



ROADEX III
NORTHERN PERIPHERY



Timo Saarenketo

VÄHÄLIKENTEISTEN TEIDEN

MONITOROINTI

Tiivistelmä

Vähäliikenteisten teiden monitorointi
TIIVISTELMÄ
ELOKUU 2006

Timo Saarenketo
Roadscanners Oy

ESIPUHE

Tämä raportti on yhteenveto vuoden 2005 ROADDEX II –raportista “Monitoring, Communication and Information Systems & Tools for Focusing Actions”, jonka on kirjoittanut Timo Saarenketo Roadscanners Oy:stä, Suomesta.

Raportissa kuvaillaan yleisesti erilaisia tien kunnan monitorointiin liittyviä järjestelmiä ja tehdään yhteenveto nykyisistä ja tulevaisuuden monitorointiprosesseista, mukaan lukien sensoritekniikka. Lisäksi raportissa esitetään ideoita uusista monitorointijärjestelmistä, joita on mahdollista käyttää Pohjoisen Periferian vähäliikenteisten teiden kunnan hallinnassa.

Raportin on kirjoittanut Timo Saarenketo Roadscanners Oy:stä, Suomesta. Raportin englanninkielisen alkuperäisversion kieliasun on tarkastanut Roadex III –hankkeen projektipäällikkö Ron Munro. Mika Pyhähuhta Laboratorio Uleåborgista on suunnitellut raportin ulkoasun.

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

Tekijänoikeudet © 2006 Roadex III -hanke

Kaikki oikeudet pidätetään.

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

SISÄLLYSLUETTELO

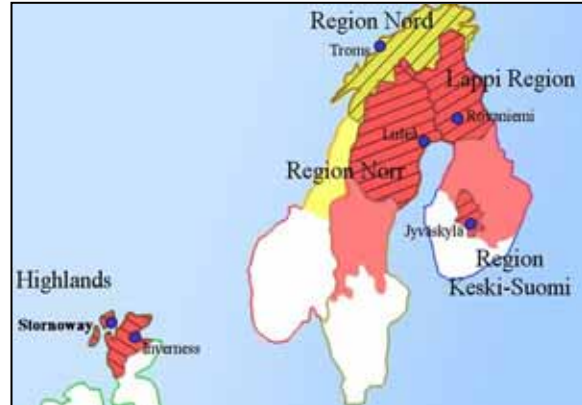
KAPPALE 1. JOHDANTO.....	5
KAPPALE 2. MONITOROINTI	7
3 TALVIKUNNOSSAPIDON UUDET MONITOROINTITYÖKALUT JA -KÄYTÄNNÖT	9
4 RAKENTEELLISEN KUNNON MONITOROINTI.....	13
5 TOIMINNALLINEN KUNTO JA SEN MONITOROINTITYÖKALUT	17
6 KELIRIKON MONITOROINTI	19
7 KULJETUSTEN MONITOROINTI.....	19
8 KESKITTÄMINEN TIEN KÄYTTÄJIEN TARPEISIIN.....	19
9 TOIMENPITEIDEN KESKITTÄMINEN OIKEILLE ALUEILLE.....	19
10 MONITOROINTIJÄRJESTELMIEN SUUNNITTELU.....	19
12 YHTEENVETO	19
13 LÄHTEET	19

Kappale 1. JOHDANTO

1.1 ROADEX -PROJEKTI

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

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



Kuva 1: Pohjoisen Periferian alue ja Roadex II -yhteistyökumppanit

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

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

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

1.2 FOKUSOINTIA PARANTAVAT UUDET TEKNIIKAT VÄHÄLIIKENTEISILLÄ TEILLÄ

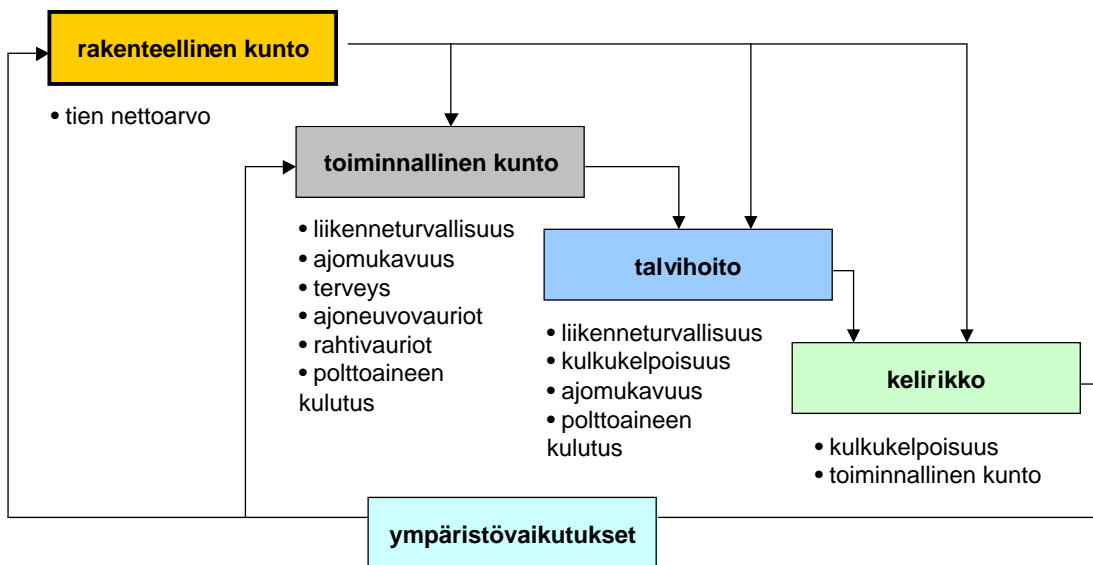
Yleinen suuntaus Pohjoisen Periferian vähäliikenteisten teiden ylläpidossa on se, että merkittävät lisäykset teiden kunnan parantamiseen käytössä olevaan valtion rahoitukseen ei ole tiedossa lähitulevaisuudessa. Siksi käytettävissä oleva rahoitus on saatava tuottamaan paremmin, ja tämä edellyttää vanhenevan vähäliikenteisen tieverkon kunnossapidossa ja kunnostuksessa uusien tekniikoiden käyttöönottoa. Avainvastaus näihin haasteisiin on fokuointi. Tuottavuutta voidaan parantaa fokuoimalla 1) tien käyttäjien tarpeisiin, 2) toimenpiteiden ajoitukseen, 3) oikeaan paikkaan ja 4) ongelmien oikeaan diagnoosiin ja tällä perusteella huolellisesti valittaviin ja käytettäviin ongelma-kohteiden hoito ja ylläpitotekniikoihin

Viimeisimpien vuosien aikana modernit sensoritekniikat ovat kehittyneet nopeasti, ja kun nämä tekniikat yhdistetään uusiin paikannustekniikoihin (mm. GPS, global positioning systems) ja langattomaan tieto- ja viestintätekniikkaan, on vähäliikenteisten teiden kunnan hallinnassa mahdollista hyödyntää lukuisia eri menetelmiä. Vähäliikenteisellä tieverkostolla päivittäin kulkeviin ajoneuvoihin kiinnitettävät uudet sensorit luovat myös uusia mahdollisuuksia toimenpiteiden kohdentamiseen ja tehostamiseen tieverkolla.

Tämän projektin päätehtävänä on ollut laatia raportti, jossa selvitetään uuden sensoritekniikan käyttömahdollisuuksia reaaliaikaisen tiedon keräämisessä tien kunnosta, ajoneuvokuormista, liikenneturvallisuusriskeistä jne. Lisäksi raportissa kerrotaan, miten kerätyt tiedot tulisi lähettää jatkokäsiteltäviksi ja analysoitaviksi – sekä päätöksen teon pohaksi. Lisäksi kerrotaan miten tietoja voidaan tarvittaessa siirtää paikallisten tien hotiitiimien ja tien käyttäjien käyttöön.

Kappale 2. Monitorointi

Vähäliikenteisten teiden kunnan hallinta Pohjoisen Periferian alueella voidaan yleisesti ottaen jakaa neljään osa-alueeseen, joilla kaikilla on omat erityisiä monitorointitekniikoita ja –toimenpiteitä vaativat ongelmansa. Nämä neljä aluetta ovat talvikunnossapito, tien toiminnallisen kunnan varmistaminen kesällä, tieverkon rakenteellisesta kunnosta huolehtiminen ja kelirikon hallinta. Kuvassa 2 kuvataan tarkemmin näitä osa-alueita ja niihin liittyviä muuttujia. Lisäksi EU:n raporteissa on esitetty, että tulevaisuudessa myös ‘ympäristövaikutuksia’ tulisi monitoroida tien hallinnan yhteydessä. Edelleen on olemassa joitakin muita erityisalueita, kuten kuljetusten hallinta, akselikuormat ja raskaiden ajoneuvojen kokonaispaino sekä tien käyttäjien tarpeet, joita olisi myös jatkossa monitoroitava vähäliikenteisillä teillä. Näitä aiheita käsitellään myöhemmin tässä raportissa.



Kuva 2. Pohjoisen Periferian tien kunnan hallinnan pääalueet, niiden sisäiset yhteydet ja päänäkökohdat teiden ylläpitäjien kannalta.

Taulukossa 1 tehdään yhteenveto jokaisen tien kunnan hallinnan osa-alueiden kriittisistä parametreista, niiden tärkeimmistä monitorointityökaluista sekä lisäksi teiden omistajille ja käyttäjille aiheutuvista seurauksista, jos mainittuja toimenpiteitä ei toteuteta oikeaan aikaan ja oikealla tavalla. Myöhemmin raportissa käsitellään myös uusia monitorointitekniikoita ja –parametreja.

Taulukko 1. Vähäliikenteisten teiden hallintakategoriat, niiden kriittiset parametrit, monitorointitekniikat ja teiden omistajille ja käyttäjille aiheutuvat seuraukset, jos sopivia toimenpiteitä ei toteuteta.

	Talvikunnossapito	Toiminnallinen kunto	Rakenteellinen kunto	Kelirikko
Kriittiset parametrit	<ul style="list-style-type: none"> - kitka (jää, musta jää) - lumipolanne - tuiskulumi - lumipöly 	<p><u>Kaikilla teillä</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - pituussuuntainen epätasaisuus - kitka - töyssyt - urautuminen - kuopat <p><u>Sorateilla</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - ”nimismiehen pykälät” - pölyäminen - kiinteys 	<ul style="list-style-type: none"> - kuivatus - taipumat - routanousu - halkeamat - pysyvät muodonmuutokset (urautuminen) - epätasaisuus - painuminen 	<ul style="list-style-type: none"> - pysyvät muodonmuutokset (nopea urautuminen) - halkeamat - tien pinta muuttuminen plastiseksi
Seuraukset tien käyttäjille – jos laiminlyöntejä on tapahtunut	<ul style="list-style-type: none"> - liikenne-turvallisuuden heikentyminen - kulut viivästymisistä - katkokset tien käytössä - huonontunut ajomukavuus - lisääntynyt polttoaineen kulutus 	<ul style="list-style-type: none"> - huonontunut ajomukavuus - terveydelle haitallinen ääriä - ajoneuvovauriot - rahtivauriot - lisääntynyt polttoaineen kulutus - liikenne-turvallisuuden heikentyminen - kulut viivästymisistä 	<ul style="list-style-type: none"> - ei suoria lyhytaikaisia vaikutuksia - heikentynyt toiminnallinen kunto pitkällä aikavälillä 	<ul style="list-style-type: none"> - huonontunut ajomukavuus - lisääntyneet kuljetuskustannukset - huono tai olematon kulkukelpoisuus - ajoneuvovauriot - kulut viivästymisistä
Seuraukset tien omistajille – jos laiminlyöntejä on tapahtunut	<ul style="list-style-type: none"> - lisääntyneet kunnossapitokustannukset - negatiivinen palaute tien käyttäjiltä 	<ul style="list-style-type: none"> - lisääntyneet kunnossapitokustannukset - negatiivinen palaute tien käyttäjiltä 	<ul style="list-style-type: none"> - lisääntyneet kunnossapitokustannukset - lisääntyneet kunnostuskustannukset & tiheämmät kunnostusvälit - tien omaisuusarvon aleneminen 	<ul style="list-style-type: none"> - tievaurioiden lisääntyminen - kasvaneet elinkaari-kustannukset - painorajoitusten rikkojat - negatiivinen palaute tien käyttäjiltä
Monitorointi- ja tutkimus-tekniikat	<ul style="list-style-type: none"> - sääasemat - säätutkat - lumensyvyysmittarit - sääennusteet - kitkamittaukset - palaute tien käyttäjiltä - visuaaliset tarkastukset 	<ul style="list-style-type: none"> - visuaaliset tarkastukset - tasaisuusmittaukset (päälystetyillä teillä) - kiihtyvyyssanturit (erit. sorateilla) - laserkeilaimet - palaute tien käyttäjiltä - mittauslaitteilla varustetut hyötyajoneuvot (esim. postiautot) 	<ul style="list-style-type: none"> - kosteusanturit - kuivatuksen kontrolloiminen - pudotuspainolaitemittaukset - maatumka-luotaus - urautumisnopeuden mittaus - visuaalinen tarkastus 	<ul style="list-style-type: none"> - DCP - Percoasemat & vastaavat monitorointiasemat - lämpötilan mittaussanturit - Pudotuspainolaitteet (myös kannettavat) - visuaalinen tarkastus - tien käyttäjien hallinta

3 Talvikunnossapidon uudet monitorointityökalut ja –käytännöt

Pohjoisen Periferian tieviranomaisten suurimmat ongelma-alueet ovat tien kunto, liikenneturvallisuus ja kulkukelpoisuus talven aikana, ja siksi suurin osa tien kunnossapitorahoituksesta kuluu talvikunnossapitoon.

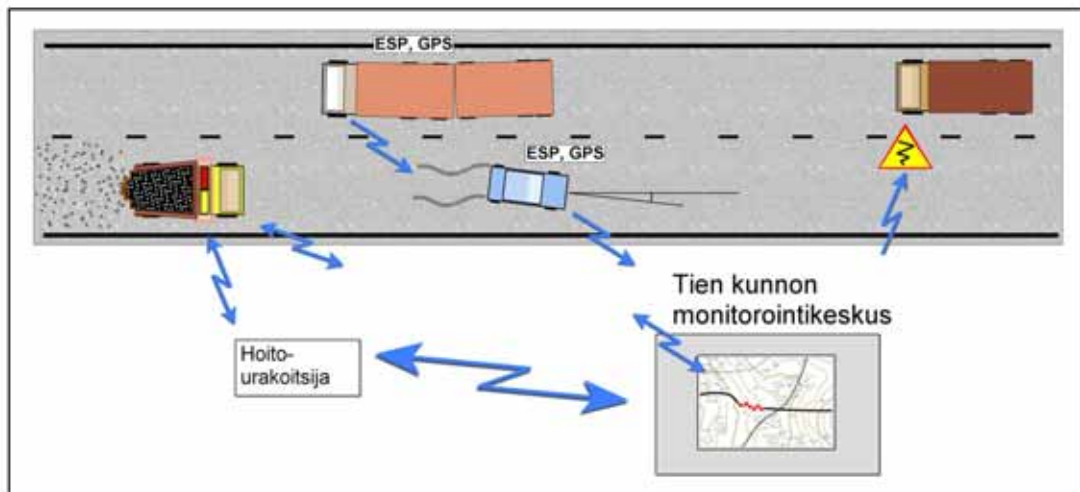
Talvikunnossapidon ongelmat jätettiin pois ROADEx II –projektin tutkimuksista, koska talven sääolosuhteet vaihtelevat paljon eri puolilla Pohjoista Periferiaa. Seuraavassa esitellään kuitenkin joitakin ideoita ROADEx II –projektin aikana käydyissä keskusteluissa esiinnousseista tulevaisuuden monitorointitekniikoista ja ideoista, joita voidaan hyödyntää vähäliikenteisillä teillä.

Vähäliikenteisen tieverkon hoidossa on aina ongelmana tarpeeksi nopea reagointi muuttuviin talviolosuhteisiin. Sääennusteiden, -asemien ja monitorointijärjestelmien kautta saadaan pääasiassa luotettavaa tietoa kunnossapitoa varten. Sään vaihtelut voivat kuitenkin joskus olla niin paikallisia tai arvaamattomia, että hoitotiimeille ei saada tarpeeksi ajoissa tietoja huonoista tieolosuhteista tarpeeksi ajoissa. Yksi ratkaisu tähän ongelmaan voisi olla paikallisten ajoneuvojen (taksien, koulubussien ym.) varustaminen tieolosuhteiden monitorointi-instrumenteilla ja vaarallisista olosuhteista automaattisesti raportoivilla laitteilla.

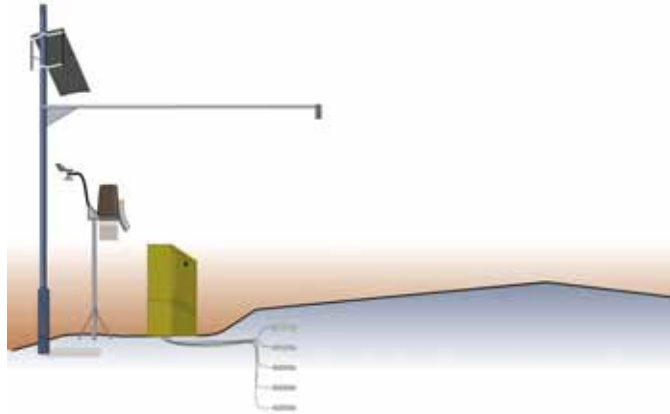
Kun tunnetaan autoteollisuuden nykyiset tekniset kehityssuunnat, ei ole mahdotonta ajatella, että tulevaisuudessa suurin osa autoista, ellei kaikki, varustetaan toisaalta GPS- ja toisaalta ESP- tai muilla vastaavilla sivuluistoa kontrolloivilla järjestelmillä. Näissä järjestelmissä on ohjaukskulma-anturit, ohjauspyörän kääntönopeusmittarit sekä sivukiihtyvyyssanturit, ja niillä voidaan tuottaa hyvin arvokasta reaaliaikaista tietoa talven ajo-olosuhteista.

Tulevaisuudessa esimerkiksi koulubussit, takset ja postiautot voidaan varustaa järjestelmillä, jotka lähettävät matkapuhelimella valvontakeskukseen GPS-koordinaatteja kohdista, joissa ESP-järjestelmä on aktivoitunut (kuva 3). Näitä ”punaisia pisteitä” voidaan sitten pitää indikaattoreina huonoista tieolosuhteista ja kunnossapitotoimenpiteiden mahdollisesta tarpeellisuudesta. Tällaisen järjestelmän avulla saadaan tietoja, jotka erityisesti niitä lähettävälle ajoneuvolle voivat tulla liian myöhään, mutta joiden avulla on kuitenkin mahdollista varoittaa muita tien käyttäjiä huonoista ajo-olosuhteista radion tai ajoneuvon muiden informaatiojärjestelmien kautta. Toinen järjestelmän etu on se, että näistä tiedoista voidaan pitkällä aikavälillä saada selville, mitkä osat tiestä muuttuvat aina ensimmäisinä liukkaiksi, ja siten kunnossapitotoimenpiteitä ja jopa uusia rakenneratkaisuja voidaan kohdistaa näille alueille.

Muita uusia, vähäliikenteisten teiden kunnon hallintaan soveltuvia tekniikoita ovat sääasemat ja ultraäänellä toimivat lumensyvyysanturit. Sääasemia on perinteisesti sijoitettu vain pääteiden varrelle, sillä ne ovat kalliita ja tarvitsevat lähelle puhelinlinjoja. Nykyisin sääasemien hinnat ovat kuitenkin tippuneet yksittäiselle asemalle tarvittavien laitteistojen kustannusten alenemisen myötä 1000 – 2000 euroon. Tiedonsiirto voidaan hoitaa matkapuhelinverkon kautta ja virranlähteenä voidaan käyttää aurinkopaneeleja. Näitä asemia voidaan asentaa samoihin kohtiin kelirikon monitorointiasemien kanssa, ja lisäksi ne voidaan integroida asemaan siten, että myös sademäärää ja haihduntaa voidaan monitoroida (kuva 4). Tällaisten antureiden asentaminen ei ainoastaan auttaisi lumensyvyyden mittaamisessa talvikunnossapidon toimenpiteiden sijoittamista varten, vaan niiden avulla voitaisiin myös valvoa kuinka tehokkaasti urakoitsijat selviytyvät talvikunnossapidon toimenpiteistä.



Kuva 3. Esimerkki reaaliaikaisesta tiekitkan monitorointijärjestelmästä.



Kuva 4. Periaatekaavio Percoaseman ja sääaseman yhdistävästä integroidusta järjestelmästä, joka on suunniteltu käytettäväksi vähäliikenteisillä teillä. Percoaseman mittaamien parametrien lisäksi (ks. kpl 6.3), sääasema mittaa lämpötilaa, tuulta, sademäärää sekä haihduntaa, ja lisäksi se on varustettu lumen paksuutta tien pinnalta mittaavalla anturilla. Järjestelmä tuottaa tarvitsemansa virran aurinkopaneelilla ja lähettää tiedot eteenpäin GPRS-järjestelmän kautta.

ROADEX II –projektissa on reaaliaikaisten monitorointitekniikoiden arvioimisen lisäksi keskusteltu ideasta, jonka avulla voidaan parantaa talvikunnossapidon tasoa erityisesti syrjäseutujen vähäliikenteisillä teillä, joilla tapahtuu puutavarakuljetuksia. Seuraavssa esitettävän idean mahdollistaa se, että yhä suurempi osa puutavararekoista on varustettu alusterillä ja hiekanlevittimillä (kuva 5), koska puutavaran kuljetusyritykset ovat ottaneet enemmän vastuuta metsäteiden kunnossapidosta.

Puutavaraa kuljetetaan usein sellaisten yleisten teiden kautta, joilla vain harvoin kulkee muuta liikennettä. Liikenteen vähäisyydestä johtuen nämä tiet ovat häntäsijoilla talvikunnossapidon toimenpiteiden priorosionnin suhteen – mistä seuraa se ironia, että talvikunnossapidon työkaluilla varustetuilla rekoilla on suuria ongelmia ajaa näillä ongelmateillä, kunnes kunnossapito on ne raivannut. Siksi kaikkien etu olisi, että jos puutavaraa kuljettavat kuorma-autot saisivat käyttää kunnossapitotyökalujaan esimerkiksi ankarien lumimyrskyjen aikana tietyillä puunkuljetusreiteillä, pystyisivät kunnossapidon urakoitsijat keskittymään paremmin palvelutason parantamiseen runsasliikenteisimmillä teillä.

Luonnollisesti asialle on esteitä, sillä kunnossapitosopimukset tehdään tiepiirien ja urakoitsijoiden välillä, mutta uudenlaiset yhteistyömallit ja moderni tietotekniikka luovat ongelmaan varmasti kaikkia osapuolia hyödyttävän ratkaisun. Tässä järjestelmässä voitaisiin käyttää samaa tekniikkaa, jota käytetään mm. rahdin ja kelirikko-ongelmien hallinnassa.



Kuva 5. Alusterällä varustettu suomalainen puutavararekka, jota hyödynnetään myös metsäteiden talvikunnossapidossa.

4 Rakenteellisen kunnan monitorointi

Tien rakenteellinen kunto on kriittisin vähäliikenteisen tieverkon nettoarvoon vaikuttavista parametreista. Rakenteellisen kunnan laiminlyönnillä on pitkällä aikavälillä merkittävä vaikutus ylläpitokustannuksiin, mutta toisaalta rakenteelliselta kunnoltaan heikkolaatuinen soratie voi aiheuttaa myös välittömiä ja merkittäviä lyhytaikaisia ongelmia kelirikkokauden aikaisessa kulkukelpoisuudessa. Lisäksi rakenteelliselta kunnoltaan puutteellinen tai heikkolaatuinen kuivatusjärjestelmä voi myös aiheuttaa äkillisiä kulkukelpoisuusongelmia erityisesti voimakkaiden sateiden seurauksena (kuva 6).



Kuva 6. Voimakkaat sateet voivat aiheuttaa merkittäviä eroosio-ongelmia vähäliikenteisillä teillä, jos kuivatusjärjestelmä ei toimi tarpeeksi hyvin.

Rakenteellisen kunnan hallinta ei kuitenkaan ole täysin alhaisen rahoituksen synnyttämä ongelma, vaan tieviranomaiset voisivat myös tehdä useita asioita eri tavalla, jotta tierakenteista voitaisiin pitää parempaa huolta pitkällä aikavälillä. Yksi hyvä esimerkki on kuivatuksen pitäminen paremmalla tasolla. ROADDEX II –projektin raportissa (Berntsen and Saarenketo 2005) osoitetaan selkeästi, että päällysteiden elinikää voidaan pidentää 1,5 – 2,5 –kertaisiksi, jos kuivatusjärjestelmä pidetään kunnossa.

Rakenteellisen kunnan parantamisella voi olla myös kelirikko-ongelmia poistavia ja talvikunnossapitokuluja vähentäviä sekä ajo-olosuhteita parantavia positiivisia vaikutuksia. Esimerkiksi tasaisessa maastossa tai notkelmassa sijaitsevan tien tasauksen nosto (ks. Saarenketo ja Aho 2005, Norem 2001) vähentää lumen kinostumisesta aiheutuvia ongelmia.

Vähäliikenteisen tien rakenteellisen kunnan tason esittämiseen voidaan käyttää useita eri parametreja. Jokaisessa ROADDEX-yhteistyömaassa on yleisesti ottaen samaa merkitystä kuvaava ilmaus tien rakenteelliselle kunnolle (*kantavuus, bearing capacity, bäriighet*). EU:n Cost 325 –raportissa määritellään kantavuuden olevan yleinen käsite, jolla kuvailaan päällysteen kykyä kantaa raskasta liikennettä. Siten ilmaisulla ‘kantavuus’ on hyvin laaja merkitys, eikä sitä voida määritellä pelkkänä lukuarvona. Monet seikat voivat vaikuttaa tien rakenteelliseen kuntoon ja ongelman aiheuttajana voi olla a) huonolaatuinen sidottu päällysrakennemateriaali, b) huonolaatuinen tai liian ohut sitomaton päällysrakennekerros ja c) heikko pohjamaa – mutta syy voi olla myös yksinkertaisesti d) huonosti toimiva kuivatus.

Suomessa tien kantavuutta on perinteisesti kuvattu pudotuspainolaitemittauksista määritellyllä **E2**-arvolla. Tämän, alun perin staattisissa levykuormituskokeissa käytetyn parametrin ongelma on, että E2-arvo on hyvin riippuvainen pohjamaan laadusta. Esimerkiksi jos kallio on hyvin lähellä tien pintaa, ovat E2 arvot aina hyviä, kun taas turpeen päälle rakennettujen tieosien E2-arvot ovat aina huonoja, vaikka tien kuormistuskestävyys olisikin hyvä. Tämän takia projektitasolla tehtävässä kantavuuden arvioinnissa ja tieanalyysissä suositellaan käytettäväksi **SCI-indeksiä** (Surface Curvature Index) kuvaamaan päällysrakenteen yläosan kantavuutta ja **BCI-indeksiä** (Base Curvature Index) kuvaamaan tien kykyä jakaa kuormitusta heikon pohjamaan päällä.

Ruotsissa on kehitetty uusia parametreja kuvaamaan tien kantavuutta. Parametri ”**kantavuusluokka**” (bärförmågklass) on päällysteen alapinnan venymästä ja tien ylittävien standardiakselikuormien määrää käyttävä luokitusmenetelmä, jonka avulla tien kantavuus voidaan luokitella. Kantavuusluokkaa on käytetty onnistuneesti Ruotsissa kuvaamaan Region Mitt –alueen (Keski-Ruotsi) vähäliikenteisten teiden kantavuutta verkkotason analyysissa.

Vähäliikenteisten teiden rakenteellisen kunnan kannalta suurin ongelma Pohjoisen Periferian alueilla on pohjamaan ja sitomattomien materiaalien pehmeneminen sekä pysyvät muodonmuutokset kelirikkokausien aikana (ks. Dawson ja Kolisoja 2005, Saarenketo ja Aho 2005). **Pysyvän muodonmuutoksen riskiä** ei aina voida monitoroida perinteisillä, kesällä tehtävillä kantavuusmittausmenetelmillä. Nyrkkisääntönä on, että vaikka kantavuusluokka- tai E2-arvot olisivat kohtuullisia, saattaa tiellä silti ilmetä ongelmia jäälinsien sulaessa ja/tai pysyvien muodonmuutosten takia – toisaalta, jos arvot ovat huonoja, on tien rakenteellinen kunto aina heikko. Yhdeksi tehokkaaksi pysyviä muodonmuutosriskejä kuvaavaksi arvoksi on osoittautunut tiemateriaalien **dielektrisyysarvo**.

Lopuksi, luotettava keino ongelmien havainnoimiseen päällystetyillä teillä on urasyvyyden kasvunopeuden analysointi. Jos **urautumisnopeus** on keskiarvoa nopeampaa, on syynä todennäköisesti rakenteellisen kunnan puutteet.

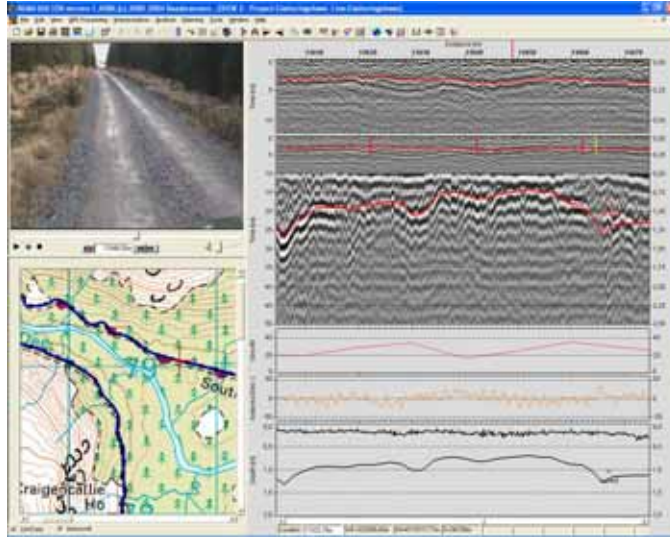
Tien rakenteellista kuntoa voidaan mitata kolmella eri menetelmällä (ks. Cost-raportti 325). Ensimmäinen menetelmä on tierakenteiden paksuuden mittaaminen **maatutkaluotauksella**, toinen menetelmä on tien pinnan taipumien mittaaminen erilaisilla dynaamisilla kuormitusmenetelmillä, kuten **pudotuspainolaitteella**, ja kolmas menetelmä on rakenteellisen kunnan arviointi tien **päällystevaurioiden** ivnetoinnin perusteella. Viimeistä menetelmää voidaan käyttää ainoastaan päällystetyillä teillä, ja silloinkin, kun rakenteellisia ongelmia havaitaan, on usein liian myöhäistä ja kallista toteuttaa kestäviä toimenpiteitä rakenteellisen kunnan parantamiseksi.

ROADEX II –projektissa suositellaan, että yllä mainittuihin vähäliikenteisten teiden rakenteellisen kunnan arviointiin tarkoitettuun työkalupakkiin lisätään vielä vähintään kaksi menetelmää: **kuivatusanalyysi** ja **DCP-menetelmä** (Dynamic Cone Penetrometer). Lisäksi pysyvien muodonmuutosten syntyminen riskiä sitomattomissa materiaaleissa voidaan arvioida tekemällä **Tube Suction** –testit kantavasta kerroksesta otetuille näytteille.

ROADEX II –raportissa (Saarenketo ja Aho 2005) sekä Cost-raportissa 325 (1997) on kuvailtu yllä mainittuja menetelmiä yksityiskohtaisemmin. Suomessa näistä menetelmistä on ollut vähäliikenteisillä teillä rutiinikäytössä maatutkaluotaus, pudotuspainolaitemittaus sekä verkkotason päällystevaurioanalyysi. Sorateilla arvioidaan kuivatuksen kuntoa ja useimmilla teillä projektitason tutkimuksissa käytetään maatutkaluotausta. Ruotsissa käytetään maatutkaluotausta, pudotuspainolaitemittauksia sekä päällystevaurio- ja kuivatuskartoitusta projektitason tutkimuksissa. Norjassa on projektitasolla käytössä samat tekniikat kuin Ruotsissa lukuun ottamatta maatutkaluotausta. Lisäksi Norjassa on onnistuneesti käytetty DCP-tekniikkaa tietutkimuksissa. Skotlannissa ei vielä ole olemassa standardimenettelyä rakenteellisen kunnan arviointiin, vaikka siellä viime vuosina onkin testattu erilaisia tutkimusmenetelmiä.

Skotlannissa Forest Enterprise on aloittanut pilottiprojektin, johon kuuluu metsäautotieverkoston rakenteellisen kunnan arviointi tieverkon tasolla (kuva 7). Näissä testeissä metsäautoteitä tutkitaan maatutkaluotauksilla ja pudotuspainolaitteella. Myös IRI-arvo mitattiin joillakin tieosuuksilla kiihtyvyyssanturimittauksiin perustuvalla tiedonkeruujärjestelmällä. Maatutkaluotausten kanssa samanaikaisesti tiestä kuvataan digitaalista videokuvaa, ja mittaukset paikallistetaan GPS-järjestelmän avulla.

Toinen esimerkki rakenteellisen kunnan monitoroinnin kehityksestä Skotlannissa on 2001-2005 tehty tutkimus, jossa kohteella B871 ja B873 Kinbrace-Syre analysoitiin puutavarakuljetusten vaikutuksia heikkoihin yksiajorataisiin teihin. Projektin tavoitteena oli kehittää luotettava ja kustannustehokas arviointijärjestelmä siitä, miten raskas puutavarakuljetus vaikuttaa kantavuudeltaan heikkojen vähäliikenteisten teiden kuntoon. Analyysijärjestelmän tulosten perusteella ollaan luomassa sitten tietokantaa, joka helpottaa hoidon ja ylläpidon optimiteknikoiden valintaa eri kohteissa. Menetelmän avulla voidaan myös varmistaa, että yleiset tiet pysyvät ajokelpoisina puutavarakuljetusten aikana ja niiden jälkeen. Projektin tulokset ovat olleet erittäin lupaavia (Saarenketo 2005), ja projektissa kehitettyä riskianalyysia käytetään nykyään yhä useammassa projekteissa Pohjoisen Periferian alueella.



Kuva 7. Skotlantilaisen metsäautotien rakenteellisen ja toiminnallisen kunnon arviointia. Ylimmässä kentässä on 2,1 GHz antennilla mitatut maatulkuutusaineistot kantavasta kerroksesta sekä kulutuskerroksesta, mikäli se on pystytty tunnistamaan. Toisessa kentässä on yhdistetty 2,1 GHz maatulkuutusaineistot (ylimmät 10 ns) 400 MHz mitattuun aineistoon (10 – 50 ns). Kolmannessa kentässä on esitetty 10 m keskiarvolle lasketut IRI-aineistot, ja neljäs profiili kuvaa ilmavasteantennin etäisyyttä tien pinnasta, mikä ilmaisee tutkimusauton heiluntaa sen kulkiessa tiellä: suuret töyssyt näkyvät suurina vaihteluina. Alimmassa kentässä on esitetty tierakenteiden paksuudet. Vasemmalla Road Doctor –ohjelmiston käyttöliittymässä on digitaalista videokuvaa ja kartta tutkittavasta alueesta, missä näkyy tutkittava kohde.

5 Toiminnallinen kunto ja sen monitorointityökalut

Termi ”**tien toiminnallinen kunto**” on yhteenveto useista erillisistä tekijöistä, jotka vaikuttavat tien käyttäjien ajomukavuuteen, terveyteen ja turvallisuuteen. Sillä on myös suuri vaikutus teollisuuden eri hyödykkeiden kuljetuskustannuksiin, ja siten myös haja-asutusalueiden talouselämään. Tien heikko toiminnallinen kunto kasvattaa polttoaineen kulutusta, aiheuttaa viivästyksiä ja saattaa vahingoittaa tietä käyttäviä ajoneuvoja.

Päällystettyjen, vähäliikenteisten teiden toiminnallista kuntoa kuvaavat kriittiset parametrit ovat urautuminen, tien pinnan kitka ja pituussuuntainen epätasaisuus, mukaan lukien töyssyt, kuopat ja leveät pituushalkeamat. Ajomukavuutta huonontaa myös huonolaatuinen pinnan paikkaus ja vaihteleva sivukaltevuus, joka voi aiheuttaa ongelmia erityisesti raskaille ajoneuvoille. Sorateiden kohdalla yllä mainittuun listaan on lisättävä ”nimismiehen pykälät”, pölyäminen ja pinnan kiinteys.

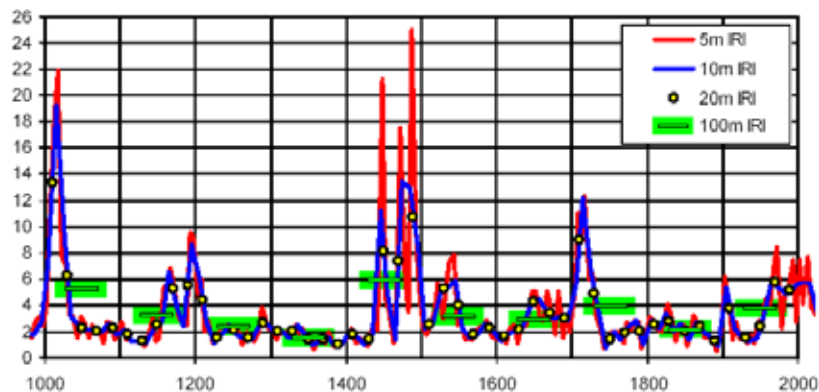
Kaikista toiminnallisen kunnan parametreista **urautumista** voidaan yhä pitää kaikkein tärkeimpänä, johtuen sen suorista vaikutuksista liikenneturvallisuuteen. Toinen suoraan liikenneturvallisuuteen vaikuttava parametri on **pinnan kitka** (kyky vastustaa liukumista). Kuitenkaan, lähinnä nastarenkaiden ansiosta, pinnan kitka ei ole ollut merkittävä ongelma Pohjoisen Periferian alueella. Tosin Skotlannissa nastarenkaat eivät ole yleisesti käytössä ja siellä pinnan kitkasta on huolehdittu päällysteiden pintauskäsittelyllä.

Tärkeimpiä ajomukavuuteen ja tien käyttäjien terveyteen vaikuttavia parametreja ovat ihmiskehoon vaikuttavat pystykiihtyvyysarvot. Ihmiskehon kiihtyvyysarvoihin vaikuttaa lähinnä tien pituussuuntainen **epätasaisuus**. Tien pinnan epätasaisuus koostuu eri aallonpituuksista, ja ajonopeus vaikuttaa myös sellaisenaan ajomukavuuteen ja epäterveellisen tärinän määrään ihmiskehossa. Korkeita ja epämukavia epätasaisuusarvoja aiheuttavat ensisijaisesti routaheitot, mutta myös kuopat ja terävät halkeamat.

Päällystettyjen teiden epätasaisuuden kuvaamisessa eniten käytetty parametri on IRI-arvo (International Roughness Index). Kuitenkin vastikään Ruotsissa tehdyt kokeet ovat osoittaneet, että IRI-arvot eivät välttämättä kuvaa ajomukavuutta parhaiten vähäliikenteisillä teillä, ja että **pystykiihtyvyysarvot** voivat olla tähän tarkoitukseen parempia indikaattoreita. Erityisesti sorateillä IRI-arvoilla on myös se ongelma, että arvoja ei voi mitata luotettavasti laserantureilla. Näiden ongelmien uusiin ratkaisuihin keskitytään ruotsalaisen Johan Granlundin johdolla ROADDEX III –projektissa.

Sekä ROADEx II -projektissa tehdyissä vähäliikenteisiä teitä käyttävien ammattilaisten haastatteluissa että ajomukavuutta tutkineessa Suomen Tiehallinnon S14 –projektissa (Lämsä ja Belt 2004a) on saatu hyvin samankaltaisia tuloksia koskien tien toiminnallisen kunnon hallintaa ja nämä tulokset ovat osittain ristiriidassa tiehallintojen noudattamien standardien kanssa. Molemmissa tutkimuksissa on käynyt ilmi, että päällystetyn tien toiminnalliselle kunnolle tien käyttäjän kannalta kriittisimmät parametrit ovat routheitot ja kuopat.

Terveys- ja turvallisuusnäkökohtien lisäksi erityinen ongelma tien ajomukavuuden hallinnassa on ollut se, että toiminnan ohjauksessa perinteisesti urautumis- ja epätasaisuusarvoja on tarkasteltu 100 – 400 m:n keskiarvoina. Pitkiä keskiarvoja käytettäessä saattaa usein joku epämukava ja epätasainen, mutta muutoin tasaisella tiellä sijaitseva töyssy jäädä huomioimatta (ks. kuva 8). Koetulokset osoittavat selvästi, että käyttämällä 100 metrin keskimääräisiä IRI-arvoja on mahdotonta paikantaa raskaiden ajoneuvojen kuljettajille sietämättömiltä tuntuvia teräviä töyssyjä.



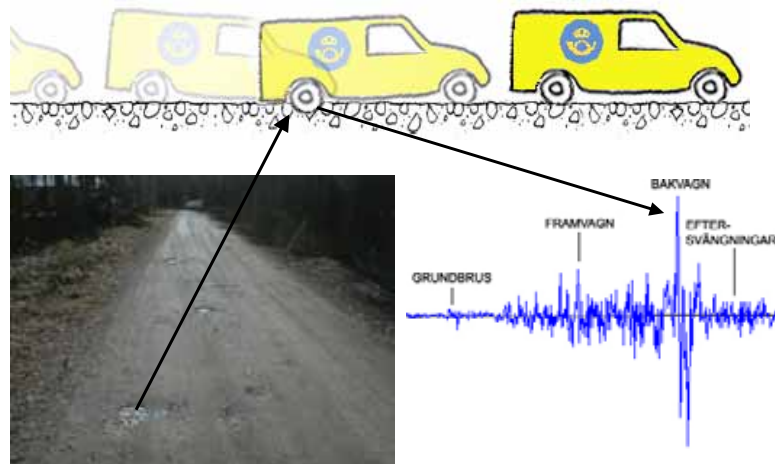
Kuva 8. Heikkolaatuiselta vähäliikenteiseltä tieltä, tie 8250, tieosuus 2 lähellä Oulua, mitatut IRI-arvot ja laskennalliset keskiarvot 5, 10, 20 ja 100 metriltä. Kuva on muokattu lähteestä Lämsä ja Belt 2004a.

Päällystettyjen teiden epätasaisuutta ja urautumista, sekä sivukaltevuutta mitataan lähinnä **laser-tasaisuusmittausautoilla**. Vähäliikenteisillä teillä voidaan tasaisuusmittauksissa käyttää myös halvempia ajoneuvon taka-akseliin kiinnitetyn **kiihtyvyyssanturin** avulla toimivia järjestelmiä. Kiihtyvyyssanturit soveltuvat parhaiten epätasaisuuden mittaamiseen sorateillä. Ruotsissa on kokeiltu kiihtyvyyssantureiden kiinnittämistä postiautoihin, jotka kulkevat säännöllisesti vähäliikenteisellä tieverkolla (kuva 9). Jatkossa autojen renkaisiin kiinnitettävien antureiden kehittymisen ansiosta voidaan tasaisuuden muutokset havaita myös älyrengastekniikalla, ja renkaan muodossa tapahtuvien muutosten perusteella

voidaan laskea epätasaisuusparametreja. Tämä merkinnee sitä, että tulevaisuudessa epätasaisuusmittaukset voidaan tehdä tavallisilla henkilöautoilla.

Tällä hetkellä maailmalla on käynnissä myös useita tutkimus- ja kehitysprojekteja, joissa pyritään kehittämään **laserkeilaimia** siten, että ne tuottavat 3d-mallin tien pinnasta. Näiden mallien avulla pitäisi tulevaisuudessa olla mahdollista laskea tien pinnan kuntoa kuvaavat parametrit. Muita tällä hetkellä käytettöön tulevia uusia tekniikoita ovat **automaattiset päällystevaurioiden inventointijärjestelmät**. Päällystevaurioita sekä soratien pinnan aaltoilua, kuoppia ja pölyämistä on perinteisesti inventoitu visuaalisella tarkastuksella liikkuvasta ajoneuvosta, mutta hiljattain eräät organisaatiot ovat alkaneet analysoida näitä parametreja myös **digitaalisesta videokuvasta**, jolloin saavutetaan luotettavampia ja toistettavuudeltaan parempia tuloksia.

Detecting of vibrations from the roads surface



Kuva 9. Ruotsalainen sorateiden monitorointijärjestelmä, jossa kiihtyvyyssantureita on kiinnitetty tieverkkoa päivittäin käyttäviin postin jakeluautoihin. Kuva: Johnsson et al. 2005.

6 Kelirikon monitorointi

Yhdeksi vaikeimmista ongelmista vähäliikenteisten teiden kunnan hallinnassa ROADEX-alueella ovat osoittautuneet jäätymis-sulamissyklit ja kelirikko. Suurin osa tielle kehittyvistä vaurioista syntyy kelirikon aikana, ja Pohjoisen Periferian alueella näiden ongelmien paremmalla hallinnalla voidaan jopa kaksinkertaistaa vähäliikenteisen tieverkon käyttöikä. Ensisijaisesti tämä tulisi saavuttaa ilman painorajoituksia ja siten, että kuljetusteollisuudelle aiheutuvat haitat olisivat mahdollisimman vähäiset. Kelirikkoa, painorajoituskäytäntöjä sekä monitorointitekniikoita käsitellään yksityiskohtaisemmin ROADEX II -raportissa "Managing spring thaw weakening on low volume roads" (Saarenketo and Aho, 2005).

Kelirikon monimutkaisen luonteen takia on modernissa kelirikon hallintajärjestelmässä monitoroitava useita kriittisiä parametreja. Yleisellä tasolla monitorointialueet voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: a) tierakenteiden ja maaperän sää- ja lämpötilaolosuhteet (jäätymis-sulamissyklit), b) vesipitoisuus, kantavuus ja riski pysyville muodonmuutoksille sekä c) tietä käyttävä raskas liikenne. Optimaalisessa järjestelmässä seurataan kaikkia näitä muuttujia.

Roudan syvyys ja maaperän lämpötila ovat yleisimmin käytettyjä meteorologisia parametreja, jotka ilmaisevat onko materiaali jäässä vai sulanut. ROADEX II –projektin tulokset ovat osoittaneet, että erityisesti Skotlannissa päivittäinen sademäärä on myös tärkeä parametri jäätymis-sulamissykleistä seuraavien tievaurioiden riskiä arvioitaessa. Myös **haihdunnasta** muodostunee hyödyllinen seurantaparametri erityisesti sorateillä.

Toinen seurattava luokka koostuu ns. "suunnitteluparametreista", joista tärkein on tiemateriaalien ja pohjamaan maaperän **tilavuusvesipitoisuus** (vapaa vesi). Paras parametri, joka kertoo vapaan veden määrästä materiaalissa on **dielektrisyysarvo**. Muita tärkeitä tekijöitä ovat tierakenteiden ja pohjamaan kantavuutta kuvaavat parametrit (**moduuli** ja **CBR-arvo**) sekä pysyvän muodonmuutoksen riskin arvioinnissa käytettävät tunnusluvut, kuten **sähkönjohtavuus** ja sen muutokset. Usein näiden parametrien monitorointi on kuitenkin vaikeaa ja kallista. **Routanousuista** ja **painumisesta** johtuvat tien pinnankorkeuden muutokset voivat myös olla hyödyllisiä tunnuslukuja.

Kolmas parametriluokka antaa puolestaan tietoja raskaasta liikenteestä, ja tässä käytetyimmät parametrit ovat olleet raskaiden ajoneuvojen **akselikuormat** ja **kokonaispainot**. ROADEX II –projektin tulokset osoittavat, että aikavälit raskaiden ajoneuvojen välillä ja niistä seuraavat **palautumisajat** ovat myös tärkeitä tekijöitä kelirikkovaurioiden ehkäisemisessä. Eräs kiinnostava ja uusi idea kelirikon monitorointiin on kuorma-auton **vierimisvastuksen** mittaaminen. Tämä voidaan

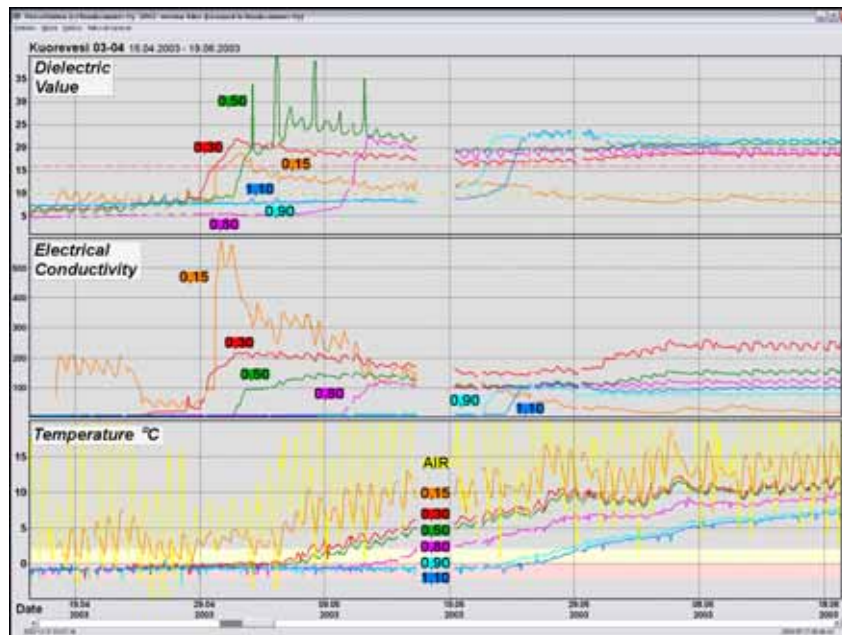
tehdä kuorma-autojen moderneilla, polttoaineenkulutusta mittaavilla ajotietokoneilla ja kuorman painoa mittaavilla ASWSS-järjestelmillä (Air Spring Weigh Sensor System). Heikoilla tieosuuksilla vierimisvastus on renkaan alla suurien painumien takia korkea, ja paremman kantavuuden kesäkuukausiin vertaamalla saadaan jatkuvaa tietoa riskialueista.

Nykyisistä kelirikon monitorointimenetelmistä **visuaalinen inventointi** on edelleen kaikkein yleisin. Tämä menetelmä on kuitenkin hyvin subjektiivinen, ja ROADEX-yhteistyömaista ainoastaan Suomessa on käytössä systemaattinen menettelytapa kelirikkovaurioiden visuaalisessa monitoroinnissa ja tulosten tallentamisessa tietokantoihin.

Roudan syvyys on myös ollut kiinnostuksen kohde. 1980-luvulla ja 1990-luvun alussa routasyvyyttä monitoroitiin monissa maissa "**Gandahl-putkilla**", jotka asennettiin tierakenteeseen tai, kuten Suomessa, tienpidon tukikohtien päällystetyille pysäköintialueille. Mutta koska nämä ja muut routaputket kuitenkin hajosivat melko helposti ja tiedonkeruu oli työlästä, ei menetelmä ole enää laajassa käytössä. Jos ainoana tarkoituksena on monitoroida tierakenteiden ja maaperän jäätymistä, soveltuu tähän kenties parhaiten **lämpötila-antureiden** asentaminen tiheille välimatkoille tierakenteeseen ja pohjamaahan. Toinen mahdollinen menetelmä on **sähkönjohtavuutta** tai ominaisvastusta **mittaavien** antureiden käyttö. Menetelmä perustuu siihen, että jäätyessä maaperän ominaisvastus kasvaa.

Dielektrisyysarvot voidaan mitata **TDR-antureilla** (Time Domain Reflectometer) tai antureilla, jotka havaitsevat muutoksia **kapasitanssissa**. Materiaalien dielektrisyysarvon mittaamiseen voidaan käyttää myös erityisiä maatutkaluotaustekniikoita. Parhaat tulokset saavutetaan monitoroimalla useita parametreja samanaikaisesti. ROADEX II –koealueilla käytettiin dielektrisyysarvon, sähkönjohtavuuden ja lämpötilan samanaikaisesti mittaavaa Percoasema-tekniikkaa (kuva 10).

Tierakenteiden ja pohjamaan kantavuutta kelirikon aikana voidaan monitoroida **pudotuspainolaitteella** tai **DCP**-mittauslaitteella. Erityisesti monesta eri tasosta mitatuista pudotuspainolaitemittausten tuloksista on saatu arvokasta tietoa ROADEX II –kokeissa. DCP-mittaukset ovat osoittautuneet hyvin potentiaaliseksi työkaluksi, koska ne ovat sekä halpoja että helppokäyttöisiä, ja niiden avulla saadaan tietoa paitsi kantavuudesta, myös routasyvyydestä (Saarenketo ja Aho 2005, Aho et al. 2005).



Kuva 10. Kuoreveden Percoasemalta kelirikkokauden 2003 mittaustuloksia. Eri värit edustavat anturilukemia eri syvyyksistä.

7 Kuljetusten monitorointi

Kuljetusten monitorointiin käytettävä sensoritekniikka, paikannustekniikka ja moderni langaton tietotekniikka on kehittynyt nopeasti viime vuosina. Uusia kuljetusten monitorointijärjestelmiä on otettu käyttöön erityisesti Keski-Euroopassa (Conway ja Walton 2005), mutta näillä tekniikoilla on myös paljon käyttömahdollisuuksia liikenteen ja kuormien hallinnassa Pohjoisen Periferian haja-asutusalueilla.

Markkinoilla on lukuisia vähäliikenteisille teille soveltuvia liikkuvan ajoneuvon painon mittauksiin soveltuvia WIM-tekniikoita (Weigh in Motion). Kuitenkin ROADX II –yhteistyömaista ainoastaan Ruotsissa WIM-järjestelmiä on testattu laajamittaisesti ja siellä SiWIM-järjestelmä on jo otettu rutiinikäyttöön (VV Publ 2003:165, Saarenketo ja Aho 2005). Yleisimmin käytettyjen WIM-antureiden toiminta perustuu taipumasäteisiin, pietsosähköisiin antureihin ja pistekuormitusmittareihin. Näiden tekniikoiden lisäksi on kehitetty myös uudentyypisiä antureita, joista potentiaalisimpia ovat kvartsi- ja kuituoptiikkasensorit (Conway ja Walton 2005).

Viime vuosina on myös kehitetty automaattisia ajoneuvontunnistusjärjestelmiä (AVI, Automated Vehicle Identification) lähinnä Saksan ja Sveitsin vilkasliikenteisille moottoriteille asetettujen tietullien takia. Tammikuun ensimmäisestä päivästä 2005 lähtien Saksassa alettiin kerätä tietulleja GPS-järjestelmän avulla. Kuljetusyhtiöiden on ensin varustettava kuorma-autonsa OBU-järjestelmällä, jonka saa ilmaiseksi tiemaksujärjestelmän kehittäneeltä Toll Collect-yhtiöltä. Asennuksen jälkeen järjestelmä pystyy GPS-tekniikan avulla tunnistamaan tiemaksujen piiriin kuuluvilla teillä kulkevat kuorma-autot ja laskemaan niiden kulkemat matkat (Conway ja Walton 2005).

Kaikista tiehen sijoitettavista tai ajoneuvoihin asennettavista monitorointitekniikoista vähäliikenteisille teille soveltunee parhaiten järjestelmä, jossa yhdistetään ilmajousituksella toimiva kuorma-autojen painoa monitoroiva järjestelmä rengaspaineita monitoroivaan CTI-järjestelmään (Central Tire Inflation). Kun nämä järjestelmät yhdistetään automaattiseen ajoneuvontunnistusjärjestelmään, voivat teiden käyttäjät ja ylläpitäjät monitoroida kuormia ja kuormituksia reaaliajassa, minkä ansiosta järjestelmä on hyödyllinen erityisesti kelirikon hallinnassa (Saarenketo ja Aho 2005).

8 Keskittyminen tien käyttäjien tarpeisiin

Tulevaisuudessa tien käyttäjien tarpeet vaikuttavat vähäliikenteisten teiden kunnan hallintaan yhä enenevässä määrin. Nämä tarpeet voidaan jakaa karkeasti kolmeen luokkaan: a) vaatimukset liikenneturvallisuudelle, b) kulkukelpoisuusvaatimukset ja c) erityisvaatimukset (vaatimukset rakenteelliselle ja toiminnalliselle kunnolle).

Liikenneturvallisuus on luonnollisesti tärkein asia vähäliikenteisten teiden käyttäjille. ROADEX-projektiin kuuluneessa kyselyssä tien käyttäjien tarpeista (Saarenketo ja Saari 2004) ilmeni, että Pohjoisen Periferian alueella tien käyttäjien suurimmat liikenneturvallisuuden huolenaiheet liittyvät yleisiin talvikunnossapidon standarditasoihin ja hoitotoimenpiteisiin, mutta Norjassa myös lumivyöryvaara on kriittinen seikka. Huonoimmat turvallisuusskenaariot raportoitiin kuitenkin talvella teillä, joilla talven ajo-olosuhteita huonontavat myös muut ongelmat, kuten routheitot, jyrkät mäet tai tiukat ja kapeat kaarteet.

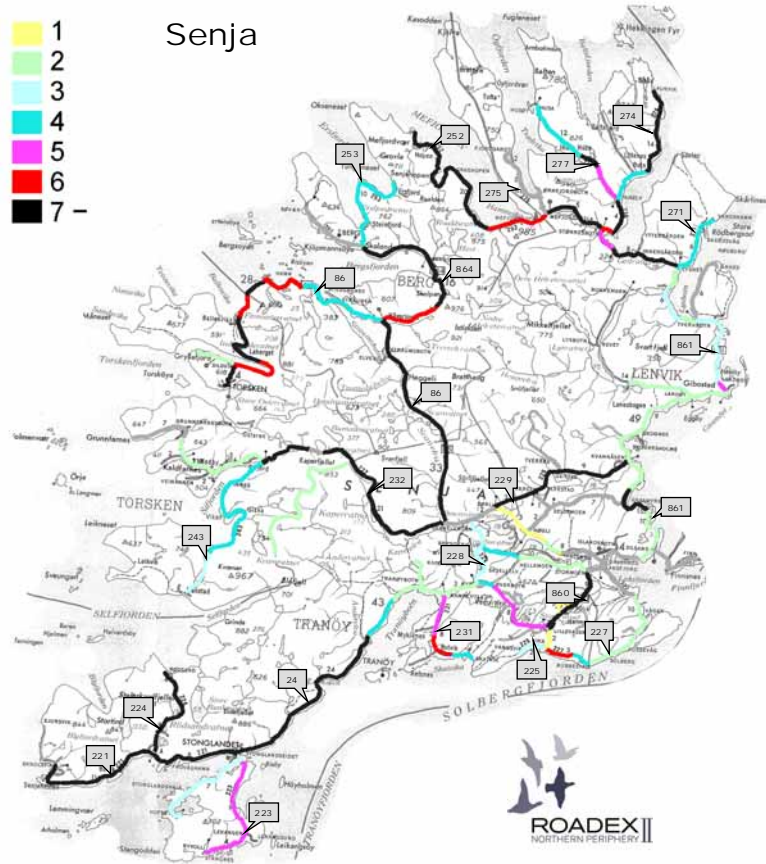
Liikenneturvallisuuden jälkeen tienkäyttäjille seuraavaksi tärkeimmät asiat ovat "kulkukelpoisuus" tai "tasaisuus". Pohjoisen Periferian alueella vähäliikenteisten teiden kulkukelpoisuusongelmat liittyvät lähinnä talvikunnossapidon haasteisiin lumimyrskyjen tai -vyöryjen tukkiessa tiet. Toisen vaikean kulkukelpoisuusongelman, erityisesti sorateillä Pohjoismaissa, aiheuttaa kelirikko. Lisäksi runsaiden sateiden aiheuttama eroosio ja tulvivat joet aiheuttavat ajoittain vaikeita ongelmia. Kaikki nämä ongelmat tulisi arvioida riskianalyysin yhteydessä ennen hoitourakan standardien asettamista.

Kun tärkeimmät liikenneturvallisuuden ja kulkukelpoisuuden riskit on käsitelty, tulisi jäljelle jääneet vähäliikenteisen tien kunnan hallintaan tarkoitetut resurssit kohdistaa kullekin tielle ja alueelle ominaisiin ongelmiin. Nämä ongelmat voivat liittyä joko tien rakenteeseen tai sen toiminnalliseen kuntoon, kuten aiemmin tässä raportissa on jo mainittu. Jotta investoinnit olisivat mahdollisimman kannattavia, tulisi nämä toimenpiteet keskittää tien käyttäjien kannalta ongelmallisimpiin kohtiin. Esimerkiksi ROADEX:in tien käyttäjäkyselyssä (Saarenketo and Saari 2004) ja muissa selvityksissä vähäliikenteisten teiden ajomukavuudesta on osoitettu, että töyssyt ja kuopat ovat tien käyttäjien kannalta suurin ajomukavuusongelma.

ROADEX II:n uudessa vähäliikenteisten teiden toimintalinjaehdotuksessa (Johansson et al. 2005) tien käyttäjiltä kerätyillä tiedoilla on hyvin suuri merkitys palvelutasojen ja hoidon toimenpiteiden kynnysarvojen määrittämisessä hoidon hankintapolitiikkaa varten. Tässä Roadex ehdotuksessa tien käyttäjien tarpeet selvitetään arvioimalla ensin yksityisten henkilöiden ja yritysten kuljetustarpeet. Kun nämä tulokset yhdistetään elämänlankateiden ja alueiden haavoittuvuuden arviointiin, voidaan tuloksena laskea TNI-indeksi (Transportation Need Index).

Tien käyttäjien mielipiteiden ja palautteen seuraaminen on myös erittäin tärkeä osa onnistunutta vähäliikenteisten teiden kunnon hallintaa. ROADEx:in tien käyttäjien haastattelukysely osoitti, että kun tien käyttäjät kokivat, että heidän mielipiteitään arvostettiin ja otettiin huomioon tien kunnon hallinnassa, he myös suhtautuivat ongelmiin odotettua positiivisemmin. Hyvää seurantarjestelmää tarvitaan myös hankintapolitiikan parantamiseen, sekä lisäksi tien käyttäjien tyytyväisyystasoon perustuviin hoitourakoiden bonusjärjestelmiin.

Tien käyttäjien tarpeita ja mielipiteitä on perinteisesti mitattu kausittaisilla kyselyillä ja haastatteluilla. Näissä kyselyissä on kuitenkin se ongelma, että ne antavat tietoa lähinnä tien käyttäjien yleisistä mielipidesuuntauksista, eivät niinkään anna projektitasoisen tarpeiden arvioimiseen tarvittavaa yksityiskohtaista tietoa. ROADEx II –projektissa tehdystä tien käyttäjäkyselystä (Saarenketo ja Saari 2004) saatiin arvokasta tietoa tien käyttäjien ongelmallisiksi tai yleisesti huonokuntoisiksi kokemien tieosien sijainnista. Tässä kyselyssä tien käyttäjä sai merkitä ongelmakohteet kartalle ja kommentoida niiden yksityiskohtia kirjallisesti. Kuvassa 11 on esimerkki tällä tekniikalla laaditusta kartasta Senjan saarelta Norjasta. Tien käyttäjät ovat merkinneet karttaan tiejaksot, jonka he kokevat huonokuntoisiksi kesäaikaisin.



Kuva 11. Tien ammattikäyttäjien mielipiteet ongelmateiden sijainnista kesäisin Senjan saarella Norjassa (Saarenketo ja Saari 2004). Musta jaksot koetaan huonoimmiksi.

Tällaisten kyselyjen tekeminen pelkäästään ongelmakohtien selvittämistä varten on kuitenkin kallista. Yksi tapa jakaa kustannuksia olisi kyselyn yhdistäminen asiakastytyväisysselvityksiin, joiden perusteella päätetään paikallisten kunnossapitourakoitsijoiden bonuksista. Suomessa Tiehallinto on hiljattain kehittänyt ja järjestänyt asiakastytyväisyyskyselyitä viidellä eri alueella (Sarkkinen et al. 2004).

9 Toimenpiteiden kohdentaminen oikeisiin kohteisiin

Koska vähäliikenteisten teiden kunnan hallintaan käytössä olevat resurssit rajallisia, yksi tärkeimmistä periaatteista tieverkon kunnan parantamisessa on kaikkien hoito- ja parantamistoimenpiteiden kohdistaminen vain toimenpiteitä tarvitseville alueille. Moderni paikannustekniikka ja tietojärjestelmät sekä suurien tietomäärien käsittelyn mahdollistavien työkoneautomaation kehitys tekee mahdolliseksi optimaaliset täsmätoimenpiteet hoitoa ja kunnostusta vaativilla tieosuuksilla. Jos nykyisiä ohjausjärjestelmiä aiotaan parantaa, tulisi niitä muuttaa selvästi nykyisestä siten, että tiedonkeruun ja seurannan moduulipituuksia lyhennetään 20 – 100 metristä 1 – 10 metriin.

Kun siirrytään fokusoiviin järjestelmiin, täytyy koko tien kunnan hallinnointiprosessi parantaa sellaiselle tasolle, että se pystyy käsittelemään tarkempia aineistoja. Ei esimerkiksi ole enää järkevää, että suunnittelujärjestelmät toimivat 20 m jaksoissa, kun maatumaukautuksilla saadaan tietoa 1 m tarkkuudella. Seuraavaksi käsitellään joitakin töiden parempaan kohdentamiseen tarvittavia avaintekijöitä ja moduuleja:

Tieosoitejärjestelmät, Tierekisterit

Vaikka GPS-järjestelmät ovat tulevaisuudessa avainosassa, ja lähes kaikki paikannustieto perustuu silloin GPS-koordinaatteihin, tarvitaan aina kuitenkin myös tieosoitejärjestelmää (tierekisteri), jossa tieverkko on jaettu eri tieluokkiin ja yksittäiset tiet on jaettu tieosiin, mahdollisiin sen alajaksoihin sekä kaistoihin. Näissä järjestelmissä on käytössä erityiset tieosoitteet, joilla on myös GPS-koordinaatit, ja joihin kaikki tieltä kerätty numeerinen tieto voidaan liittää. Lisäksi järjestelmästä voidaan etsiä tietoa joko tieosoitteiden tai GPS-koordinaattien perusteella. Kun tiekohtaista tietoa sitten lähetetään tien käyttäjille, perustuvat nämä tiedot tierekisterijärjestelmään.

Teiden tutkimus- ja monitorointijärjestelmät

Tarkasti kohdennettuun tien hoito- ja ylläpitojärjestelmään siirryttäessä tärkeintä on löytää tietutkimusjärjestelmä, jolla voidaan kerätä ja tallentaa tietoa tien kunnosta lyhyillä etäisyysväleillä, mutta myös tarkasti paikannettuna. Näissä jatkuvissa tutkimuksissa tärkeimpiä työkaluja ovat maatumaukautusjärjestelmät, PTM-autot ja digitaalinen videokuva. Tulevaisuudessa järjestelmässä voi olla mukana myös automaattinen päällystevaurioanalyysiyksikkö ja liikkuva taipumamittari. Tien pinnanmuotoja jäljentävää laserkeilausta kehitetään parhaillaan, ja tekniikasta onkin suurta hyötyä, kun sitä voidaan ruveta käyttämään taloudellisesti vähäliikenteisillä teillä.

Tiedon varastointi

Tieverkon omistaja tarvitsee jatkossa uudentyyppisiä tiedon varastointijärjestelmiä, joiden avulla kaikki eri tyyppiset mittaustulokset ja eri muodoissa olevat tiedot voidaan varastoida alkuperäisellä tarkkuudella ja alkuperäisessä muotoissa. Tarkoitukseen eivät sovellu perinteiset PMS-päällystejärjestelmät (Pavement Management Systems), jotka on suunniteltu tiedon käsittelyyn valtakunnallisella tasolla. Uudet moduulipohjaiset tietokantajärjestelmät sallivat suuren tietomäärän tallettamisen yksittäisiin tietokantamoduuleihin, josta tiedot voidaan purkaa ja analysoida aina tarvittaessa. Tulevaisuudessa teiden ylläpitäjien ei tarvitse hoitaa näiden järjestelmien käyttöä, vaan suuntauksena on ollut, että ylläpitäjät ostavat nämä palvelut erikoistuneilta palveluntarjoajilta. Kuitenkin kokemukset monista maista ovat osoittaneet, että ylläpitäjien on tärkeää pitää itsellään omistusoikeus näihin järjestelmiin tallennettuihin tietoihin.

Ohjelmistot ja tiedontallennusmuodot

Jotta kaikkia tieltä kerättyjä aineistoja voitaisiin analysoida, tarvitaan ohjelmistoja, jotka pystyvät lukemaan erilaisista tietokannoista ja –varastoista peräisin olevia eri tyyppisiä aineistoja sekä käsittelemään ja analysoimaan tietoja integroidusti, jolloin suunnittelijat ja hoitourakoitsijat saavat helposti hyvän yleiskuvan jokaisen tienosan kunnosta ja ongelmista. Koska aineistoja myös ladataan ja käytetään suunnittelujärjestelmissä, ja lähitulevaisuudessa myös kohteissa työskentelevissä automatisoidussa työkoneissa, kaikkien ohjelmistojen on tuotettava avoimia ja standardisoituja tiedonsiirtoformaatteja. Parhailtaan ainakin Norjassa ja Suomessa käynnissä olevat uudet infra-alan tuotemalliprojektit mitä todennäköisimmin ratkaisevat nämä ongelmat.

Paikannus- ja osoitejärjestelmät

Keskitettympiä tietomenpiteitä kohti siirryttäessä yhtenäiset ja riittävän tarkat paikannus- ja osoitejärjestelmät ovat hyvin tärkeitä, jotta jokainen prosessiin osallistuva tekee töitä samassa järjestelmässä ja kykenee sijainnintarkistukseen. Tätä seikkaa korostaa esimerkki Suomesta, jossa yksi suurimmista syistä kelirikkorakenteiden epäonnistumisiin on ollut se, että urakoitsija on sijoittanut kunnostusrakenteet väärin paikkoihin huonon paikannustekniikan ja osoitejärjestelmän takia.

Eri paikannustekniikat, joita käytetään vähäliikenteisten teiden monitorointi-, suunnittelu-, hoito- ja ylläpitojärjestelmissä, voidaan jakaa yleisesti neljään luokkaan:

1. Tunnetusta referenssipisteestä etäisyyttä mittaavat paikannusjärjestelmät (trippimittarit)

2. Takymetrimittaukseen perustuvat paikannusjärjestelmät (optiset järjestelmät)
3. Paikannusjärjestelmät, jotka perustuvat tiedon linkittämiseen alueelta otettuihin digitaalisiin kuviin tai videoihin
4. Langattomat elektroniset paikannusjärjestelmät, kuten GPS

Tulevaisuudessa paikannusjärjestelmät perustuvat varmasti elektronisiin paikannusjärjestelmiin, mutta parhaita järjestelmiä ovat silti yhtä tai useampaa yllä mainittua tekniikkaa hyödyntävät järjestelmät. ROADX II -projektin monitorointiraportissa (Saarenketo 2005) on käsitelty näitä paikannustekniikoita ja niiden tulevia suuntauksia yksityiskohtaisemmin.

10 Monitorointijärjestelmien suunnittelu

Suunniteltaessa monitorointijärjestelmiä on otettava huomioon monia seikkoja, joiden avulla vähäliikenteisten teiden kunnon hallintaa voidaan parantaa. Ensinnäkin on tehtävä ongelmanmäärittäminen, eli selvítettävä **minkä tyyppinen ongelma** pitää ratkaista/monitoroida. Vähäliikenteisillä teillä mahdollisia ongelmia ovat esimerkiksi: a) tien toiminnallisen kunnon monitorointi mukaan lukien talvikunnossapidon parametrit, b) tien rakenteellisen kunnon monitorointi, c) kelirikon tai jäätymis-sulamissykliin monitorointi, d) ajoneuvojen, niiden nopeuden, akselikuormien ja kokonaispainojen monitorointi, e) tien käyttäjien tarpeiden monitorointi tai f) urakoitsijoiden työn laadunvarmistukseen liittyvä monitorointi. Hyvän vähäliikenteisten teiden kunnon hallintajärjestelmän pitäisi huomioida kaikki nämä tekijät.

Ongelmanmäärittämyksen jälkeen tulisi arvioida seuraavat tekijät: a) sensorien tyyppi ja määrä, b) mihin sensorit asennetaan, c) kuinka tiheästi tietoja kerätään, d) mittaus-tietojen paikannus (erityisesti käytettäessä liikkuvia ajoneuvoja), e) tiedonsiirto, f) tiedon varastointi ja käsittely, g) tietojen käyttö päätöksentekojärjestelmässä, h) tuloksista tiedottaminen.

Kun ongelma on määritelty, sensoreiden tyyppi voidaan myös määrittää niiden asennuspaikan mukaan. Periaatteessa sensorit voidaan asentaa: a) tierakenteisiin tai tien pinnalle, b) silloille, c) henkilö- tai kuorma-autoihin, d) lentokoneisiin tai satelliitteihin tai e) sensorit voivat olla mukana kannettavina. Lisäksi uutena asennuskohteena on tullut mukaan sensorien asentaminen ajoneuvojen renkaisiin, mikä on nerokas idea, sillä renkaat ovat suorassa kontaktissa tienpinnan kanssa.

Tiedon keräystiheys voi perustua joko mittausvälimatkaan tai aikaan, riippuen siitä onko sensorit asennettu pysyvään kohteeseen tai liikkuvalla alustalla, kuten ajoneuvoon. Siirryttäessä fokuksituihin järjestelmiin tulee myös tiedon keräystiheyden olla suurempi.

Luotettava paikannusjärjestelmä on erittäin tärkeä osa toimivaa monitorointijärjestelmää. Staattisten monitorointijärjestelmien kohdalla tämä ei luonnollisesti ole ongelma, mutta liikkuvasta ajoneuvosta tehtävässä monitoroinnissa paikannus on tehtävä oikein. Hyvin suunnitelluissa järjestelmissä tämä varmistetaan usein kaksois- tai kolmoisjärjestelmillä, mikä tarkoittaa, että kerätyt tiedot paikannetaan esimerkiksi GPS-mittaus-tietojen, etäisyyttä mittaavien trippimittarien (DMI, Distance Measurement Instrument, trip-meter) ja tietoihin linkitetyn digitaalisen videokuvan avulla.

Tiedonsiirtotekniikan valinta riippuu pääasiassa siitä, miten tärkeää on saada tiedot analysoitavaksi välittömästi. Paikallaan pysyvät sensorijärjestelmät voivat lähettää

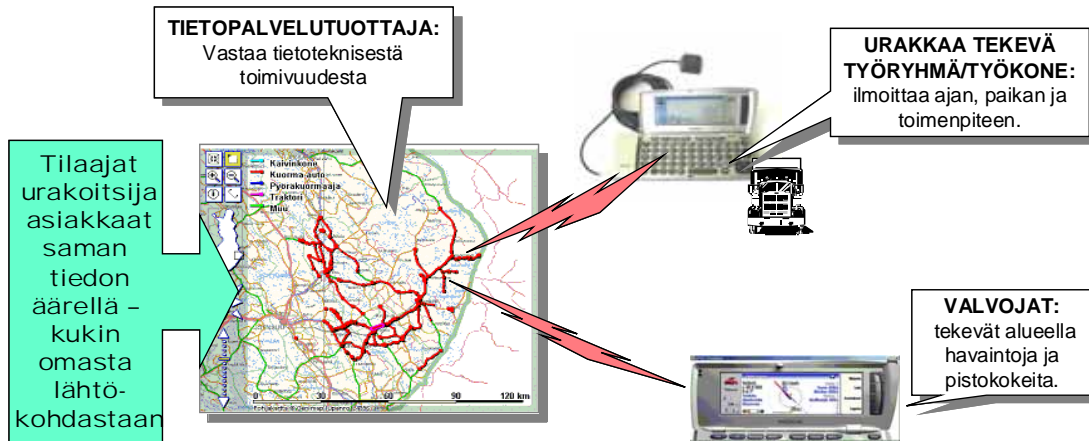
tietoja puhelinlinjoja pitkin tai GSM/GPRS-modeemiyhteyden välityksellä. Liikkuvaan alustaan kiinnitettyjen sensoreiden kohdalla suosituin järjestelmä on tutkimustiedon tallentaminen kiintolevylle, josta se voidaan ladata ajoneuvon palatessa toimistolle. Jos sensoreita käytetään talvikunnossapidon toimenpiteiden ohjauksessa, toteutetaan tiedonsiirto monitorointikeskuksiin tulevaisuudessa todennäköisesti vain tiettyjen hälytysarvojen ylittyessä. Lisäksi, jos esimerkiksi kuorma-autojen painoja monitoroidaan ASSWS:n kaltaisilla järjestelmillä, punnitsee järjestelmä kuormituksen painon aina kuorma-auton pysähtyessä, ja lähettää sitten tulokset eteenpäin paikannustietoihin yhdistettynä.

Kaiken kentältä kerätyn tiedon on tietenkin oltava oikein järjesteltyä ja tallennettua. Tämä on erityisen tärkeää toiminnallista tai rakenteellista tietoa kerätessä. Jokaisen Pohjoisen Periferian maan valtakunnallisessa päällystettyjen teiden hallintajärjestelmässä (PMS, pavement management systems) on tiedon varastointijärjestelmä, mutta valitettavasti näitä tietoja ei usein voida käyttää optimaalisesti fokuoituneessa vähäliikenteisten teiden hoidon ja ylläpidon suunnittelussa.

Tulevaisuuden monitorointijärjestelmät eivät ole toimivia, ellei niitä seuraa tehokas päätöksentekojärjestelmä. Tämä saattaakin olla koko prosessin "kivuliain" vaihe. Hallintojen sisällä päätöksentekoprosessiin saattaa kuulua useita kokouksia, ja lainsäädäntö saattaa vaatia useamman kuin yhden allekirjoituksen jokaiseen asiakirjaan. Kaikki tämä voi taas viedä aikaa. Järjestelmien tehokkuus perustuu kuitenkin usein nopeaan päätöksentekoon, jolla voidaan joissakin tapauksissa säästää ihmishenkiä. Tämän takia ongelmat tulisi tutkia perusteellisesti ja päätöksentekojärjestelmä tulisi suunnitella uudella tavalla.

Lopuksi, yksi tärkeimmistä hyvin toimivan järjestelmän osista on monitorointituloksista tai hoitopitotoimenpiteistä tiedottaminen niitä tarvitseville ja niistä kiinnostuneille osapuolille. Perinteisiin tiedotusmenetelmiin on kuulunut kirjeiden, faksien, sanomalehtien tai radion ja television käyttäminen, mutta uudentyyppiset tiedotus- ja viestintätekniikat mahdollistavat kehittyneempien järjestelmien luomisen. Tulevaisuuden järjestelmäresursseista kaksi tärkeintä ovat internet ja langattomat viestintäjärjestelmät, jotka on suunniteltu tien käyttäjien, hoidon urakoitsijoiden tiedotuskanavaksi. Kuvassa 12 on esimerkki järjestelmästä, jota käytetään hoitopitotoimenpiteiden monitorointiin ja tiedottamiseen Suomessa.

Vähäliikenteisillä teillä liikenneuhkista varoittamaan suunniteltuja järjestelmiä voitaisiin käyttää myös antamaan varoituksia tiettyjen alueiden vaikeista ajo-olosuhteista, esimerkiksi talvella lumivyöryistä tai vaikka vain vaarallisista töyssyistä. Kelirikkkokauden aikana järjestelmää voitaisiin myös käyttää raportoimaan teistä, joilla on painorajoituksia tai joilla CTI-tekniikan käyttö on pakollista.



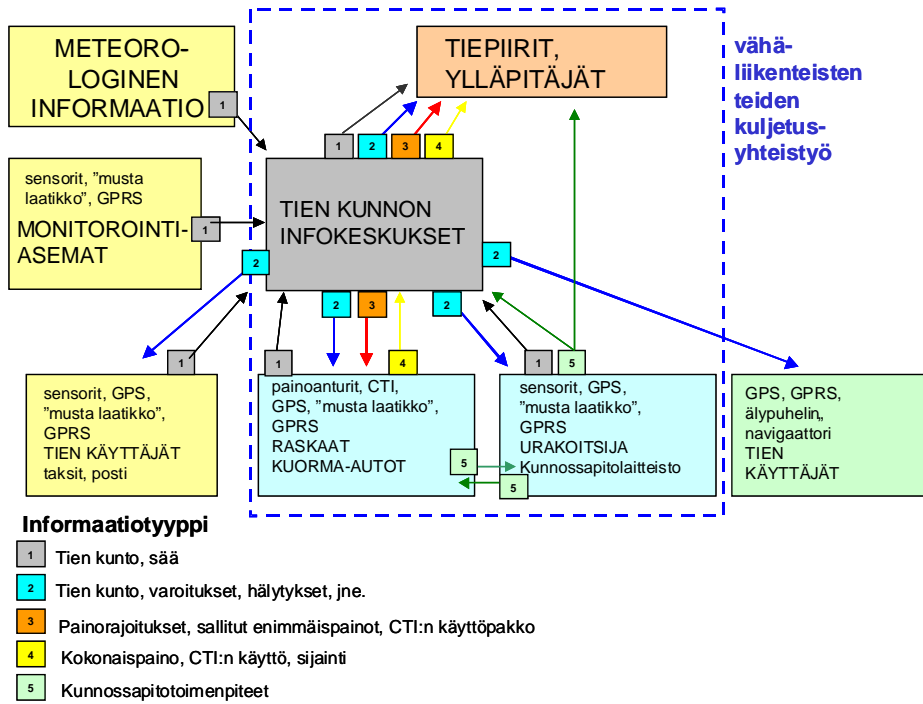
Kuva 12. Kaavio Suomen Tiehallinnon hoitourakoissa käytettävästä tietojärjestelmästä, jonka pohjana on tiedonhallintapalvelun tuottajan ylläpitämä verkkopohjainen paikkatietojärjestelmä. Urakoitsijat ilmoittavat kaikista hoitopitotoimenpiteistä langattoman yhteyden kautta tietojärjestelmään, josta tien omistaja voi analysoida tietoja. Lisäksi valvojat voivat tarkistaa työn laadun paikan päällä. Myös tien käyttäjät voivat tarkastella tiettyjä tietokenttiä. Kuva muokattu Markku Tervon laatimasta kaaviosta 2005.

12 Yhteenveto

Tässä raportissa on esitelty sekä nykyisiä että tulevaisuuden teknologioita, ja lisäksi uusia ideoita Pohjoisen Periferian vähäliikenteisten teiden kunnan hallintaan soveltuvista monitorointijärjestelmistä. Näiden järjestelmien tärkein etu on se, että tuotettujen aineistojen avulla teiden ylläpitäjät tai hoitourakoitsijat voivat kohdentaa hoito- tai kunnostustoimenpiteet rajatulle alueelle, parantaa toimenpiteiden ajoitusta ja lisäksi valita jokaiselle alueelle optimaalisimmat toimenpiteet. Tässä raportissa on esitelty myös uusia ideoita ja innovaatioita, joiden avulla voidaan ratkaista tai minimoida joitakin muita ROADEX –projektissa tunnistettuja vähäliikenteisten teiden ylläpidon ongelmia.

Esiteltyjä uusia tekniikoita voidaan käyttää seuraavilla avainalueilla: kuivatuksen parantaminen, rakenteellisen kunnan parantaminen, tieverkon toiminnallisen kunnan parantaminen, kuljetusten ja kelirikon hallinnan kehittäminen, talvikunnossapidon toimenpiteiden kehittäminen, sorateiden kunnossapidon parantaminen. Lisäksi tien käyttäjien osallistumismahdollisuudet parantuvat tien kunnan hallinnassa.

ROADEX II –projektin vaiheissa I ja II on tuotettu paljon arvokasta perustietoa, jonka avulla voidaan parantaa tien kunnan hallintaa, mutta yhdistettynä moderniin sensori- ja tietoliikennetekniikkaan samat tiedot voivat tuottaa myös uusia mahdollisuuksia vähäliikenteisten teiden kunnan parantamiseen. Tulevaisuudessa todennäköinen suuntaus on, että tien kunnan monitoroinnissa siirrytään tiedonkeräykseen erikoistuneista ajoneuvoista järjestelmiin, jossa vähäliikenteistä tieverkkoa säännöllisesti käyttäviä ajoneuvoja hyödynnetään sensorialustoina. Tällä tavalla voidaan monitoroida suurempia alueita useammin, ja myös edullisemmin. Kuvassa 13 on esitelty vähäliikenteisten teiden monitoroinnin ja hallinnan pelikenttä tulevaisuudessa Pohjoisen Periferian alueilla.



Kuva 13. Vähäliikenteisten teiden monitoroinnin ja hallinnan pelikenttä tulevaisuudessa Pohjoisen Periferian alueilla.

13 Lähteet

- Aho S., Saarenketo T., Berntsen G., Dawson A., Kolisoja P. ja Munro R. (2005). Structural Innovations. ROADEX II -raportti. www.roadex.org
- Berntsen G. and Saarenketo T. (2005). Drainage on Low Traffic Volume Roads. ROADEX II -raportti. www.roadex.org
- BWIM-mätningar 2002 och 2003. Slutrapport. VVPublikationer 2003:165. Ruotsiksi.
- Conway, A. ja Walton, C.M. 2005. Potential application of ITS technologies to improve commercial vehicle operations, enforcement and monitoring. TRB2005 Annual Meeting Cdrom.
- COST 325 -projekti (1997) New Road Monitoring Equipment and Methods. Loppuraportti. Transport Research. European Commission Directorate General Transport. 225 s.
- Dawson, A. ja Kolisoja P. Permanent Deformation. ROADEX II -raportti, Task 2.1. www.roadex.org
- Johansson, S., Kosonen, S., Mathisen, E., McCulloch, F. ja Saarenketo, T. 2005. Road management policies for low volume roads – some proposals. ROADEX II -raportti. www.roadex.org
- Lämsä, V.P. ja Belt, J. 2004a. Routaheittotutkimus. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 32/2004
- Norem, H. 2001. Winter Maintenance Practise in the Northern Periphery. ROADEX I -raportti. www.roadex.org
- ROADEX -projekti 1998-2001. Northern Periphery (Pohjoinen Periferia). CD-ROM
- Saarenketo, T. 2005. Monitoring, Communication and Information Systems & Tools for Focusing Actions. ROADEX II -raportti. www.roadex.org
- Saarenketo, T. ja Saari, J. 2004. User Perspective to ROADEX II Test Areas´ Road Network Service Level. ROADEX II -raportti. www.roadex.org
- Saarenketo T. ja Aho S. (2005). Managing Spring Thaw Weakening on Low Volume Roads. ROADEX II -raportti. www.roadex.org
- Sarkkinen, A., Perälä, T. ja Tainio, S. 2004. Alueurakan asiakastytyväisyyssuonuksen kehittäminen. Tiehallinto. Tiehallinnon selvityksiä 49/2004, (englanninkielinen tiivistelmä)



ROADEX III PUBLICATIONS

Executive Summaries

Managing rutting on low volume roads

Treatment of moisture susceptible aggregates

Design and repair of roads suffering spring thaw weakening

Socio-economic impacts of road conditions on low volume roads

Managing peat related problems on low volume roads

Managing drainage on low volume roads

Environmental guidelines and checklist

Monitoring low volume roads

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

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

Project co-ordinator: Mr. Krister Palo.