käytettävien sorastusmateriaalien laatuvaatimukset on esitetty Maanteiden hoidon ja ylläpidon tuotekorteissa sekä Liikenneviraston ohjeessa Sorateiden kunnossapito (Liikennevirasto 2014; Liikennevirasto 2015). Sorastusmateriaalin hankkii urakoitsija ja se tulee hyväksyttäväksi tilaajalla.

Tuotekorttien mukaan sorastusmateriaaleista tulee esittää murskaustöiden aikainen laadunvalvontaraportti tai tulokset kasanäytteistä. Sorastusmateriaalin tulee olla murskattua ja maksimi-raekoko on 16 tai 11 mm. Kulutuskerrosmateriaalin rakeisuuskäyrän muoto vaikuttaa pakkautumisominaisuuksiin. Rakeisuuden ohjealue 0/16 murskeelle on esitetty kuva 16 ja 0/11 murskeelle kuva 17.



0/16 murskeen ohjeseulojen läpäisyprosentit				
Keskiarvot Sisemmät rakeisuuskäyrät			Yksittäiset tulokset Uloimmat rakeisuuskäyrät	
Seulat mm	Alaraja	Yläraja	Alaraja	Yläraja
22,4			100	100
16			85	99
8	64	78	59	83
4	47	60	40	65
2	34	46	27	52
1	24	36	19	42
0,5	18	29	13	34
0,063			8	15

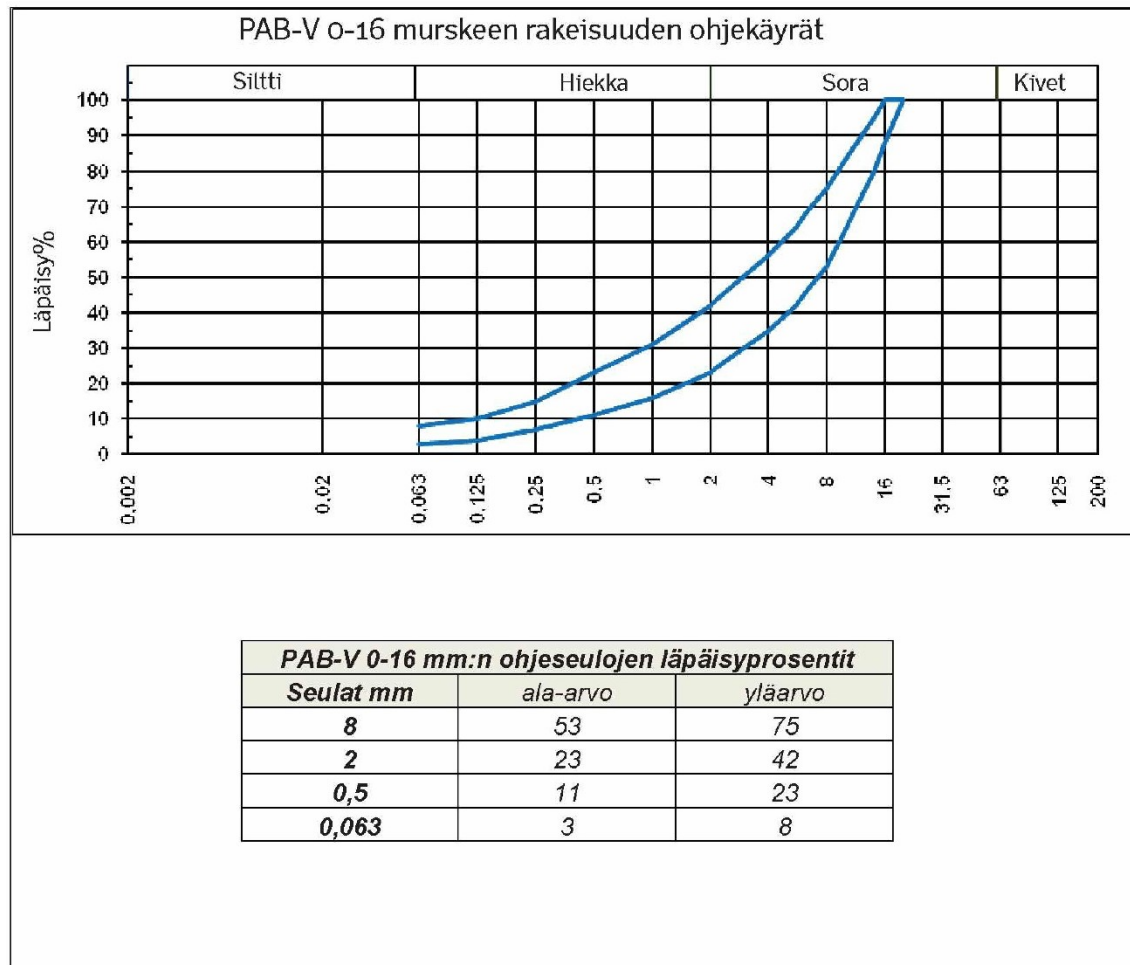
**Kuva 16.** Sorastusmurskeen 0/16 rakeisuuden ohjealue (Liikennevirasto 2014).



0/11 murskeen ohjeseulojen läpäisyprosentit				
Keskiarvot Sisemmät rakeisuuskäyrät			Yksittäiset tulokset Uloimmat rakeisuuskäyrät	
Seulat mm	Alaraja	Yläraja	Alaraja	Yläraja
16			100	100
11,2			85	99
5,6	64	76	59	81
4	55	67	50	72
2	41	52	35	57
1	29	40	24	45
0,5	20	31	16	35
0,063			8	15

**Kuva 17.** Sorastusmurskeen 0/11 rakeisuuden ohjealue (Liikennevirasto 2014).





**Kuva 18.** Asfalttinormien 2011 mukaisen PAB-V 0/16 murskeen rakeisuuden ohjealue (Liikennevirasto 2014).

Sekä 0/16 että 0/11 kulutuskerrosmateriaaleille hienoaineksen eli 0,063 mm seulan läpäisevän materiaalin osuuden tulisi olla 8–15 %. Liian alhainen hienoaineksen määrä jättää kulutuskerrokseen tyhjätillaa. Tällöin rakeita toisiinsa sitova koheesio jää heikommaksi ja kulutuskerroksesta tulee irtonainen. Liian suuri hienoaineksen määrä taas kasvattaa kosteustilaherkkyttä (luku 3.2). Jos soratien tiedetään kärsivän pintakelirikosta, voidaan sen sorastukseen esittää käytettäväksi kuva 18 mukaista PAB-V 0/16 mursketta. Tämä murske on kuva 16 ja kuva 17 mukaista mursketta karkeampaa, sillä se sisältää hienoainesta 3–8 %. (Liikennevirasto 2014)

#### *Havaintoja sorastuksen nykytilasta*

Osana Väylärakenteiden valtakunnallista kiviaines- ja geosynteettitutkimusta tutkittiin myös sorateiden kulutuskerrosmateriaaleja sekä valmiista kulutuskerroksista että kasoilta otetuista näytteistä. Kulutuskerroksista otettiin näytteet välittömästi sorastuksen jälkeen. Useassa tapauksessa tielle levitetyn sorastusmurskeen laatudokumentteja ei ollut saatavilla. Osalla tutkituista kohteista havaittiin myös puutteita pinnan tiivistyksessä, muokkauksessa ja homogeenisoinnissa, mikä osaltaan oli aiheuttanut materiaalihävikkiä. Sorastettaessa vähäliikenteisiä teitä

tiivistäminen todettiin tärkeäksi, sillä tienpinta tiivistyy liikenteen vaikutuksesta hitaasti. Huonosti tiivistyneen kulutuskerroksen elinkaari lyhenee selvästi, jos kosteusolosuhteet muuttuvat merkittävästi suuntaan tai toiseen. (Kalliainen et al. 2018)

Kulutuskerrostutkimuksessa otettiin näytteitä 21 eri soratieltä 11 eri alueurakalta. Lopputuotteen laadun havaittiin vaihtelevan melko paljon. Noin puolessa tutkituista kohteista oli saavutettu vaatimusten mukainen lopputulos. Tielle levitetyn sorastusmateriaalin raportoitiin tyypillisesti olevan ohjealuetta karkearakeisempaa. Lopullisen kulutuskerroksen materiaalin havaittiin kuitenkin olevan lähellä kuva 16 ja kuva 17 ohjealueen rakeisuutta. Tien pintaan sitoutuva materiaali siis pyrkii voimassa olevalle ohjealueelle materiaalihävikin seurauksena. Havainnon perusteella todettiin nykyisen rakeisuusvaatimuksen olevan perusteltu ja ohjealuetta karkeamman sorastusmateriaalin aiheuttavan materiaalihävikkiä ja siten lisäkustannuksia. (Kalliainen et al. 2018)

Sorastamisessa havaittiin eroja eri alueurakoiden välillä. Osalla urakoista pyrittiin selkeästi joko valitsemaan oikeanlainen materiaali kohteen mukaan tai valmistamaan ohjealueen mukaista mursketta. Tyypillisesti näillä alueurakoilla myös muokkaus- ja tiivistystoimenpiteet hoidettiin ohjeistuksien mukaan. Osalla urakoista taas havaittiin sorastamisen tapahtuvan levittämällä murske ilman muokkaustoimenpiteitä, mikä lyhentää kulutuskerroksen elinkaarta. Myös laatu-dokumenttien raportoinnissa havaittiin puutteita. Sorastusta käsittelevissä ohjeissa, vaatimuksissa ja koulutuksessa tulee siis edelleen korostaa työn huolellisuutta, suunnitelmallisuutta sekä laadun varmistamista ja osoittamista. (Kalliainen et al. 2018)

## 4.2 Materiaalit

### *Kalliomurske*

Kalliosta valmistetun kulutuskerrosmurskeen hienoainesmäärä on riippuvainen kivilajista ja sen lujuudesta. Tyypillisesti murskauslaitoksesta saatavan murskeen hienoainespitoisuus on liian alhainen kulutuskerroksen vaatimukseen nähden. Hienoainespitoisuutta voidaan nostaa sekoittamalla murskattavaan kiviainekseen esimerkiksi savea tai seulomalla 2–8 mm lajitetta pois. (Liikennevirasto 2014)

### *Luonnonsora*

Luonnonsoraa on käytetty kulutuskerrosmateriaalina seulottuna, murskattuna ja kalliomurskeen sekoitettuna. Seulotun luonnonsoran hävikki on perinteisistä sorastusmateriaaleista suurin, sillä pyöristyneet rakeet kiinnittyvät kulutuskerrokseen terävasärmäisiä huonommin. Soran käyttö on vähentynyt suojelutoimenpiteiden ja pidentyneiden kuljetusmatkojen vuoksi. (Rantanen et al. 2005; Pylkkänen 2005)

### *Moreenimurske*

Suomen yleisin maalaji on moreeni. Moreenia esiintyy ympäri maata, ja se on parhaimmillaan erittäin pitkäikäinen ja hyvin kuormitusta kestävä materiaali. Sen laatua kuitenkin heikentävät

suuret kivet ja korkeahko hienoainespitoisuus, joka voi aiheuttaa olosuhdeherkkyyttä. Moreeni-murskeen on todettu soveltuvan hyvin kuivarunkoisille teille hienoainespitoisuutensa takia. Samoista syistä se ei kuitenkaan sovellu pintakelirikosta kärsiville teille. Moreenia voidaan käsitellä seulomalla, murskaamalla, pesemällä ja sekoittamalla lisämateriaalia. (Salmenkaita 1993)

#### *Muut sorastusmateriaalit*

Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa -ohjeessa suositetaan, että sivutuotteita ei käytetä soratien kulutuskerroksessa erikseen arvioituja poikkeustapauksia lukuun ottamatta. Suosituksen perusteena on sivutuotteiden pölyämisen riski. Sorateiden kunnossapito -ohjeessa ei oteta kantaa uusiomateriaalien käyttöön. Torniainen (2017) ottaa diplomityössään tarkemmin kantaa uusiomateriaalien käytön ohjeistuksen päivitystarpeisiin tierakentamisessa yleensä. Vaihtoehtoisten materiaalien käytöstä nimenomaan sorastukseen ei löydy juurikaan dokumentoitua tietoa. Kulutuskerroksen käsittelyyn niitä on käytetty enemmän.

#### *Käsittelyaineet*

Sorateiden kulutuskerroksen käsittelyä on myös kokeiltu erilaisilla teollisuuden sivutuotteilla. Tavoitteena on yleensä ollut parantaa kulutuskerroksen hydrofobisuutta tai kiinteyttä. Kulutuskerroksen käsittelyyn on kokeiltu ainakin erilaisia tuhkia, sammutettua kalkkia, puujauhoa, kuitusavea ja suotokakkua, mutta uusiomateriaalien rooli sorateiden hoidossa ei ole vakiintunut. (Peltonen 2003; Pyökkänen 2005; Valkeisenmäki et al. 2007; Pesonen 2012; Vuorimies 2017)

### **4.3 Pintakelirikkoherkkyyden indikaattorit**

Pääasiallinen pintakelirikkoherkkyyttä aiheuttava tekijä on kulutuskerroksen liian suuri hienoainespitoisuus. Kuten todettu luvussa 3.2, korkea hienoainespitoisuus lisää materiaalin matriisi-imupainetta. Pintakelirikkoherkälle soratielle tulee lisätä riittävän karkeaa sorastusmateriaalia. Rakeisuus vaikuttaa myös kulutuskerroksen tiivistymiseen sekä pölyämiseen, jotka ovat tien käyttäjän kannalta olennaisia tekijöitä. Aina pelkkä rakeisuuden tarkastelu ei riitä, sillä esimerkiksi Rantanen *et al.* (2008) toteavat sorastusmateriaalin mineraalikoostumuksen vaikuttavat murskeen käyttäytymiseen soratien kulutuskerroksessa. Myöskään tien sivukaltevuuksien merkitystä ei tule vähätellä, sillä tielle seisomaan jäävä vesi aiheuttaa suurella todennäköisyydellä joko pintakelirikkoa tai kulutuskerroksen reikiintymistä.

#### **4.3.1 Mineralogia**

Kivilajit muodostuvat kiteisessä muodossa esiintyvistä kemiallisista yhdisteistä eli mineraaleista. Kiven mineraalikoostumus vaikuttaa muun muassa sen rapautumisherkkyyteen ja lujuusominaisuuksiin. Rapautuminen tapahtuu kemiallisesti tai mekaanisesti. Kun kivi rapautuu, osa sen alkuaineista uuttuu pois. Osa alkuaineista jää paikalleen, jolloin ne rikastuvat suhteellisesti. Alkuperäisten mineraalien hajotessa syntyy uusia mikrokiteisiä savimineraaleja. Eri kivilajit ja niiden mineraalit laajenevat ja kutistuvat eri tavoin lämpötilan vaikutuksesta, joten niiden rapautumis-

käyttäytyminenkin vaihtelee. Soratien kulutuskerroksessa hienonemista aiheuttaa lämpötilavaihteluiden lisäksi tieliikenteen aiheuttama mekaaninen rasitus. Kivilajin lujuuteen vaikuttavat mineraalirakeiden koko sekä yhteenliittymistapa. Hienorakeiset, tiiviit ja lasimaiset kivilajit ovat karkea- ja suurirakeisia kivilajeja lujempia. Mineraalin lujuuden muodostaa atomien koko sekä varaus ja niiden määräämä hilarakenne. (Kauranne et al. 1972)

Varsinkin kiillepitoisten kiviainesten on havaittu olevan ongelmallisia ja hienonevan sitomattomissa rakennekerroksissa niin, että materiaali on muuttunut rakeisuudeltaan routivammaksi (Kauranne et al. 1972; Yliheikkilä 1998). Pylkkänen (2008) raportoi Hämeen ja Vaasan tiepiireissä tehdyn pintakelirikon syitä selvittäneen tutkimushankkeen tuloksista. Hankkeen materiaalitutkimuksissa määritettiin pintakelirikkoisten sorateiden kulutuskerroksen ja soratukseen käytettyjen kiviainesten mineraalikoostumus. Tyypillistä tutkituille kulutuskerrosnäytteille oli se, että ne sisälsivät biotiitti -kiillemineraalia vähintään 10 %. Biotiittiin saattaa liittyä rikastumisriski kiveä murskattaessa tai kiven hienontuessa soratien kulutuskerroksessa. Hämeen tiepiirissä käytetyssä sorastusmurskeessa KaM 0/16 todettiin olevan < 0,25 mm lajitteissa jopa 35–40 % biotiittia, kun vastaava luku lohkarista tehdyissä hieissä oli korkeintaan 20 %. Vastaava 35–40 % havaittiin Hämeen tiepiirillä olevan pintakelirikkoisen soratien kulutuskerroksesta otetusta näytteestä. (Pylkkänen 2008)

Miskovsky *et al.* (2004) tutkivat ruotsalaisten granitoidien mineraalikoostumuksen ja -rakenteen vaikutuksia kiviaineksen laatuun. Tutkimuksessa havaittiin, että kvartsin ja maasälvän osuuden kasvaessa kiviaineksen kyky vastustaa hiertävää kulutusta kasvaa. Havaittiin myös viitteitä siitä, että kiillepitoisuuden (biotitiitti, muskoviitti, kloriitti) noustessa kiviaineksen kulutuskestävyys heikkenee. Toisaalta kiillepitoisuuden kasvun havaittiin parantavan materiaalin iskunkestävyyttä, kun maasälpäpitoisuudella oli käänteinen vaikutus. Soratien kulutuskerrokseen kohdistuva rasitus on luonteeltaan hiertävää, joten tutkimustulokset tukevat Pylkkäsen (2008) löydöksiä. (Miskovsky et al. 2004)

### 4.3.2 Kloridipitoisuus

Suolauksella kasvatetaan kulutuskerroksen osmoottista imupainetta pölyämisen vähentämiseksi. Suolan käyttö pölynsidonassa perustuu sen hygroskooppisiin ominaisuuksiin, eli kykyyn sitoa kosteutta ilmasta ja ympäristöstä. Kosteus saa hienoaineksen pysymään paremmin paikallaan ja parantaa kulutuskerroksen koossapysyvyyttä. (Han 1992)

Kasvattamalla osmoottista imupainetta kasvatetaan myös kulutuskerroksen pintakelirikkoherkyyttä, joten on tärkeää arvioida suolaustoimenpiteen vaikutusaika. Kaarela (2003) tutki sadetuskokeella kloridipitoisuuden muutosta 30 päiväisen jakson ajan. Sadetettu sademäärä vastasi heinäkuun keskimääräistä sadantaa. Mitatulla ajanjaksolla kloridipitoisuus laski 10 prosenttiin alkuperäisestä pitoisuudesta. Kloridipohjaiset pölyntorjunta-aineet eivät hajoa vaan liukenevat pois rakenteesta sateen vaikutuksesta. Biohajoavien kaliumformiaatti-pohjaisten jäänsulatus- ja pölynsidonta-aineiden hajoamisaika on noin kolme viikkoa riippuen sääolosuhteista (Raukola 2018).

Teoriassa kulutuskerroksessa olevat kloridit voisivat aiheuttaa pintakelirikkoa, jos sää on ollut suolauksen jälkeen erittäin kuiva ja syksystä tulee sateinen. Saarenketo (2000) totesi tutkimuksessaan 500 mg/kg ylittävän kloridipitoisuuden olevan haitallinen soratien kulutuskerrokselle. Yli 2000 mg/kg ylittävä pitoisuus arvioitiin vaarallisen suureksi. Näin korkean suolapitoisuuden todettiin aiheuttavan osmoottisen imupaineen avulla kosteissa olosuhteissa rakenteen turpoamista ja liettymistä. Tutkimuksessa havaittiin myös korrelaatio korkean kloridipitoisuuden ja TS-arvon välillä. (Saarenketo 2000)

### **4.3.3 TS-arvo**

Imupainekoe (Tube Suction test, TST) kehitettiin kantavan kerroksen murskeiden vedenherkkyyden tutkimiseksi. Sitä voidaan käyttää myös kulutuskerroksen pintakelirikkoherkkyyden arvioinnissa. Testissä näyte tiivistetään muoviputkeen ja kuivataan. Putki asetetaan astiaan, jonka pohjalla on 10 mm vettä. Näytteeseen imeytyvän vapaan veden määrä mitataan dielektrisyyden avulla näytteen pinnalta. Dielektrisyys kuvaa maan huokostilassa olevan vapaan veden volymetristä määrää (Vuorimies et al. 2004). Dielektrisyysarvo kasvaa näytteen hienoainepitoisuuden ja siihen imeytyneen veden määrän kasvaessa. Testistä saatava TS-arvo (Tube Suction -arvo) indikoi materiaalin imupaineominaisuuksia. Siten sen avulla voidaan tehdä päätelmiä kulutuskerroksen laadusta ja pölyämis- tai pintakelirikkoherkkyydestä. Luokittelu on esitetty taulukossa 1. (Saarenketo 2000)

**Taulukko 1.** Kulutuskerrosmateriaalin laadun arviointi TS-arvon mukaan (Saarenketo 2000).

Dielektri- syysarvo (TS-arvo)	Laatu ja toimenpiteet
< 8	Kulutuskerroksen imupaine on liian pieni. Pölyämisen ja siitä seuraavan kulumisen vaara on suuri. Tilanteen korjaamiseksi tulee harkita hienoaineksen lisäämistä tai suolausta.
8–12	Optimaalinen arvo, alaraja. TS-arvo sallii lisäorastuksen ja hienoainespitoisuutta voidaan kasvattaa.
12–16	Optimaalinen arvo, yläraja. Sorastusta suunniteltaessa tulee kiinnittää huomiota hienoainespitoisuuteen. Tien kuivatuksen (sivukaltevuus, ojitus) toimivuus tulee varmistaa.
> 16	Kulutuskerros sitoo liikaa vettä. Pintakelirikko-vaara on olemassa ja tien pinta saattaa olla liukas sateella. Kulutuskerroksen hienoaines- ja suolapitoisuus tulee tutkia mahdollisten ongelmien korjaamiseksi. Tien kuivatuksen toimivuus tulee varmistaa.

Pylkkäsen (2008) mukaan yhdeksän kolmestatoista tutkitusta pintakelirikkoisille teille käytetyn sorastusmurskeen varastokasanäytteestä ylitti kantavan kerroksen murskeelle suositellun TS-arvon 16. Vaikka TS-arvoa ei mitattukaan soratien kulutuskerroksesta, voitaneen se olettaa kasanäytteestä mitattua arvoa suuremmaksi. Korkealla TS-arvolla ja pintakelirikkoherkkyydellä voidaan siis katsoa olevan yhteys. (Pylkkänen 2008; Rantanen et al. 2008)

## 5. HAASTATTELUTUTKIMUS

Haastattelututkimuksen tarkoituksena oli etsiä täydentävää tietoa pintakelirikosta ja sorateiden hoidon nykytilasta, sillä tietoa tutkittavasta aihepiiristä on kirjallisessa muodossa rajallisesti.

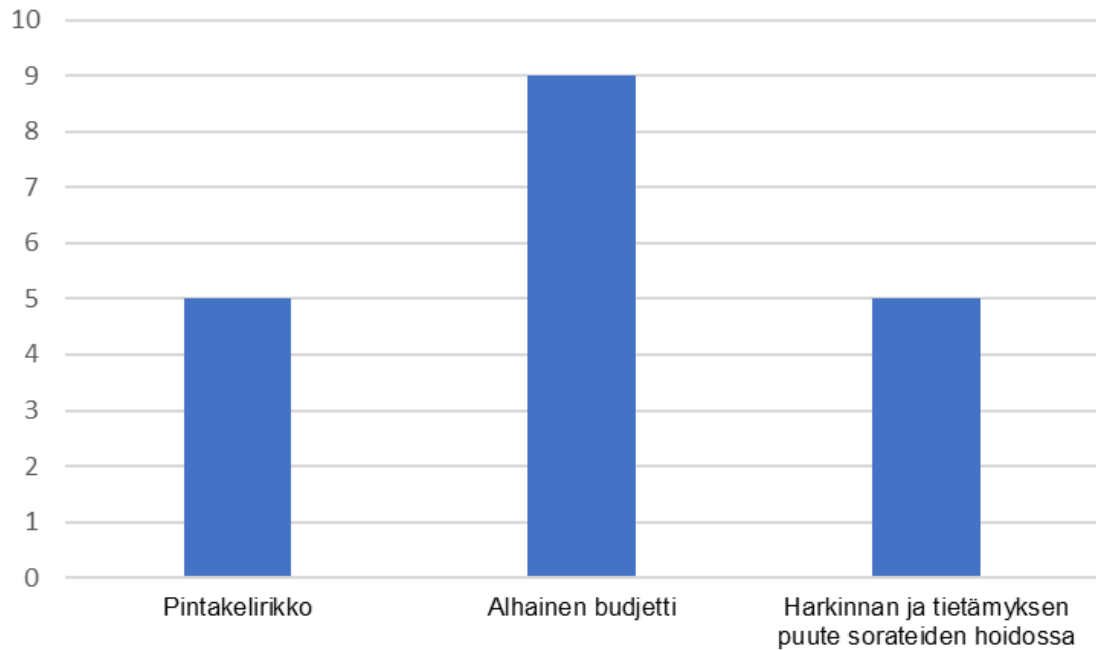
### 5.1 Haastattelujen toteutus

Sorateiden kunnossapitoon liittyviä ongelmia ja kehitystarpeita kartoitettiin kymmenellä suullisella haastattelulla. Yhdeksän haastattelua tehtiin yksilöhaastatteluina ja yhdessä haastattelussa oli läsnä kaksi haastateltavaa. Haastattelukutsussa tarjottiin myös mahdollisuutta vastata kirjallisesti. Kirjallisia vastauksia saatiin kolme kappaletta. Haastateltavia pyrittiin valitsemaan niin, että tutkimukseen saataisiin mukaan tilaajien, urakoitsijoiden ja tutkijoiden näkökulma. Haastatellut henkilöt on esitetty liitteessä A. Haastattelukysymykset on esitetty liitteessä B.

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituina. Haastattelukysymykset lähetettiin haastattelukutsun yhteydessä haastateltaville. Haastatteluissa keskityttiin erityisesti kysymyksiin, jotka vastasivat haastateltavan ydinosaamista. Haastattelut pyrittiin käymään liitteen B mukaisessa järjestyksessä, mutta usein kysymysten järjestys muuttui keskustelun edetessä. Haastatteluista kuusi toteutettiin Skypellä ja neljä kasvotusten. Kaksi ensimmäistä haastattelua toimivat samalla testihaastatteluina, joiden jälkeen osa haastattelukysymyksistä poistettiin ja runkoa hienosäädettiin. Haastattelut nauhoitettiin kokonaisuudessaan ja litteroitiin olennaisilta osin. Ohjelmistovian vuoksi kahden haastattelun nauhoituksen havaittiin epäonnistuneen haastattelun jälkeen. Näiden haastattelujen sisältö puhtaaksikirjoitettiin välittömästi haastattelun jälkeen muistiinpanojen perusteella. Haastattelujen kesto vaihteli 0,75–1,5 h välillä. Haastattelujen tulokset analysoitiin aihealueittain ja ne on esitetty kappaleessa 5.2. Kunkin osion olennaisimmat tulokset on esitetty luettelomuotoisena tiivistelmänä kappaleen lopussa.

### 5.2 Haastattelun tulokset

Haastattelu aloitettiin tiedustelemalla hoidon haasteita ja prioriteetteja keskustelun virittämiseksi. Haastateltavien painotukset vaihtelivat jonkin verran, mutta lähes kaikki mainitsivat kelirikon tai pintakelirikon, muuttuneen ilmaston ja alhaisen budjetin aiheuttavan haasteita sorateiden hoidossa. Tärkeimmäksi asiaksi nousi kuivatusjärjestelmän toimivuus kokonaisuutena ja erityisesti sivukaltevuuksien rooli pintakuivatuksen varmistamisessa. Kuva 19 on esitetty sorateiden hoidon kolme suurimmaksi koettua haastetta. Pystyakselin lukuarvo kuvaa annettujen vastausten lukumäärää suhteessa haasteeseen. Kuvaajaan poimittiin haasteet, joiden lukuarvo oli yli 3.



**Kuva 19.** Yleisimmät haastatteluissa mainitut haasteet sorateiden hoidossa.

Kaikista yleisin mainittu haaste oli sorateiden hoidon alhainen budjetti ja siitä seuraavat haasteet esimerkiksi rakenteellisessa kunnossa ja kuivatuksen toimivuudessa. Seuraavaksi yleisimpänä tulivat pintakelirikko sekä harkinnan ja tietämyksen puute sorateiden hoitoa tehtäessä. Koko haastattelun tulokset käsitellään seuraavissa alakappaleissa teemoittain.

## 5.2.1 Ilmastonmuutos

Yksikään haastateltava ei kieltänyt ilmastonmuutosta. Jokainen vastaaja totesi ilmaston muuttuneen työuransa aikana tai vähintäänkin kuulleen vanhemmilta kollegoilta muuttuneen ilmaston tuomista haasteista. Vastaajat ilmaisivat sulan kauden pintakelirikon olevan yksi näkyvimmistä ilmastonmuutoksen tuomista muutoksista sorateilla. Syysaikaan esiintyvän pintakelirikon todettiin olevan uusi ilmiö ja tulleen yleiseksi Suomen sorateilla viidentoista viime vuoden aikana. Pintakelirikolle on syksyisin tullut entistä otollisemmat olosuhteet, sillä sateista entistä suurempi osa tulee vetenä ja talven tulo on siirtynyt. Myös edellytykset kevään rakennekelirikolle ja pohjamaan kelirikolle paranevat, kun sadevesi nostaa pohjavedenpintaa jo syksyllä.

Muuttuneen ilmaston vuoksi talvi tulee vaihteittain ja siksi kulutuskerroksen lopullista jäätymistä on vaikea arvioida. Vaarana on kulutuskerroksen jääminen epätasaiseksi koko talveksi, jos syksyn viimeistä muokkaus- tai tasoitustyötä ei onnistuta ajoittamaan oikein. Toisaalta kesäisin on ollut erittäin pitkiä kuivia jaksoja, mikä on ollut ongelmallista kevätmuokkausten kannalta. Jos tien pinta pääsee kuivumaan ja sadetta ei ole odotettavissa, ei muokkausta kannata enää tehdä sillä tien pinta jäisi irtonaiseksi. Pitkittänyt kuivuus on aiheuttanut myös pölyongelmia, joskin pintakelirikkoisten teiden todettiin pölyävän rakennettuja ja kelirikkokorjattuja soratieosuuksia vähemmän. Sään alueellisten ja vuosittaisten vaihtelujen arveltiin kuitenkin olevan jatkossakin suuria, joten tarve urakoitsijoiden ennakointikyvyille ja -valmiudelle korostuu entisestään.



*Osion tiivistelmä:*

- Muuttunut ilmasto on lisännyt sulan kauden pintakelirikkoa.
- Talven lyhentyminen ja vaiheittainen tuleminen on aiheuttanut haasteita sorateiden hoidolle.
- Pitkittyneet kuivat jaksot ovat aiheuttaneet pölyhaittaa sorateilla.

## 5.2.2 Sulan kauden pintakelirikko

Sulan kauden pintakelirikkoa kerrottiin ilmenevän säännöllisesti ainakin Etelä-Suomessa, Hämeessä, Keski-Suomessa, Savossa ja Etelä-Pohjanmaalla. Rakentamattomat soratiet hyvin vettä pidättävillä pohjamailla kuten savikoilla ovat kaikista altteimpia pintakelirikolle. Kevään pintakelirikon todettiin myös olevan yleistä, mutta paljon harmittomampaa lyhyen keston – parista päivästä viikkoon – vuoksi. Osa vastaajista luonnehti syksyn pintakelirikkoa pysyväksi haitaksi, joka on tullut jäädäkseen. Vaikeinta syksyllä esiintyvässä pintakelirikossa todettiin olevan se, että sen hoitamiseksi ei voida tehdä sen esiintymisen aikaan mitään. Tielle voidaan toki levittää karkeampaa sorastusmateriaalia, mutta tämän huomautettiin olevan pois muusta sorastuksesta. Tien pinnan jäätyminen todettiin ainoaksi avuksi ongelmaan, koska syksyllä ja talvella on harvoin kulutuskerroksen kuivumiseen vaadittavaa lämmintä ja aurinkoista säätä. Pintakelirikon torjuntaan tulisikin panostaa keväällä tehtävällä optimoidulla sorastuksella.

Pintakelirikon yleisimmiksi aiheuttajiksi mainittiin heikkolaatuinen sorastusmateriaali sekä sivukaltevuuspuutteet. Myös raskaan liikenteen määrällä arveltiin olevan osuutta ilmiön syntyyn. Haastatteluissa ei löytynyt yhtäkään uutta, ohjeistuksissa esiintymätöntä ratkaisua pintakelirikon hoitoon. Sen sijaan pohdittiin, tehdäänkö tällä hetkellä tosissaan kaikki voitava tilanteen korjaamiseksi suhteessa käytössä oleviin resursseihin.

*Osion tiivistelmä*

- Sulan kauden pintakelirikkoa esiintyy ainakin Etelä-Suomessa, Hämeessä, Keski-Suomessa, Savossa ja Etelä-Pohjanmaalla.
- Hoitaminen on vaikeaa syksyllä pintakelirikon esiintymisaikaan.
- Yleisimmät aiheuttajat ovat heikkolaatuinen sorastusmateriaali ja sivukaltevuuspuutteet.
- Ilmiön torjunnassa pääpaino tulisi olla ennakoivilla toimenpiteillä.

## 5.2.3 Sorastustoimenpide ja -materiaalit

Lähes kaikki vastaajat totesivat, että sorastusmurskeen optimointia nykyiseen kulutuskerrokseen tulisi edistää. Ongelmalliseksi kuitenkin todettiin optimoinnin lähtökohta, sillä pintakelirikon, pölyämisen tai irtosoraisuuden torjumisen edellytykset ovat jokseenkin ristiriitaiset. Toisaalta pölyntorjunta suolaamisella todettiin kohtuullisen helpoksi ja edulliseksi. Pölyäminen ei

myöskään aiheuta haittaa liikenneturvallisuudelle, toisin kuin pintakelirikon liukastama kulutuskerros. Käsityksessä sopivan sorastusmurskeesta rakeisuudesta oli vaihtelua. Erityisesti urakoinnin piirissä työskentelevät pitivät vähintään 8 % hienoainesvaatimusta kohtuuttoman suurena. Osa haastatelluista taas piti maksimiraekooltaan 16 mm mursketta liian suurirakeisena kulutuskerrokseen. Yleisesti toivottiin, että urakoitsija ja tilaaja valitsisivat yhdessä sopivan sorastusmurskeen soratiekohtaisesti. Sorastusta tehdään nykyisellään sekä keväällä että syksyllä. Haastatteluissa esitettiin, että pintakelirikkoisilla teillä muokkaus- ja sorastustoimenpiteiden pääpaimon siirtämistä keväälle voitaisiin harkita. Sorastaminen pintakelirikon esiintymisen aikaan saattaa haastateltavien mukaan pahentaa ilmiötä.

Nykyisellään ei ole helposti selvitettävissä pintakelirikkaisen soratien sorastusmateriaalin otto- paikkaa, teknisiä ominaisuuksia eikä osuutta jolle sitä on levitetty. Tämän vuoksi saattaa olla vaikeaa saada selkeää käsitystä kulutuskerroksessa esiintyvien ongelmien todellisista syistä. Tämän koettiin haittaavan oppimista ja johtavan tilaan, jossa samoja virheitä toistetaan uudestaan.

Sorastuksen toteutuksessa todettiin olevan laajaa variointia. Osassa urakoista muokkaustoimenpiteet tehdään ohjeiden mukaisesti ja lisättävä sorastusmateriaali valitaan syvällisesti perehtyen. Suurimmassa osassa urakoita todettiin sorastusmurskeen valikoituvan puhtaasti hinnan ja kuljetusetäisyyden perusteella. Tämä murske on yleensä karkeaa ja se levitetään kovan kulutuskerroksen päälle pintaa rikkomatta, jolloin materiaalihävikki on merkittävää. Sorastusta edeltävän muokkauksen huomautettiin jäävän tekemättä suhteellisen usein ja kulutuskerroksen tiivistystä tehtävän vieläkin harvemmin. Tämän arveltiin johtuvan siitä, että toimenpiteiden merkitystä ei ymmärretä. Toinen vaihtoehto on, että soratien kunto koetaan yhdentekeväksi. Huomautettiin, että harvat urakoitsijat erityisesti kilpailutusketjun häntäpäältä pystyvät perustelemaan soratieverkolla toteuttamia hoitotoimenpiteitä syvällisesti. Toisaalta haastatellut urakoitsijat huomauttivat, että osa tilaajista ei ole hyväksynyt ohjeistuksen mukaista ehdotusta sorastaa pintakelirikkaisia teitä ohjealuetta karkeammalla materiaalilla. Tämä lienee seurausta tilaajan kokemattomuudesta, jolloin urakka-asiakirjoihin tukeudutaan tiukasti soveltamisen sijaan.

Yksi kyselyn teemoista oli sorastusmateriaalin CE-merkintä. CE-merkintä pohjautuu rakennustuoteasetukseen (EU) N:o 305/2011. Kyseisessä asetuksessa säädetään CE-merkinnän edellytyksistä sekä rakennustuotteen ominaisuuksista ilmoittamisesta. Asetuksen tavoite on selkeyttää CE-merkinnän käyttöä ja sekä edesauttaa luotettavien ja tarkkojen tietojen saantia rakennustuotteiden ominaisuuksista ja suoritustasoista. Rakennustuoteasetus tuli voimaan 2013 ja sen myötä kaikki sellaiset rakennustuotteet, joilla on harmonisoitu tuotestandardi, on CE-merkittävä. Tuote tulkitaan rakennustuotteeksi, jos se valmistetaan ja saatetaan markkinoille käytettäväksi pysyvinä osina rakennuskohteissa. Rakennuskohteita ovat sekä rakennukset että maa- ja vesirakennuskohteet. CE-merkintä tarkoittaa, että merkinnän tuotteeseen kiinnittänyt valmistaja on valmistanut tuotteen ja selvittänyt tuotteen keskeiset ominaisuudet harmonisoidussa tuotestandardissa esitetyllä tavalla. Tuote voidaan CE-merkitä vasta, kun suoritustasoilmoitus on laadittu. (Ympäristöministeriö 2018; Kuula 2018a; Kuula 2018b)

Haastatteluissa tietämys CE-merkinnästä havaittiin puutteelliseksi. CE-merkkiä, merkintäprosessia ja merkinnällä tavoiteltavia asioita ei koettu selkeiksi. Osa vastaajista oli huolissaan siitä, että merkinnän vaatiminen nostaisi sorastusmateriaalin hintaa. Osa vastaajista ei tulkinnut kulutuskerrosta pysyväksi rakennusosaksi. He huomauttivat kulutuskerroksen kuluvan nimensä mukaisesti, jolloin sorastusmateriaalia ei heidän mielestään tarvitse CE-merkitä. Kulutuskerros on kuitenkin pysyvä rakenne sillä sitä ei pureta. Siten sorastusmateriaali kuuluisi CE-merkitä harmonisoidun tuotestandardin 13242 mukaisesti. CE-merkinnän itsessään huomautettiin kertovan materiaalin tasalaatuisuudesta, ei laadusta. Siten on edelleenkin tarve olla kansalliset vaatimukset, jotka ovat yhteensopivat CE-merkintätietojen kanssa. Näiden vaatimusten toteutumisesta tulee myöskin osata vaatia ja valvoa. (Kuula 2018a; Kuula 2018b)

*Osion tiivistelmä:*

- Sorastusmurskeen valintaan tulisi kiinnittää nykyistä enemmän huomiota.
- Tilaajan ja urakoitsijan tulisi yhteistyössä valita sopiva sorastusmateriaali soratiekohtaisesti.
- Sorastuksen toteutuksessa on laajaa variointia. Osa urakoitsijoista valitsee sorastusmateriaalin huolellisesti ja tekee viimeistelytyöt ohjeiden mukaisesti.
- Suurimmassa osassa alueurakoita sorastusmateriaali valikoituu puhtaasti alhaisimman kustannuksen perusteella ja sorastustoimenpiteen toteuttamisessa on puutteita.
- Osalla tilaajista on puutteellinen tietämys sorastuksen vaikutuksista pintakelirikkoon.
- Sorastusmateriaalien CE-merkintään liittyvässä tietämyksessä on puutteita.

## 5.2.4 Kalusto

Hoidossa käytettävän kaluston valintaa ei koettu tarpeelliseksi ohjeistaa tai rajoittaa nykyistä tarkemmin. Tällä hetkellä urakoitsijalla todettiin olevan melko vapaat kädet työn suorittamiseen. Käytettävän kaluston sijaan tulisi valvoa nimenomaan lopputulosta, sillä siihen päästään useammalla kuin yhdellä työkoneella. Huomionarvoista kuitenkin on, että tavoitetilan saavuttaminen saattaa vaatia enemmän työtä esimerkiksi kevyemmällä kalustolla tehtäessä. Tiehöylän todettiin olevan erinomainen väline sorateiden muokkaustöihin, mutta sen vaatiminen miellettiin kohtuuttomaksi sen korkean hinnan takia. Tiehöylän käyttökausi sorateiden vuosittaisessa hoitokierrossa on lyhyt, jolloin sen pääomakustannus käyttötuntia kohden nousee suureksi. Kulutuskerroksen muokkaukseen soveltuvien aikaikkunoiden todettiin olevan usein lyhyitä sään vaihtelun takia, joten kalustoa tulisi olla myös riittävästi. Siten suurempi määrä hieman halvempaa kalustoa saattaa olla edullisempi tila kuin pienempi määrä kalliimpaa kalustoa. Haastateltavat painottivat, että kalustolla olisi aliurakoitsijan toimeentulon kannalta hyvä olla muitakin käyttömahdollisuuksia. Tällainen yhdistelmä on esimerkiksi traktori ja raskas lana. Kehittyneimpien raskaiden traktorilanojen todettiin vastaavan ominaisuuksiltaan tiehöyliä, joskin niiden puutteena on terien sijainti kuljettajan selän takana.

Sivukaltevyyden kasvattamisen huomautettiin onnistuvan ainoastaan raskaammilla lanoilla tai tiehöylällä. Kevätmuokkauksissa reunapalteen poiston todettiin olevan haasteellista liian lyhyellä emäterällä, sillä tien reuna ei kestä työkoneen painoa. Siltikin työkoneen kuljettajan ammattitaidolla ja tietämyksellä katsottiin olevan käytettävää konetta huomattavasti suurempi vaikutus lopputulokseen. On olennaista, että työkoneen kuljettaja ymmärtää sivukaltevyyksien ja reunapalteen poiston merkityksen. Eräessä alueurakassa kerrottiin tiehöylän kuljettajan muokanneen sivukaltevyyksiltään ohjeiden mukaisia sorateitä lähes tasaisiksi.

*Osion tiivistelmä:*

- Kalustovaatimusten tiukentamiselle suhteessa nykyiseen ei nähty tarvetta.
- Hoidon aikaikkunat ovat joskus tiukkoja, joten kalustoa tulee olla riittävästi.
- Kehittyneimmät raskaat traktorilangat vastaavat ominaisuuksiltaan tiehöyliä.
- Hyvän lopputuloksen kannalta on oikeanlaista kalustoakin tärkeämpää, että kuljettajalla on riittävästi ammattitaitoa ja tietämystä sorateiden hoidosta.

## 5.2.5 Rakenteellinen kunto

Rahoituksen puutteen katsottiin lisänneen soratieverkon korjausvelkaa. Korjausvelan kasvun todettiin olevan seurausta erityisesti ojitusten ja sorastusmurskeen määrien vähenemisestä. Myös ohenevat kulutuskerrokset herättivät huolta. Ohuita kulutuskerroksia todettiin olevan mahdollista muokata kunnolla, sillä terä nostaa kiviä pintaan rakenteesta tai pohjamaasta. Sorastustonnien vähäisyyden seurauksena pelättiin olevan kulutuskerrosten kulumisen korjauskelvottomiksi kiihtyvän urautumisen ja reikiintymisen myötä. Kelirikon hoitoon käytettyjen sorastustonnien todettiin myös vähentävän normaaliin sorastukseen käytössä olevia sorastustonneja.

Rakennetut soratiet ovat tyypillisesti ylileveitä, sillä ne oletettiin päällystettäväksi myöhemmin. Pintakelirikkoa esiintyy harvoin rakennetuilla sorateilla, mutta pölyäminen on yleinen ongelma. Ylileveitä sorateita (leveys 7 m tai yli) pidettiin erityisen haasteellisina riittävien sivukaltevyyksien saavuttamisen kannalta. Hoidon kannalta optimaalisena pidettiin  $6,25 \pm 0,25$  m leveyttä, sillä tätä leveämpää poikkileikkausta ei pystytä pitämään sivukaltevana etenkin tiehöylää kevyemmällä kalustolla. Toisaalta kuljetusyrietykset ovat ilmaisseet huolensa kavennettavista sorateista, sillä niiden kalusto on suurentunut. Soratien kaventamista suunniteltaessa tulisikin ottaa huomioon tietä käyttävä liikenne.

Etenkin nykymuotoisen puu- ja paperiteollisuuden tarpeisiin vastaaminen koettiin hankalaksi, sillä se kaipaa raaka-aineensa tuoreena. Kyseinen teollisuudenala sietää tämän vuoksi painorajoitusmenettelyä huonosti. Koska tien käyttökiellon pituutta on vaikea ennakoida, paine hakea kuormat huonokuntoiselta, mutta vielä painorajoittamattomalta soratieltä saattaa olla suuri. Puuta on noudettu jopa painorajoitusten aikaan välittämättä seurauksista. Eräessä tapauksessa asiasta huomautettaessa kuljettaja oli siirtynyt lastaamaan puuta toiselle soratielle, joka oli sekin yhtä huonossa kunnossa. Tienkäyttäjien kärsivällisyyden todettiin vähentyneen ja henkilöautojen muuttuneen sorateille heikommin soveltuviksi.

Sorateitä käyttävien ryhmien tarpeiden todettiin olevan erilaisia. Soratien kunnosta saattavat antaa palautetta esimerkiksi metsänomistaja, joka hakee metsästään puuta kerran 40 vuodessa, satunnainen kesämökkeilijä ja tien varren asukkaat. Tien tulisi toki palvella kaikkia käyttäjiä, mutta suurin painoarvo todettiin olevan tietä säännöllisesti käyttävien antamalla palautteella. Ehdotettiin, että HARJA-palautteista voitaisiin tehdä tutkimus. Näin voitaisiin kartoittaa miten hyvin soratiet palvelevat tienkäyttäjiä.

*Osion tiivistelmä:*

- Rahoituksen vähäisyyden todettiin kasvattaneen sorateiden korjausvelkaa.
- Sorastustonnien vähäisyyden pelättiin saattavan kulutuskerrokset korjauskelvottomaan tilaan.
- Ylileveitä sorateitä pidettiin hankalana hoitaa. Toisaalta kuljetusyritysten kalusto on suurentunut ja soveltuu siten heikommin kapeille teille.
- Nykymuotoisen puu- ja paperiteollisuuden todettiin sietävän huonosti painorajoitusmenettelyä.
- Tienkäyttäjien kärsivällisyyden koettiin heikentyneen. Henkilöautot ovat muuttuneet sorateille heikommin soveltuviksi.

## 5.2.6 Tietämys, osaaminen ja koulutus

Haastatellut luonnehtivat sorateiden hoidon olevan kansanperinnettä, joka on yleensä opittu työn ohessa kokeneemmilta kollegoilta. Tielaitosuudistuksen katsottiin vaikuttaneen tiedon siirtymiseen jonkin verran. Tielaitoksen aikaan höylänkuljettajat saattoivat hoitaa samoja sorateitä koko työuransa ajan, jolloin sorateiden ongelmakohdat olivat selkeästi tiedossa. Lisäksi tielaitoksella oli sisäiset rakenteet, kuten ohjekortit työhön ja koulutukset koneenkuljettajia varten, mikä varmisti ammattitaidon siirtymisen ja säilymisen. Hoitoa ei nykyiselläänkään varsinaisesti opeteta oppilaitoksissa, vaan osaavan hoitohenkilökunnan kouluttaminen on urakoitsijoiden vastuulla. Mallissa, jossa oppiminen tapahtuu tekemällä, ei nähty ongelmaa. Sen sijaan hoitourakoiden lyhyen keston arveltiin heikentävän motivaatiota perehtyä alaan kunnolla. Myös tiedon erityishuomioita vaativista kohdista soratiestöllä huomautettiin katoavan urakoitsijan vaihtuessa. Ongelmana pidettiin myös kiinnostuksen puutetta niin tieteellisissä piireissä kuin yleisestikin, kun verrataan esimerkiksi päällystealaan. Insinööriopetuksen todettiin olevan erittäin suunnittelupainotteista. Maanteiden hoitoon liittyviä asioita käsitellään muutamilla luennoilla muiden asioiden seassa.

Tietämys sorastusmateriaaleista todettiin puutteelliseksi sekä urakoitsijoiden että tilaajien keskuudessa. Eriävien käsityksien vuoksi optimaalisen sorastusmurskeen valinnasta ei välttämättä ole konsensusta urakan eri osapuolten välillä. Sorastusmurskeen ominaisuuksien ja pintakelirikon yhteyttä ei aina ymmärretä. Tietämyksen puutteen vuoksi esimerkiksi suoritustasoilmoituksia ei välttämättä osata lukea oikein tai kulutuskerros murskeen saatetaan väittää olevan hyvää vetoamalla huomattavasti karkeammalle lajitteelle tehtyihin TS-kokeisiin. Haastatteluissa ilmeni myös huoli pienistä aliurakoitsijoista, joiden tietämys sorateiden hoitourakoinnista ja kaluston

käytöstä ei välttämättä ole ajantasaista. Edellä mainitun pohjalta todettiin, että koulutuksen järjestäminen kaikille sorateiden hoidon parissa työskenteleville tilaajista aliurakointiketjun viimeiseen urakoitsijaan saattaisi olla paikallaan. Koulutuksien aihepiireiksi ehdotettiin sopivan hoitokaluston valintaa ja käyttöä sekä oikeanlaisen sorastusmateriaalin valintaa.

*Osion tiivistelmä:*

- Sorateiden hoidon luonnehdittiin olevan kansanperinnettä. Oppiminen tapahtuu tekemisen kautta.
- Sorateiden hoitoon liittyy näkökulmaeroja, jotka tekevät yhteistyön ajoittain haasteelliseksi.
- Sulan kauden pintakelirikon aiheuttavaa syy-seuraussuhdetta ei aina ymmärretä.
- Tietämyksen ja osaamisen parantamiseksi toivottiin koulutuksia ja perehdytyksiä.

## 5.2.7 Kehitystarpeet

Tulevaisuuden tutkimustarpeista nousi esille sorateiden rakenteellisen toimivuuden tarkastelu. Toivottiin, että nykyisten ohjeiden mukaista soratierakennetta tarkasteltaisiin kokonaisuutena sille asetettavien vaatimusten mukaan ja etsittäisiin mahdollisesti nykyisiä vaihtoehtoja toimivampaa rakennetta ja materiaaleja. Uusiomateriaalien käytön edistämistä toivottiin kestävän kehityksen tukemiseksi. Sorateille asetettavien vaatimusten huomautettiin olevan päällystettyjä teitä keveämpiä ja siten mahdollistavan soveltavia ratkaisuja, joilla kokonaispaketti saataisiin ratkaistua. Huomautettiin, että tällaista tutkimustietoa saattaa olla jo olemassakin, mutta se pitäisi saattaa yhteen tarpeen kanssa.

Vastaavanlaista kokonais kuvan huomioivaa harkintaa toivottiin myös kelirikkorjausten suunnitteluun. Todettiin, että pahimmillaan kelirikkorjaukset ovat synnyttäneet kuivarunkoisia ja pölyviä osuuksia muuten kostearunkoiseen soratiehen. Järkevän tutkimus- ja kehittämistoiminnan huomautettiin olevan luonteeltaan pitkäjänteistä ja kestävän hallituskaudesta seuraavaan. Tutkimus- ja kehittämistoiminnan todettiin olevan tällä hetkellä hyvällä tolalla ja tilaajaorganisaatioiden toivottiin pitävän huolta sen jatkumisesta. Sorateiden pieni ja laskeva osuus liikennesuoritteesta todettiin haasteeksi tutkimuksen rahoittamisen ja yleisen mielenkiinnon suhteen.

Alan kehityksen kannalta tärkeäksi todettiin virheiden ja onnistumisten tutkiminen. Huomautettiin, että tällä hetkellä pahimmassa tapauksessa samat virheet toistuvat samoissa kohdissa sorateita hoidettaessa vuodesta toiseen. Hoidossa käytettävän kaluston toivottiinkin kehittyvän niin, että se tuottaisi tiedon tehdystä työstä. Tämä mahdollistaisi syy-seuraussuhteen etsimisen. Toivottiin, että urakoitsijan tekemälle raportoinnille asetettaisiin selkeämmät tavoitteet. Tulisi ymmärtää, että tuotettavaa tietoa voidaan käyttää oppimiseen ja kehittämiseen pelkän valvonnan sijaan. Raportointijärjestelmien luonnehdittiin olevan pahimmassa tapauksessa tiedon hau-

tausmaita. Tavoitetilana voisi olla, että laadunvarmistuksessa syntyvää tietoa käytettäisiin aktiiviseen oppimiseen. Myös kulutuskerroksen nykytilan tutkimiseen toivottiin uusia innovaatioita, sillä sen todettiin olevan hankalaa, epätarkkaa ja kustannustehotonta nykyisillä menetelmillä.

Hoitourakoiden valvonnan kannalta suurimmaksi ongelmaksi todettiin objektiivisten laadunvalvontamittarien puute. Työn laatuun puuttuminen koettiin hankalaksi, jos laadun täytyminen mielletään enemmänkin mielipidekysymykseksi kuin tarkasti mitattavissa olevien suureiden avulla tehtäväksi havainnoksi. Sakkoja todettiin annettavan erittäin vähän. Osalla valvojista todettiin sorateiden hoitoon liittyvän osaamisen olevan heikkoa. Tästä seuraa, että he tukeutuvat urakka-asiakirjoihin erittäin kirjaimellisesti soveltamisen sijaan. He eivät välttämättä ymmärrä, millainen sorastusmateriaali olisi parasta esimerkiksi pintakelirikkoiselle tielle. Osa vastaajista luonnehti paikan päällä tapahtuvaa valvontaa vanhakantaiseksi ja tehottomaksi. Digitalisaatioon kohdistuikin toiveita ja mahdollisuuksia työn laadun arvioinnissa. Toisaalta osa vastaajista taas oli sitä mieltä, että laadun tavoiteltua tilaa ei saavuteta valvomalla ja sakottamalla urakoitsijaa. Sen sijaan tulisi panostaa yhteistyöhön ongelmanratkaisussa ja hoidon suunnittelussa. Uuden hoitourakkamallin todettiin tarjoavan mahdollisuuksia tähän, mutta mahdollisuuksien realisoinnin huomautettiin olevan täysin yksilöistä kiinni.

*Osion tiivistelmä:*

- Toivottiin, että nykyohjeiden mukaista soratierakennetta arvioitaisiin uudelleen ja etsittäisiin mahdollisia toimivampia rakennevaihtoehtoja.
- Kestävän kehityksen edesauttamiseksi toivottiin, että uusiomateriaalien käyttöä edistettäisiin.
- Tutkimus- ja kehittämistoiminnan nykytilaan oltiin tyytyväisiä. Tilaajaorganisaatioiden toivottiin pitävän huolta sen jatkumisesta.
- Laadunvarmistuksessa syntyvää tietoa voitaisiin käyttää aktiiviseen virheistä ja onnistumisista oppimiseen.
- Valvonnan ja sakottamisen sijaan toivottiin panostusta tilaajan ja urakoitsijan väliseen yhteistyöhön ongelmanratkaisussa ja hoidon suunnittelussa.

## 6. MAASTOKÄYNNIT

Diplomityön yhteydessä tehtyjen maastokäyntien tarkoituksena oli perehtyä haasteisiin sorateiden hoidossa sekä pintakelirikkoon ilmiönä. Maastokäyntejä tehtiin yhteensä neljä. Näistä yksi oli osallistuminen valvontakierrokselle Kangasalan ja Oriveden alueurakoiden alueelle. Kolme muuta olivat käyntejä Nokian pintakelirikkoisiksi tiedetyille sorateille.

### 6.1 Valvontakierros Kangasalan ja Oriveden alueurakoilla

Maastokäynti oli osa Varsinais-Suomen ELY-keskuksen Kangasalan ja Oriveden hoitourakoiden aluevastaavan valvontakierrosta. Kierroksella 28.9.2018 tarkastettiin Niemikyläntie (mt 14275), Teiskon kirkkotie (mt 3381), Siltasavontie (mt 14276), Siitamantie (mt 14207) ja Kellosalmentie/Suomasemantie (mt 14213). Soratiet olivat vaihtelevassa kunnossa. Tässä alakappaleessa keskitytään maastokäynnillä havaittuihin puutteisiin.



**Kuva 20.** Sorastusjälkeä Teiskon kirkkotiellä mt 3381 tierekisteripaalulla 5125.

Teiskon kirkkotiellä oli tehty sorastusta muutama päivä ennen valvontakäyntiä (kuva 20). Sorastus oli tehty karkealla murskeella suoraan rikkomattoman kulutuskerroksen päälle. Murske oli jo muutamassa päivässä alkanut siirtyä ulkokaarten puolelle ja hävikki tulee olemaan huomattavaa. Reunapalteiden poistoa ei oltu tehty.





**Kuva 21.** Rumpurikko Siltasavontiellä mt 14276 tierekisteripaalulla 5495.

Siltasavontiellä havaittiin rikkoutunut rumpu (kuva 21). Kuvasta erottuu myös suodatinkangas, ja tierekisterin mukaan tielle on tehty kelirikkorjaus vuonna 2009. Tämän kaltainen rumpurikko aiheuttaa vaaraa etenkin raskaalle liikenteelle. Rikkoutuneen rummun läheisyydessä oli myös osittain tielle kaatunut kuusi, johon oli kiinnitetty heijastin ilmeisesti tienkäyttäjän toimesta. Tarkastuskäyntien epäsäännöllisyyden haittapuoli on, että liikenteelle välitöntä vaaraa aiheuttavien äkillisten tekijöiden raportointi on tienkäyttäjien varassa.



**Kuva 22.** Veden ja liikenteen syövyttämä ura kulutuskerroksessa, Siitamantie mt 14207 tierekisteripaalulla 2780.



**Kuva 23.** Hoidon synnyttämää reunapalletta Kellosalmentiellä mt 14213 tierekisteripaalulla 2110.

Riittävien sivukaltevuuksien tärkeys korostuu mäissä. Tien pintaa pitkin juokseva vesi syövyttää helposti uria kulutuskerrokseen (kuva 22). Kaarteissa kaksipuoleinen kallistus on haitta ajomokavuudelle ja lisää sorastumurskeen siirtymistä ulkokaarten reunalle. Se myös houkuttelee oikeisemaan ajolinjaa, jolloin kulutuskerros kuluu enemmän sisäkaarten puolelta. Ajolinjan siirtyminen vastaantulevan puolelle aiheuttaa vaaraa kohtaamistilanteissa. Maastokäynnillä tarkastetuilta teiltä puuttui lähes kaikista kaarteista yksipuoleinen kallistus. Toisaalta kaksipuoleisen kallistuksen muuttaminen yksipuoleiseksi vaatii hoidon toimenpiteitä järeämpiä keinoja, jolloin saatava hyöty kustannuksiin nähden saattaa jäädä heikoksi. Kulutuskerrosta on usein niukasti ja maakivet saattavat haitata työtä. Reunapalteen poisto ei onnistu liian lyhyellä terällä. Terän tulee olla riittävän pitkä jo senkin takia, että koneella ei tarvitsisi mennä liian lähelle soratien heikommin kuormitusta kestävä reunaan. Väärin käytettynä lyhyt alusterä saattaa jopa synnyttää reunapalletta (kuva 23).

## 6.2 Nokian pintakelirikkoisten sorateiden seurantakäynnit

Nokian pintakelirikkoisille sorateille tehtiin kolme seurantakäyntiä. Käyntien tarkoituksena oli seurata syksyllä ilmenevän pintakelirikon syntymistä.

### 6.2.1 Taustaa

Pintakelirikon havainnointia varten tehtiin maastokäyntejä sorateille, joilla sitä tiedettiin ilmeneen aiemminkin. Rantanen *et al.* (2008) mukaan valtaosalla Nokian Tottijärven ja Vesilahden alueen sorateista havaittiin pintakelirikkoa luokissa 1–3 syksyllä 2005. Palautetta pehmenneistä

tienpinnoista alkoi tulla jo syksyllä 2004. Tienkäyttäjiltä saatujen palautteiden perusteella pintakelirikko arvioitiin pahemmaksi syksyllä kuin keväällä. Pintakelirikkokauden arvioitiin pidentyvän jatkuvasti sääolosuhteiden muutoksen takia. Tarkemmissa tutkimuksissa havaittiin yhdeksi pintakelirikon aiheuttajaksi huonolaatuinen biotiittipitoinen kulutuskerrosmateriaali.

Vuonna 2017 Hautaantielle (mt 12995) tehtiin koerakenteita, joilla haettiin parasta ratkaisua pintakelirikkoisen tien korjaamiseen. Nämä neljä koerakennetta olivat:

- tien muotoilu ja ojitus
- vanhan kulutuskerroksen korvaaminen hyvälaatuisella sorastusmurskeella
- sorastaminen soramurskeella sekä
- sorastamisen katkaistulla murskeella.

Kokeilluista vaihtoehdoista vanhan kulutuskerroksen kuoriminen pois ja korvaaminen hyvälaatuisella kulutuskerrosmurskeella toimi parhaiten pintakelirikon ehkäisyssä (Valkonen 2018). Valtaosa Nokian pintakelirikkoisista sorateista korjattiin syksyllä 2018. Korjaaminen käsitti ojituksen, vanhan (huonolaatuisen) kulutuskerroksen poiston, tierungon muotoilun sekä uuden kulutuskerroksen rakentamisen hyvälaatuisesta murskeesta. (Rantanen et al. 2008; Ala-Heikkilä 2017; Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus 2018c; Ala-Heikkilä 2018)

## **6.2.2 Maastokäynti 2.9.2018**

Syyskuun alussa tehtiin ensimmäinen maastokäynti Nokian sorateille mt 2501 (Sarkolantie ja Kotalantie) ja mt 12995 (Hautaantie). Tarkoituksena oli käydä havainnoimassa sorateiden tilaa ennen niille tehtäviä pintakelirikkokorjauksia. Nokian Tottijärven säähavaintoasemalla oli edellisenä päivänä mitattu 0,3 mm sadetta (Paikallissää. Havaintojen lataus). Aukeilla paikoilla tien pinta pölysi ja oli irtonainen, sillä auringonpaiste oli ehtinyt kuivattaa kulutuskerroksen. Metsäisillä osuuksilla kulutuskerros oli kostea ja pehmeämpi kuin aukeilla osuuksilla, mutta ei kuitenkaan pintakelirikkoisen. Kotalantiellä kapeat osuudet olivat levenneitä osuuksia paremmassa kunnossa. Leveillä osuuksilla tien profiili oli litistynyt pahimmillaan koveraksi ja rengasurat syvenneet.



**Kuva 24.** *Hautaantien mt 12995 kunnostamatonta osuutta 2.9.2018.*



**Kuva 25.** *Hautaantien mt 12995 kunnostettua koeosuutta 2.9.2018.*

Hautaantiellä kunnostamattoman osuuden vanha, Pylkkäsen (2008) ja Rantanen *et al.* (2008) ongelmalliseksi toteama kulutuskerros (kuva 24) vaikutti pehmeältä ja irtonaiselta verrattuna kunnostetun koeosuuden sileään ja kiinteään pintaan (kuva 25).

Samana päivänä tehtiin vertaileva käynti mt 12845 Houhajärventielle, jolla ei esiinny pintakeli-rikkoa. Sää oli ollut alueella samanlainen kuin Nokiallakin, mutta kulutuskerroksen pehmenemistä ei ollut havaittavissa. Maastokäyntiä edeltävänä päivänä tiellä oli ajettu rallia, jonka jälkiä oli juuri ennen maastokäyntiä tasattu alusterällisellä kuorma-autolla.



**Kuva 26.** Alusterällisen kuorma-auton työjälkeä Houhajärventiellä 2.9.2018.

Kuva 26 osoittaa, että alusterällä ei aina päästä parhaaseen mahdolliseen lopputulokseen. Terä on irrottanut kulutuskerrosta ajouran molemmilta puolilta, mutta uran pohja on jäänyt leikkaamatta. Uraan on siirtynyt irtonaista mursketta, joka sitoutuu huonosti leikkaamattomaan tienpintaan. Tiellä oli havaittavissa karkeamman materiaalin siirtymistä tien pientareille erityisesti kaarteissa. Kulutuskerros oli kiinteä, pehmenemistä tai pölyämistä ei ollut havaittavissa.

### **6.2.3 Maastokäynnit 5.10.2018 ja 7.10.2018**

Perjantain 5.10.2018 maastokäynti tehtiin sillä hetkellä korjattavina oleville Jokivarrentielle (mt 13765) ja Härkäläntielle (mt 2991). Vertaileva käynti tehtiin Hautaantien (mt 12995) koekohteille. Korjattavilla kohteilla oli käynnissä ojitus ja vanha kiillepitoinen kulutuskerros oli vielä koskematon. Nokian Tottijärven havaintoaseman mittaustietojen mukaan käyntiä edeltävänä päivänä oli satanut 3 mm ja sitä edeltävänä päivänä 2,2 mm. Sadepäiviä oli edeltänyt kolmen päivän poutaisempi jakso. (Paikallissää. Havaintojen lataus)



**Kuva 27.** Alkavaa pintakelirikkoa Härkäläntiellä mt 2991 tierekisteripaalulla 2640.



**Kuva 28.** Liettynyttä kulutuskerrosta Jokivarrentiellä mt 13765 tierekisteripaalulla 1650.

Sekä Jokivarrentiellä että Härkäläntiellä kulutuskerros oli alkanut liettymään sateen ja liikennekuormituksen vaikutuksesta (kuva 27 ja kuva 28). Tiet olivat kauttaaltaan pintakelirikkoisia myös sivukaltevilla kohdilla. Osaltaan tien liettymistä edesauttoivat varmasti myös ojituksessa käytetyt kaivinkoneet ja kuorma-autot, jotka liikennöivät tiellä edestakaisin. Tien pinta oli pehmennyt muutaman sentin syvyydelle ja tie tuntui ajaessa hieman liukkaalta, vaikka edellispäivien sademäärä oli vain 5 mm. Maastokäynnin aikaan pintakelirikon luokka oli 3, mutta tulee toki huomioida, että tilanne saattaa pahentua tai parantua syksyn mittaan.



**Kuva 29.** Vasemmalla kiinteää kulutuskerrosta Hautaantien mt 12995 koeosuudella tierekisteripaalulla 460 ja oikealla liettynyttä kulutuskerrosta Hautaantiellä tierekisteripaalulla 2790

Samassa yhteydessä tehtiin vertaileva käynti Hautaantien koeosueille. Koeosueilla kulutuskerros oli laadultaan hyvä (kuva 29, vasemmalla). Se oli kiinteä ja ajotuntuma ei ollut liukas. Hautaantien loppupään vanha biotiittipitoinen kulutuskerros oli kuitenkin paikoin liettynyt (kuva 29, oikealla). Hautaantiellä ei ollut käynnissä saneeraustoimenpiteitä maastokäynnin aikaan, joten liettyminen oli tapahtunut tavanomaisen liikenteen ja sateen vaikutuksesta. Liettyneillä kohdilla oli myös sivukaltevuuspuutteita.

#### 6.2.4 Maastokäynti 2.11.2018

Viimeinen maastokäynti tehtiin Jokivarrentielle mt 13765 ja Hautaantielle mt 12995. Tässä vaiheessa Jokivarrentien kulutuskerros oli jo vaihdettu. Tarkoituksena oli käydä tutkimassa uuden kulutuskerroksen toimivuutta. Samalla haluttiin tarkastaa, oliko pintakelirikko pahentunut Hautaantiellä. Maastokäyntiä oli edeltänyt nelipäiväinen sateeton jakso 26.10–29.10. Aikavälillä 30.10–2.11 sademäärä oli yhteensä 2,8 mm, josta 1,6 mm satoi maastokäyntipäivänä.



**Kuva 30.** Uusi kulutuskerros Jokivarrentiellä mt 13765 tierekisteripaalulla 430.

Kuva 30 osoittaa, että uusi kulutuskerros on kestänyt sadetta paremmin, kuin vanha kulutuskerros (kuva 28). Kulutuskerros oli kiinteä ja tasainen. Ajoneuvo ei pyrkinyt ohjautumaan ja tienpinta ei tuntunut liukkaalta, toisin kuin edellisellä maastokäynnillä.





**Kuva 31.** Pintakelirikkoista kulutuskerrosta Hautaantiellä mt 12995 tierekisteripaalulla 2790.

Hautaantiellä pintakelirikkotilanne ei ollut erityisesti pahempi tai parempi kuin edellisellä maastokäynnillä (kuva 29 ja kuva 31). Edellisvuonna tehdyillä koeosuuksilla pintakelirikkoa ei esiintynyt, muutoin kulutuskerros oli paikoin pehmennyt. Kulutuskerroksen pinnalta oli selkeästi nähtävissä kuorma-auton tai muun raskaan ajoneuvon renkaanjälkiä, mikä saattaa osaltaan selittää kulutuskerroksen pehmenemistä (kuva 31).

## 7. YHTEENVETO

Pintakelirikosta on tullut yleinen ilmiö Suomen sorateilla 2000-luvun aikana. Pintakelirikon yleisimmät aiheuttajat ovat heikkolaatuinen sorastusmateriaali ja puutteet tien pinnan kuivatuksessa. Maastokäyntien yhteydessä havaittiin, että jo vähäinen sade saattaa aiheuttaa pintakelirikkoa, jos kulutuskerroksen materiaali on huonolaatuista. Sorastusmateriaalista johtuvaa pintakelirikkoherkkyyttä voidaan arvioida selvittämällä esimerkiksi hienoainespitoisuus, mineraalikoostumus, TS-arvo tai kloridipitoisuus. Edellä mainittujen lisäksi pintakelirikon syntyyn vaaditaan vettä. Ilmastonmuutoksen seurauksena entistä suurempi osa aikaisemmin lumena tulleista sateista sataa vetenä. Koska säätä on toistaiseksi mahdotonta hallita, tulisi pintakelirikkoa torjua ennakoivasti sorastusmateriaalin valinnalla ja tien pintakuivatuksesta huolehtimalla. Liian pienet sivukaltevuudet sorateilla johtavat usein pintakelirikkoon tai kulutuskerroksen nopeaan reikiintymiseen. Reunapalteet ovat myös erityisen haitallisia, sillä ne estävät sadeveden siirtymisen soratien pinnalta sivuojiin. Ennakoivan hoidon tueksi tarvitaan tieto pintakelirikkaisista sorateista. Yksi tapa tiedon hankkimiseen on esimerkiksi pintakelirikon inventointi joukkoistetun tiedontuotannon keinoin. Digitalisaation toivotaan tarjoavan mahdollisuuksia sekä hoidon suunnitteluun että tehdystä työstä oppimiseen.

Haastatteluissa todettiin muuttuneen ilmaston tuoneen muitakin haasteita sorateiden hoitoon. Näitä ovat esimerkiksi vaihteleva talven tulo ja muut vaikeasti ennakoitavat sääilmiöt, kuten kuivuus. Niukan rahoituksen ja sorateiden vaihtelevan rakenteellisen kunnon katsottiin myös tekevän hoidon suunnittelusta haasteellista. Hoidon suunnittelussa on tarpeen optimoida ja priorisoida, mikä todettiin ajoittain haasteelliseksi. Hoidon suunnittelussa toivottiinkin lisäpanostusta yhteistyöhön tilaajan ja urakoitsijan välillä. Uuden hoitourakamallin todettiin tarjoavan parempia mahdollisuuksia tähän. Tulevaisuudessa voisi olla tarpeen tutkia ja raportoida uuden urakamallin tuomat käytännön muutokset.

Haastatteluissa nousi esille huoli sorateiden hoitoon liittyvän tietämyksen ja osaamisen tilasta. Ohjeistukset, koulutukset ja perehdytykset ovat merkittäviä tapoja tietoisuuden ja ymmärryksen levittämiseen. Ohjeistusta on jo nykyisellään varsin kattavasti. On kuitenkin vaikeaa arvioida, kuinka hyvin sorateiden hoidon parissa työskentelevät osapuolet ovat löytäneet ohjeita ja jaksaneet perehtyä niihin. Ohjetta kirjoittaessa onkin syytä pohtia, mitä ohjeella tavoitellaan ja kenen sitä halutaan lukevan. Sorateiden hoidon parissa työskentelevien tietämystä ja osaamista voidaan kartuttaa myös koulutuksilla ja perehdytyksillä, jolloin tiedon välittyminen ei ole niin riippuvaista henkilön innostuksesta itseopiskeluun.

Jatkossa olisi tarpeen tutkia sorateiden rakenteellista toimivuutta kokonaisuutena. Tätä varten olisi tarpeen rakentaa jatkossakin erilaisia koekohteita, jotta saataisiin ylläpidettyä uuden kokeiluun kannustavaa kulttuuria. Erilaisten kulutuskerrosmateriaalien toimivuutta soratien kulutuskerroksessa tulisi tutkia objektiivisesti. Uusia kulutuskerrosmateriaaleja etsiessä ja kehitettäessä voitaisiin tavoitella lopputulosta, joka ei pölyä haitallisesti pitkienkään kuivien kausien aikana eikä muutu pintakelirikkoiseksi syksyn sateiden vaikutuksesta. Lähtökohtana selvitykselle voisi

olla uusiomateriaalien käytön ja kestävän kehityksen edistäminen. Tätä tavoitetta voisi palvella myös kulutuskerrosmateriaalin valmistukseen soveltuvien moreenialueiden kartoittaminen. Vastaavasti voisi olla tarpeen kartoittaa ja saattaa sorateiden hoidon parissa työskentelevien tietouteen ne kallioalueet, joilla on mineraalikoostumukseltaan sorastusmurskeeksi heikosti soveltuvaa kiviainesta. Kehitystyön yhteydessä voitaisiin pohtia myös keinoja herättää yleinen mielenkiinto sorateita kohtaan. Tavoitteena tulisi olla osaavan ja motivoituneen työvoiman saatavuuden ja sorateihin liittyvän tutkimuksen jatkuvuuden varmistaminen.

## LÄHTEET

Aho, S., Saarenketo, T. & Kolisoja, P. (2005). Kelirikkokorjausten suunnittelu ja rakentaminen, Tiehallinnon selvityksiä 64/2005, Tiehallinto, Helsinki, 1-70 s.

Ala-Heikkilä, M. (2017). Pirkanmaan huonokuntoisimmat soratiet ovat kaikki yhdessä ja samassa kunnassa – Helpotusta on luvassa ensi kesänä, Aamulehti, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 19.9.2018): <https://www.aamulehti.fi/uutiset/pirkanmaan-huonokuntoisimmat-soratiet-ovat-kaikki-yhdessa-ja-samassa-kunnassa-helpotusta-on-luvassa-ensi-kesana-200548359/>.

Ala-Heikkilä, M. (2018). Hyviä uutisia Nokian ja Sastamalan sorateille: Kaikki vellisoran kiusaamat kymmenen tietä saavat remontin, Aamulehti, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 20.9.2018): <https://www.aamulehti.fi/uutiset/hyvia-uutisia-nokian-ja-sastamalan-sorateille-kaikki-vellisoran-kiusaamat-kymmenen-tieta-saavat-remontin-201165625>.

Dietrich, J., Junes, J. & Nevalainen, N. (2017). Liikenneväylien korjausvelka 2017, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 44, Liikennevirasto, Helsinki, 1-36 s.

Ehrola, E. (1996). Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet, Rakennustieto, Helsinki, 1-365 s.

Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus (2017). Uudenlaisella avoimuudella ja yhteistyöllä parempaan tien hoitoon, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 23.10.2018): [http://www.ely-keskus.fi/web/ely/uutiset-2017/-/asset\\_publisher/6pelev7oOOiP/content/uudenlaisella-avoimuudella-ja-yhteistyolla-parempaan-tien-hoitoon](http://www.ely-keskus.fi/web/ely/uutiset-2017/-/asset_publisher/6pelev7oOOiP/content/uudenlaisella-avoimuudella-ja-yhteistyolla-parempaan-tien-hoitoon).

Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus (2018a). Tienpidon pitkä historia: kuokasta älykkään teknologian hyödyntämiseen, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.9.2018): [http://www.ely-keskus.fi/web/ely/tienpidon-pitka-historia?p\\_p\\_id=122\\_INSTANCE\\_aluevalinta&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_r\\_p\\_564233524\\_resetCur=true&p\\_r\\_p\\_564233524\\_categoryId=14403](http://www.ely-keskus.fi/web/ely/tienpidon-pitka-historia?p_p_id=122_INSTANCE_aluevalinta&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_r_p_564233524_resetCur=true&p_r_p_564233524_categoryId=14403).

Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus (2018b) Kunnossapito, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 18.9.2018): <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/kunnossapito2>.

Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskus (2018c). Soratiekunnostus on käynnistynyt Nokian Sorvantiellä ja Tolpantiellä (Pirkanmaa), Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 12.10.2018): <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/-/soratiekunnostus-on-kaynnistynyt-nokian-sorvantiella-ja-tolpantiella-pirkanmaa->.

Fredlund, D.G. & Rahardjo, H. (1993). Soil mechanics for unsaturated soils, John Wiley & Sons, New York, 517 s.

Han, C. (1992). Dust control on unpaved roads, 92-07, Minnesota Department of Transportation, St. Paul, 33 s. Saatavissa: <http://dotapp7.dot.state.mn.us/research/pdf/199207.pdf>.

Ilola, A., Valli, R., Tevä, H., Leskinen, A., Ikäheimo, A., Karessuo, L., Lötjönen, M. & Suomalinen, A. (2017). Liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalan virastouudistus. Vaikutusten arviointi, Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 22/2017, Liikenne- ja viestintäministeriö, 1-78 s. Saatavissa: <http://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160515/Julkaisuja%2022-2017%20LVMn%20hallinnonalan%20virastouudistus-Vaikutusten%20arviointi.pdf?sequence=1>.

Kaarela, O. (2003). Sorateiden pölynsidonta-aineiden ympäristövaikutuksia, Tiehallinnon selvityksiä 23/2003, Tiehallinto, Helsinki, 93 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3200811v\\_sorateiden.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3200811v_sorateiden.pdf).

Kalliainen, A., Kuula, P. & Leppänen, M. (2018). Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus. Vuoden 2017 tutkimukset, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2018, Liikennevirasto, Helsinki, 106 s.

Kauranne, L.K., Gardemeister, R., Korpela, K. & Mälkki, E. (1972). Rakennusgeologia II, Toinen korjattu painos ed. Otakustantamo, Espoo, 530 s.

Kuula, P. (2018a). CE-merkinnän perusteet, esitelmä, 1-15 s.

Kuula, P. (2018b). Inframateriaalien CE-merkintä, esitelmä, 1-19 s.

Lappalainen, J. (2018a). Liikennejärjestelmäasiantuntija, Pohjois-Savon ELY-keskus, puhelinhaastattelu, Haastattelu 2.11.2018.

Lappalainen, J. (2018b). Maitotiepilotti maitoautot olosuhdetiedon tuottajana, Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus, esitelmä, 24 s.

Levä, K., Lehtomäki, K., Kurkela, I., Lilja, E., Pakarinen, O., Rantala, T., Piltz, M., Rantamo, E. & Lehtonen, T. (2008). TVH : valtion tiet, Mobilia säätö, Savion Kirjapaino, Kerava, 93 s.

Liikennevirasto (2015). Maanteiden hoidon ja ylläpidon tuotekortit, Hoidon ja ylläpidon alueellinen versio 30.1.2015, Liikennevirasto, Helsinki, 44 s.

Liikennevirasto (2014). Sorateiden kunnossapito, Liikenneviraston ohjeita 1/2014, Liikennevirasto, Helsinki, 1-72 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo\\_2014-01\\_sorateiden\\_kunnossapito\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf).

Liikennevirasto (2017). Sorateiden pintakelirikon tunnistaminen. BIFI-projektin laajennus, Liikennevirasto, julkaisematon selvitys, luonnos 19.4.2017, 34 s.

Liikennevirasto (2010). Tietilasto 2009, Liikenneviraston tilastoja 2 2010, Liikennevirasto, Helsinki, 1-82 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lti\\_2010-02\\_tietilasto.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lti_2010-02_tietilasto.pdf).

Liikennevirasto (2018). Tietilasto 2017, Liikenneviraston tilastoja 5/2018, Liikennevirasto, Helsinki, Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lti\\_2018-05\\_tietilasto\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lti_2018-05_tietilasto_web.pdf).

Lipponen, K. (2018). Aluevastaava, Keski-Suomen ELY-keskus, puhelinhaastattelu, Haastattelu 9.11.2018.

- Lämsä, V.P. (2005). SOP teiden ylläpito, Sisäisiä julkaisuja 39/2005, Tiehallinto, Helsinki, 1-28 s. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/4000476-vsop-teidenyllapito.pdf>.
- Meriläinen, A. & Ruonakoski, A. (2007). Soratieksi palauttamisen vaikutukset tienpitäjän ja tienkäyttäjän näkökulmista, Tiehallinnon selvityksiä 39/2007, Tiehallinto, Kuopio, 1-52 s. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139382/4584tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Miskovsky, K., Duarte, M.T., Kou, S.Q. & Lindqvist, P.-. (2004). Influence of the mineralogical composition and textural properties on the quality of coarse aggregates, Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 13(2), s. 144-150.
- Paikallissää. Havaintojen lataus, Ilmatieteen laitos, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.10.2018): <https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>.
- Pekkala, H. (2011). Tielaitoksen jakaminen tiehallinnoksi ja tieliikelaitokseksi. Aikakauden eläneiden omakohtaisia kokemuksia, Mobilia säätiö, Jyväskylä, 1-78 s.
- Peltonen, P. (2003). Puujauhon käytön arviointi soratien pölynsidonnassa, Tiehallinnon selvityksiä 15/2003, Tiehallinto, Vaasa, 1-37 s. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf/3200804.pdf>.
- Perälä, M. & Valkeisenmäki, A. (2002). Alempiasteisten teiden taloudellinen ylläpito, Tiehallinnon selvityksiä 45/2002, Tiehallinto, Helsinki, 1-39 s.
- Perälä, M., Valkeisenmäki, A., Weckström, L. & Penttinen, O. (2006). S 14 Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito Yhteenveto, Tiehallinnon selvityksiä, Tiehallinto.
- Pesonen, J. (2012). Oulun biotuhkien fraktiointi, kemialliset ominaisuudet ja hyötykäyttöpotentiaali, Oulun yliopisto, Kemian laitos, Oulu, 1-132 s.
- Pylkkänen, K. (2005). S14 Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito: Tuotantotekniikan ja koerakentamisen työryhmä. Koerakentamishanke: Kunnossapitomurskeen koossapysyvyys, Suonenjoki 2004. Loppuraportti 16.12. 2005, Tiehallinto, 1-19 s.
- Pylkkänen, K. (2008). Vaasan tiepiirin pintakelirikkoiset soratiet, Tampereen teknillinen yliopisto, Tampere, 1-27 s. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/3201092-v-pintakelirikkoselvitys.pdf>.
- Pylkkänen, K. & Nurmikolu, A. (2015). Routa ja routiminen ratarakenteessa, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2015, Liikennevirasto, Helsinki, 1-244 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts\\_2015-22\\_routa\\_routiminen\\_web.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2015-22_routa_routiminen_web.pdf).
- Rantanen, T., Männistö, V., Hätälä, E. & Talka, T. (2005). SORAVOL - Oulun, Lapin ja Vaasan tiepiirien sorateiden palvelutaso, Tiehallinnon selvityksiä 39/2005, Tiehallinto, Helsinki, 1-126 s.
- Rantanen, T., Pylkkänen, K. & Kasari, T. (2008). Pintakelirikkoselvitys, Tiehallinnon selvityksiä 12/2008, Tiehallinto, Helsinki, 1-64 s. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/3201092-v-pintakelirikkoselvitys.pdf>.

Raukola, T. (2018). Myyntiedustaja, TRWays, Väylät & Liikenne 2018 Tampere, Haastattelu 5.9.2018.

Ruosteenoja, K. (2014). Ilmastonmuutos v. 2013: Luonnontieteellinen perusta. Yhteenveto päätöksentekijöille suomeksi. Hallitustenvälinen ilmastonmuutospaneeli (IPCC) Ilmatieteen laitos, 1-36 s. Saatavissa: <https://ilmatieteenlaitos.fi/documents/30106/42362/ipcc5-yhteenveto-suomenos.pdf/4332dffbd-72-41c9-a23d-24215c5cbbac>.

Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Jylhä, K., Mäkelä, H., Lehtonen, I., Simola, H., Luomaranta, A. & Weiher, S. (2013). Maailmanlaajuisiin CMIP3-malleihin perustuvia arvioita Suomen tulevasta ilmastosta, Raportteja 2013:4, Ilmatieteen laitos, Helsinki, 1-93 s. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/42362>.

Ruotoistenmäki, A., Valkeisenmäki, A., Venäläinen, A., Mäkelä, O., Sipilä, J., Jylhä, K., Savolainen, S. & Laapas, M. (2009). Ilmastonmuutoksen vaikutus tiestön hoitoon ja ylläpitoon, Tiehallinnon selvityksiä 8/2009, Tiehallinto, Helsinki, 1-80 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/3201122-v-ilmastonmuutoksen\\_vaikutus\\_kunnossapitoon.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf2/3201122-v-ilmastonmuutoksen_vaikutus_kunnossapitoon.pdf).

Saarenketo, T. (2000). Maatutkatekniikan käyttö sorateiden kulutuskerrostutkimuksissa, Tielaitoksen selvityksiä 16/2000, Tielaitos, Oulu, 1-43 s.

Saarenketo, T. (2000). Tube suction test: sitomattomilla murskeilla suoritettujen rengastestien tulokset, Tielaitoksen selvityksiä 20/2000, Tielaitos, Rovaniemi, 1-41 s. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/138942/4142tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Saarenketo, T. & Aho, S. (2005). Managing spring thaw weakening on low volume roads. Problem description, load restriction policies, monitoring and rehabilitation, Roadex Publications Roadex, Saatavissa: [http://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/2\\_3-Spring\\_Thaw\\_Weakening\\_l.pdf](http://www.roadex.org/wp-content/uploads/2014/01/2_3-Spring_Thaw_Weakening_l.pdf).

Salmenkaita, S. (1993). Moreenin jalostaminen, Tielaitoksen selvityksiä Tielaitos, Oulu, Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/83993761.pdf>.

Soukkio 2018a Soukkio. Tuotteet / tielanat, Soukkio Oy, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.9.2018): <https://soukkio.fi/tuotteet/tielanat/>.

Suomen tieyhdistys 2018a Yleistä yksityisteistä, Suomen Tieyhdistys, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 7.12.2018): <https://www.tieyhdistys.fi/yksityistiet/yleista-yksityisteista/>.

The ROADEX Network 2007 Suunnittelu pysyviä muodonmuutoksia vastaan, The ROADEX Network, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.9.2018): <https://www.roadex.org/fi/e-learning/kurs-sit/pysyvat-muodonmuutokset/7-suunnittelu-pysyvia-muodonmuutoksia-vastaan/>.

Tiehallinto (2008a). Sorateiden hoidon ja ylläpidon toimintalinjat, Toiminta- ja suunnitelma-asiakirjat TIEH 1000205-v-08, Tiehallinto, Helsinki, 1-44 s. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/133336/tie1788.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Tiehallinto (2008b). Sorateiden pintakunnon määrittäminen, Tiehallinnon julkaisuja TIEH 2200055-v-08, Tiehallinto, Helsinki, 1-24 s. Saatavissa: [https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2200055-v-08sorateiden\\_pintakunnon\\_maarittaminen.pdf](https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2200055-v-08sorateiden_pintakunnon_maarittaminen.pdf).

- Torniainen, S. (2017). Uusiomateriaalien käytön ohjeistuksen ja hankekäytäntöjen kehitystarpeet ja mahdollisuudet tierakentamisessa, 1-133 s. Saatavissa: <http://jultika.oulu.fi/files/nbnfioulu-201801101018.pdf>.
- Valkeisenmäki, A., Nousiainen, A., Mroueh, U. & Mäkelä, E. (2007). Sivutuotteiden käyttö tierakenteissa, Muu ohjaus 2100041-07, Tiehallinto, Helsinki, 1-80 s. Saatavissa: <https://julkaisut.liikennevirasto.fi/thohje/pdf/2100041-v-07-sivutuoteohje.pdf>.
- Valkonen, A. (2018). Diplomi-insinööri, Via Blanca Oy, puhelinhaastattelu, Haastattelu 3.8.2018.
- Valtioneuvosto (2018a). Maakuntauudistus ja liikenne, Valtioneuvosto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.11.2018): [https://alueuudistus.fi/liikenne?p\\_p\\_id=56\\_IN-STANCE\\_KfkbZHD8YSib&p\\_p\\_lifecycle=0&p\\_p\\_state=normal&p\\_p\\_mode=view&p\\_p\\_col\\_id=column-2&p\\_p\\_col\\_count=2&\\_56\\_IN-STANCE\\_KfkbZHD8YSib\\_languageId=fi\\_FI](https://alueuudistus.fi/liikenne?p_p_id=56_IN-STANCE_KfkbZHD8YSib&p_p_lifecycle=0&p_p_state=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_count=2&_56_IN-STANCE_KfkbZHD8YSib_languageId=fi_FI).
- Valtioneuvosto (2018b). Mitkä ovat maakunnat?, Valtioneuvosto, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 15.11.2018): <http://omamaakunta.fi/#map>.
- Valtioneuvosto (2005). Valtioneuvoston selonteko Eduskunnalle tielaitosuudistuksesta, VNS 3/2005, Valtioneuvosto, 1-51 s. Saatavissa: [https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/selonteko/Documents/vns\\_3+2005.pdf](https://www.eduskunta.fi/FI/vaski/selonteko/Documents/vns_3+2005.pdf).
- Valtiontalouden tarkastusvirasto (2006). Teiden kunnossapito tielaitosuudistuksen jälkeen, Valtiontalouden tarkastusvirasto, Helsinki, 138 s.
- Vuorimies, N. (2017). Hydrofobisten koekohteiden seurannat vuoteen 2015, Liikennevirasto, Helsinki, 1-164 s. Saatavissa: [http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134742/lr\\_2017\\_hydrofobisten\\_978-952-317-397-2.pdf?sequence=2](http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/134742/lr_2017_hydrofobisten_978-952-317-397-2.pdf?sequence=2).
- Vuorimies, N., Kolisoja, P., Saarenketo, T. & Peltoniemi, H. (2004). Väylämateriaalien vuodenaikaiskäyttötymisen tutkimukset 2001-2003, Tiehallinnon selvityksiä 4/2004, Tiehallinto, Helsinki, 1-34 s. Saatavissa: <http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139173/4381tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Yliheikkilä, T. (1998). Kemiallisen koostumuksen vaikutus murskeiden vedenherkkyyteen, Tielaitoksen tutkimuksia, Tielaitos, Oulu, s. 1-111.
- Ympäristöministeriö (2018). Rakennustuotteita koskeva lainsäädäntö, Ympäristöministeriö, verkkosivu. Saatavissa (viitattu 29.11.2018): [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakennustuotteita\\_koskeva\\_lainsaadanto](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennustuotteita_koskeva_lainsaadanto).



## LIITE A: HAASTATELLUT HENKILÖT

Oiva Huuskonen, Destia

Antti Kalliainen, TTY

Pirjo Kuula, TTY

Rauno Kuusela, Destia

Otto Kärki, Liikennevirasto

Janne Lappalainen, POS ELY

Markku Leskinen, Destia

Kalevi Lipponen, KES ELY

Asko Pöyhönen, VAR ELY

Tuomas Rissanen, Destia

Anne Valkonen, Via Blanca

Pertti Valo, PIR ELY

## LIITE B: HAASTATTELUKYSYMYKSET

1. Mitkä ovat kolme tärkeintä asiaa sorateiden hoidossa?
2. Mitkä ovat sorateiden hoidon kolme suurinta haastetta?
3. Miten sorateiden kunnoninventointi toteutetaan?
4. Oletteko havainneet muuttuneen ilmaston vaikuttaneen sorateiden hoitoon? (aika-jänne, jolla muutoksia arvioitte?) Jos kyllä, millaisia vaikutuksia on ollut?
5. Onko sorateiden hoitoon liittyvä tietämys ja koulutus riittävää? Jos ei, niin mitä täydennystarpeita näet?
6. Onko sorastustoimenpiteessä ja sorastusmurskeen valinnassa kehitettävää? Mitä?
7. Pitäisikö sorastusmurskeet mielestänne CE-merkitä? Mitä vaikutuksia arvioisitte CE-merkintämenettelyllä olevan nykytilaan verrattuna?
8. Millä perusteella valikoitte käytettävän sorastusmurskeen?
9. Onko sorateiden muokkaamisessa käytettävään kalustoon liittyvässä ohjeistuksessa ja vaatimuksissa kehitettävää? Mitä?
10. Esiintyykö pintakelirikkoa alueellanne? Mihin aikaan vuodesta ja millaisissa olosuhteissa?
11. Onko pintakelirikon hoidon ohjeistus mielestänne kunnossa? Jos ei ole, niin mitä täydennystarpeita näette?
12. Mitä mieltä olette soratieksi palauttamisesta yhtenä rakenteen parantamisen keinoista? Miksi? Onko sitä tehty jollain alueella erityisen paljon?
13. Onko hoitourakoiden valvonnassa kehitettävää? Jos on, mitä?
14. Onko hoitotoimenpiteisiin liittyvässä (laadun) raportoinnissa ja -järjestelmissä kehitettävää? Onko raportointivaatimuksissa kehitettävää? Jos on, mitä?
15. Mitä muita tutkimus- ja kehittämistarpeita näette sorateiden hoidon ja pintakelirikon saralla?