



ROADEX III
NORTHERN PERIPHERY



Ron Munro ja Frank MacCulloch

TURPEESTA AIHEUTUVIEN ONGELMIEN HALLINTA VÄHÄLIIKENTEISILLÄ TEILLÄ

Tiivistelmä

Turpeesta aiheutuvien ongelmien hallinta vähäliikenteisillä
teillä

TIIVISTELMÄ

Heinäkuu 2006

Ron Munro
Munroconsult Ltd

Frank MacCulloch
Forestry Civil Engineering

ESIPUHE

Tämä raportti on yhteenveto ROADEx II –raporteista “Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat” (Munro 2005), ja “Guidelines for the risk management of peat slips on the construction of low volume/low cost roads over peat” (MacCulloch 2006). Molemmat alkuperäisraportit ovat ladattavissa ROADEx:in Internet-sivuilta.

Raportti perustuu molempiin alkuperäisselvityksiin, ja siinä käydään läpi tärkeimmät seikat, jotka on otettava huomioon, kun suunnitellaan turvealueille rakennettujen kelluvien tierakenteiden kunnostusta. Lisäksi raportissa neuvotaan kuinka ongelmia on mahdollista tunnistaa.

Tiivistelmän tarkoituksena on olla tärkeimpiin huomioitaviin näkökohtiin keskittyvä työohje, joka ei kuitenkaan korvaa monia aiheeseen liittyviä hakuteoksia ja oppikirjoja. Tekijöiden toiveena on, että yhteenvedot saavat lukijan ymmärtämään paremmin minkälaisia mahdollisuuksia, ja myös riskejä, tien rakentamisesta turvealueille seuraa.

Molemmat kirjoittajista työskentelevät insinööreinä Skotlannissa Highlandin alueella – jossa suoalueita onkin runsaasti. Mika Pyhähuhta Laboratorio Uleåborgista on suunnitellut raportin graafisen ulkoasun. Suomenkielisen käännöksen on tehnyt Sanni Pitkäranta Tampereen teknillisestä yliopistosta.

Tekijät haluavat kiittää ROADEx 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

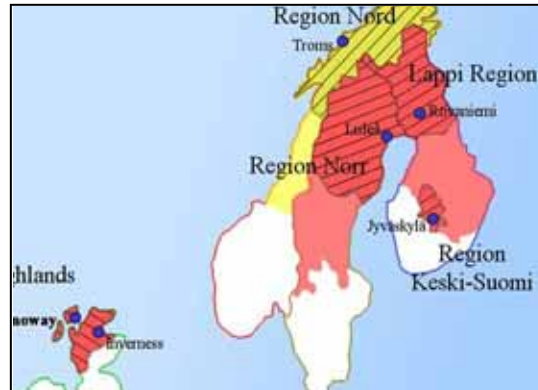
KAPPALE 1. JOHDANTO	5
1.1 ROADEX -projekti.....	5
1.2 TIEN RAKENTAMINEN TURVEALUEELLE.....	6
KAPPALE 2. PERUSTIETOJA TURPEESTA	7
2.1 turpeen muodostuminen.....	7
2.2 turpeen perusominaisuudet	8
2.3 Turpeen käyttäytyminen.....	9
KAPPALE 3. KUNNOSTUSPROSESSI	10
KAPPALE 4. TUTKIMUKSET JA SELVITYKSET.....	12
4.1 Kohteen tutkimusmenetelmät.....	12
4.2 MAAPERÄTUTKIMUKSET.....	13
KAPPALE 5. INTEGROITU ANALYYSI	13
KAPPALE 6. KUNNOSTUSMENETELMÄT.....	13
6.1 PERUSNÄKÖKOHDAT.....	13
6.2 KUNNOSTUSRATKAISUT.....	13
KAPPALE 7. SEURANTA & DOKUMENTOINTI	13
7.1 YLEISTÄ.....	13
7.2 SEURANNAN TYÖVÄLINEET	13
KAPPALE 8. JOHTOPÄÄTÖKSET.....	13
LÄHTEET:.....	13

Kappale 1. JOHDANTO

1.1 ROADEX -PROJEKTI

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

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



Kuva 1: Pohjoisen Periferian alue ja Roadex II -yhteistyökumppanit

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

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

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

1.2 TIEN RAKENTAMINEN TURVEALUEELLE

Monien tiensuunnittelijoiden mielestä turvealueelle sijoittuvan tien rakentaminen ja kunnossapito on eräänlaista "salatiedettä". Siksi monet suunnittelijat, joilla ei ole kokemusta turpeen päälle rakentamisesta, pyrkivät riskien välttämiseksi valitsemaan aina turvallisimman ja tavanomaisimman rakennustavan, jossa kaikki turve poistetaan tien alta ja korvataan puhtaalla, hyvälaatuisella täyttömateriaalilla. Näin toimimalla jätetään kuitenkin hyödyntämättä pohjoisilla alueilla pitkien aikojen saatossa kehitettyjä hyviä tekniikoita. Lisäksi massanvaihto on kallis ja arvokkaita luonnonvaroja tuhlaava ratkaisu, johon on varaa vain nopeita valtateitä rakennettaessa.

Alemman luokan teiden, ja erityisesti vähäliikenteisten teiden, kohdalla voidaan saavuttaa suuria etuja, mikäli pohjamaaksi jätetään turve (etuina mm. taloudellisuus, ympäristöystävällisyys ja käytettävän materiaalin pienempi määrä) ja kehitetään kustannustehokkaampia yksilöllisiä ratkaisuja, joissa maamateriaaleja ei aina pelkästään kaiveta ylös ja heitetä pois. Tämä pätee erityisesti suon päällä 'kelluvien' teiden kunnostamisessa, jolloin täydellinen massanvaihto, tasauksen uusiminen tai paikallisen kiertotien rakentaminen tuskin on mahdollista. Mikäli näin olisi, tien alkuperäiset suunnittelijat olisivat varmasti toteuttaneet nämä toimenpiteet jo alun pitäen.

Kansallisten tiebudjettien pieneneminen ja tarve rakentaa enemmän tiekilometrejä pienemmällä rahamäärällä ovat antaneet sysäyksen säästävempien rakennusmenetelmien uudelleentarkasteluun. ROADEX-pilottiprojektissa todettiin, että turpeelle rakennettujen teiden kantavuusongelmat ovat yleisiä Pohjoisen Periferian alueella, ja myöhemmin ROADEX II -raportissa "Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat" (Munro 2005) arvioitiin turpeelle perustettujen teiden rakennustekniikan tasoa yhteistyöalueilla.

Tässä raportissa tarkastellaan ensisijaisesti ns. turpeen päällä 'kelluvien' teiden kunnostamiseen liittyviä vaikeuksia. Lisäksi käydään läpi nykyaikaisia tutkimus-, seuranta- ja kunnostustekniikoita, jotka voivat auttaa ongelmatieosuuksien määrittämisessä sekä tarkoitukseen sopivien ratkaisujen kehittämisessä ja soveltamisessa, jotta massanvaihtoon ei aina tarvitse turvautua.

Raportissa esitellään töiden suunnittelun kannalta tärkeitä näkökohtia ja neuvotaan, kuinka ongelmia voidaan tunnistaa. Sen tarkoituksena on olla käytännönläheinen opas, joka auttaa paikallisia teiden kunnossapidon ja suunnittelun ammattilaisia turvepohjalle rakennettujen teiden tavanomaisissa ongelmissa.

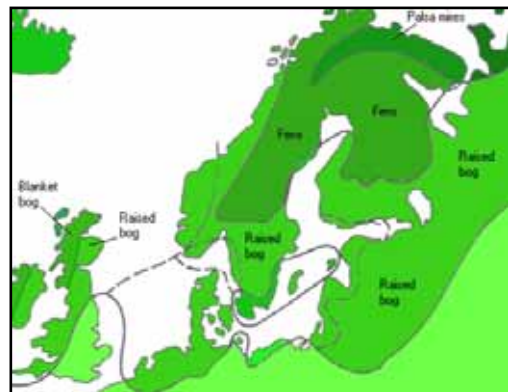
Kappale 2. PERUSTIETOJA TURPEESTA

Turve ei ole materiaalina tasalaatuista, ja siksi ratkaisujen tekemistä varten tarvitaankin perustietämystä sen ominaisuuksista.

2.1 TURPEEN MUODOSTUMINEN

Sanaa 'turve' voidaan käyttää kuvaamaan monentyypisiä eloperäisiä maalajeja, mutta tässä raportissa sillä tarkoitetaan vetisillä mailla muodostuvaa runsasta kasvimateriaalia, jota syntyy kun kasvien luonnollinen hajoaminen ei ole yhtä nopeaa kuin uuden kasvillisuuden muodostuminen. Pohjoisen Periferian turvealueet voidaan jakaa neljään pääluokkaan:

- Kumpu- ja palsasuo – alue, jolla turve on muodostumisvaiheessa, mutta varsinaista valmista turvetta ei vielä ole syntynyt
- Aapasuo – alue, jolla muodostunut turve saa vettä ja ravinteita maa- ja kallioperästä sekä pohjavedestä, sateesta ja lumesta.
- Kohosuo – alue, jolla muodostunut turve saa vettä ainoastaan sateen mukana ja/tai pinnalle kertyvästä lumesta.
- Rinnesuo – alue, jolla turve peittää maan mattomaisesti.



Kuva 2.1 Pohjois-Euroopan suovyöhykkeet. Succow & Jeschte 1990

Turvealueiden yhtenäisyys tekee niiden aiheuttamista ongelmista samankaltaisia Pohjoisen Periferian eri maissa, jolloin eri kunnossapitoviranomaisten kokemuksia ja hyviä toimintaratkaisuja voidaan jakaa organisaatioiden välillä, eikä kaikkien tarvitse oppia samoja asioita vaikeimman kautta.

Turpeen muodostumisalueiden laajuus mahdollistaa kuitenkin turvelajien suuren määrän. Jokaisen alueen sisällä kasvavat turve-esiintymät voivat olla ominaispiirteiltään hyvinkin vaihtelevia muodostumistapansa perusteella ja vaihdella ominaisuuksiltaan myös yksittäisissä muodostumissa sekä vaaka- että pystysuunnassa. Sen takia onkin tärkeää ymmärtää kuinka yksittäinen turvekasvusto muodostuu luonnossa. On tiedettävä turpeen "geomorfologia", jotta voidaan määrittää tienrakentaja kiinnostavat, kohteen suunnitteluun vaikuttavat ominaisuudet.

2.2 TURPEEN PERUSOMINAISUUDET

Suunnittelun näkökulmasta turve voidaan jakaa kolmeen pääryhmään: 'amorfinen, rakeinen turve' (so. pitkälle maatonut turve), 'hienokuituinen turve' ja 'karkeakuituinen turve' (Radforth, 1969). Amorfisessa rakeisessa turpeessa on paljon kolloidisia mineraaleja ja se pyrkii sitomaan veden adsorptiolla raerakenteen ympärille saven tapaan. Kuitumaiset turvetyypit, 'hieno- ja karkeakuituinen turve', ovat puumaisempia ja niiden sisältämä vesi on pääosin vapaata vettä. Nämä pääryhmät heijastavat turve-esiintymän kasvutapaa ja määrittelevät suunnittelun kannalta keskeiset ominaisuudet.

Turvekohteet voidaan luokitella kahden eri järjestelmän avulla, jotka molemmat perustuvat yksinkertaiseen silmämääräiseen tunnistamiseen: a) Radforthin järjestelmä, johon kuuluvat yllä mainitut kolme luokkaa sekä b) von Postin 'maatumisaste' -järjestelmä, jossa turpeen maatumista tarkkaillaan puristamalla näytteitä kädessä. Järjestelmiä kuvaillaan yksityiskohtaisesti ROADEX II -raportissa "Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat" (Munro 2005).

Suuri kosteuspitoisuus on luultavasti luonnollisen turve-esiintymän ominaisin piirre yhdessä suuren humuspitoisuuden kanssa, ja suurin osa suunnittelun lähtökohdista turpeen ollessa rakennuspohjan materiaalina johtuukin tästä yksinkertaisesta ominaispiirteestä. Turve-esiintymän leikkauslujuus riippuu sen vesipitoisuudesta, maatumisasteesta ja mineraalisen aineksen määrästä. Leikkauslujuus on keskeinen tekijä tiekohteissa ja yleensä turpeen korkea vesipitoisuus on osoitus pienestä leikkauslujuudesta. Turpeen suurempi kuitumaisuus taas osoittaa suurempaa leikkauslujuutta samoin kuin mineraalisen aineksen suurempi määräkin. Yksittäisen turvekavuston lujuus riippuu harvoin esiintymän paksuudesta. Turvesuon lujuus kuitenkin pienenee usein syvyyden kasvaessa, sillä turpeen ominaisuuksissa kuitumaisuus vähenee ja amorfisuus lisääntyy syvyyden kasvaessa.

1.4.2 Yhteenveto tyypillisistä turpeen ominaisuuksista

Taulukossa on listattuna tärkeimpiä turve-esiintymän teknisiä ominaisuuksia, joista hyödyllisin on vesipitoisuus.

Yksinkertainen **silmämääräinen luokittelu** yhdistettynä **vesipitoisuuden** määrittelyyn voivat ilmaista myös muiden suunnittelun kannalta tärkeiden parametrien suuruusluokkaa ja **molempia suositellaan vähimmäistoimenpiteiksi** vähäliikenteisillä teillä tehtävien töiden yhteydessä.

Ominaisuus	Turvetyppi		
	Raakaturve	Keskinkertaisesti maatonut turve	Maatonut turve
Vesipitoisuus %	1400 - 2500	900 - 1400	500 - 900
Tuhkapitoisuus %	1.5 - 3.0	3 - 8	8 - 30
Huokosluku	22 - 40	13 - 22	9 - 13
Leikkauslujuus (kPa)	5-15	5-15	5-15
Vedenläpäisevyys (cm/s)	$10^{-3} - 10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-5}$	$10^{-5} - 10^{-6}$
Materiaalin irtotiheys luonnontilaisena	900 - 1100	900 - 1100	900 - 1100

Taulukko 2.1 Yhteenveto tyypillisistä turpeiden ominaisuuksista

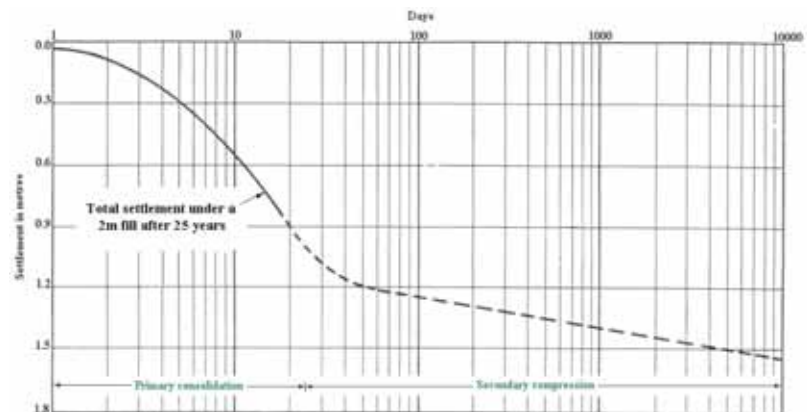
2.3 TURPEEN KÄYTTÄYTYMINEN

Turve tiivistyy ja painuu kuormituksen alla. Sen takia kuormitusta on lisättävä hiljalleen ja turpeelle on annettava riittävästi aikaa lujittua, jos se jätetään rakennuspohjan materiaaliksi. Mikäli turvetta kuormitetaan liian nopeasti, se murtuu ja pettää rakenteen alta.

Turpeen päälle hitaasti rakennettava pengerrus puristaa ja tiivistää turvetta painon alla, jolloin turpeen orgaaninen aine ottaa lisääntyvän osan kuormituksesta kantaakseen, ja kuormitetun turpeen lujuus kasvaa. Lujittumisprosessia on kuvailtu yksityiskohtaisesti ROADEx II -raportissa "Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat" (Munro 2005).

Hidas ja kontrolloitu tiivistys noudattaa yleensä kuvan 2.2 kaaviossa esitettyä turpeen päälle rakennetun penkereen painumakäyrää.

Primääripainuma tapahtuu yleensä sillä aikaa, kun pengerrus rakennetaan. Sen suuruus riippuu penkereen painosta sekä turvekerroksen ja muiden kokoonpuristuvien kerrosten paksuuksista. Tämän vaiheen jälkeen painuminen jatkuu paljon hitaammin sekundaaripainumana, jonka nopeus muuttuu lineaarisesti ajan logaritmin suhteen.



Kuva 2.2 'Painuma ajan suhteen' – kaavio turpeen päälle rakennetusta penkereestä. (The Muskeg Engineering Handbook. National Research Council of Canada)

Kuvaajasta ei näy, että painuman suuruus on suoraan verrannollista turpeen lujuuden kasvun kanssa ajan ja tiivistymisen edetessä, kun turve puristuu pienempään tilavuuteen. Tämä ominaisuus on pidettävä mielessä, kun harkitaan kunnossapito- ja korjaustoimenpiteitä turpeen päällä kulkeville teille. Tiettyyn aikaan mennessä turve saavuttaa tasapainotilan kantamansa painon alla. Tasapaino syntyy kuormituksen, konsolidaatioasteen, turvemassan lujuuden kasvun, pohjaveden korkeuden ja mahdollisten nostevoimien välille. Tähän tasapainotilaan kohdistuvat häiriöt, kuten uuden päällystekerroksen lisäys tai ojien syventämisestä aiheutuva kohteen hydrologisten ominaisuuksien muutokset, vaikuttavat ajan myötä turpeeseen syntyneeseen tasapainotilaan aiheuttaen muutoksia, jotka yleensä johtavat lisäpainumaan. Tällaisia häiriöitä tulisi luonnollisesti välttää, ellei niitä ole huomioitu kunnostussuunnitelmassa ja niiden vaikutuksiin ole varauduttu.

Kappale 3. KUNNOSTUSPROSESSI

Turpeen aiheuttamista ongelmista kärsivien teiden kunnostusprosessit ovat tähän mennessä olleet hyvin paikallisia hankkeita, jotka ovat perustuneet paikallisten suunnittelijoiden käytännön kokemuksiin ilman hyödyllistä kokemusten jakamista muiden kanssa. Joillakin alueilla on siten keksitty hyvin innovatiivisia ratkaisuja ongelmiin, mutta useimmiten yhtä tiettyä ratkaisua on käytetty kaikissa alueen kunnostushankkeissa. Seuraukset eivät kuitenkaan aina ole olleet pitkävaikutteisia ja pysyviä. Joissakin tapauksissa, jos tierakenteen painoa on töiden aikana lisätty, vaurioiden kasvu on jopa kiihtynyt, vaikka tarkoituksena on ollut niiden poistaminen.

Tässä raportissa suositellaan viisivaiheista prosessia turpeen päällä kelluvien teiden kunnostukseen:

1. taustalla olevan ongelman tunnistaminen sopivien tutkimusten avulla
2. kerättyjen tutkimustietojen analysointi
3. parhaiten soveltuvan kunnostusmenetelmän valinta
4. työn seuranta ja havainnointi rakennusprosessin aikana
5. tiedon dokumentointi ja jakaminen

Ensivilkaisulta vaiheet 1 – 3 saattavat vaikuttaa turhalta kustannuserältä, jotka voidaan ohittaa niukan rahoituksen takia, mutta tällainen johtopäätös olisi kuitenkin hätiköity. Tutkimuksen, analyysin ja menetelmän valinnan osuus hankkeen kokonaiskustannuksista on töiden laajuudesta riippuen 2 – 4 % luokkaa, mutta se ei ole hukkaan heitettyä rahaa, vaan näiden vaiheiden avulla kohteelle löydetään soveltuvin pitkäaikainen ratkaisu. ROADEx-projektin sanoma on, että vaurioituneiden tieosuuksien perusongelmien määrittämiseen on aina käytettävä riittävästi resursseja. Tämän raportin mukaisessa asiayhteydessä se tarkoittaa, että turvealueille sijoittuvien kunnostustöiden tulisi aina perustua tarkoitusta varten kerättyihin luotettaviin tietoihin.

Tässä vaiheessa kannattaa painottaa, että projektia varten kerätyt tiedot eivät ole "kertakäyttöinen" sijoitus. Kaikkia kerran kerättyjä aineistoja voidaan käyttää monilla tavoin vuosikausia, eikä ainoastaan teiden kunnostustöiden suunnittelun apuna, vaan myös valmiin tierakenteen toimivuuden ja käyttöiän hallinnassa. Tarkan seurannan ja dokumentoinnin avulla kerättyjä aineistoja voidaan pitää tallessa tulevia töitä varten; niitä voidaan käyttää vertailuaineistona, jolloin kokemuksen määrä kasvaa. Tiedon kerääminen ja jakaminen voi auttaa nykyisiä ja tulevia suunnittelijoita tarkoituksenmukaisten suunnitelmien tekemisessä, jolloin voidaan välttää "pyörän keksiminen uudelleen" aina samankaltaisten olosuhteiden vallitessa. Huolellisesti kirjatut ja systemaattisesti tallennetut aineistot ovat tärkeitä tutkimuksen, analysoinnin, suunnittelun, seurannan ja dokumentoinnin kannalta nyt ja

tulevaisuudessa. Tämän takia onkin suositeltavaa, että kaikki aineistot tallennetaan GPS-dataan tai vastaaviin tietoihin linkitettyinä, jotta aineistoihin päästään käsiksi uudelleen ja niitä voidaan arvioida integroidusti myös tulevaisuudessa.

Kappale 4 TUTKIMUKSET JA SELVITYKSET

4.1 KOHTEEN TUTKIMUSMENETELMÄT

Turvealueille rakennettujen vähäliikenteisten/vähärahoitteisten teiden kohdalla joudutaan usein rajoittamaan kohdetutkimusten määrää taloudellisista tai aikataulullisista syistä. Taulukossa 4.1 on lueteltu vähäliikenteisille teille soveltuvia tutkimusmenetelmiä ja kuvailtu mitä tietoja niiden avulla voidaan kerätä. Lisätietoja menetelmistä on annettu ROADEX II –projektin raporteissa.

Taulukko 4.1

Tutkimusmenetelmä	Kuvaus menetelmästä	Lisähuomautukset
Taustatutkimus	Paikallisten karttojen, asiakirjojen, raporttien, vauriotietojen, kunnossapidon historiatietojen sekä samankaltaisten paikallisten projektien, kohteen turveominaisuuksien, hankkeiden tulosten yms. tutkiminen toimistotyönä.	Projektin suunnittelun mahdollistavien lähtötietoaineistojen keräys. Välttämätön
Maastokäynti ja alueen katselmointi	Kohteen silmämääräinen tarkistus, jonka suorittaa suunnittelija, jolla on kokemusta turvealueille rakennettujen teiden kunnostuksesta.	Käytännöllinen ja edullinen tutkimus, jonka avulla saadaan yleisvaikutelma kohteesta ja sen ongelmista. Välttämätön
Kairaukset	Turpeen syvyyden mittaus terästangolla. Jonkinlaista kairausta tarvitaan aina, kun työt sijoittuvat turvealueelle.	Yksinkertainen ja toimintavarma menetelmä turve-esiintymän syvyyden mittaamiseen tai kalibrointitoimenpide pinnalta tehtävälle mittaukselle, kuten maatulkuotaukselle. Välttämätön
Maatulkuotaus	Yhä yleisemmin turvealueiden tutkimuksissa käytetty pinnalta tehtävä mittaus, joka soveltuu erityisen hyvin tien rakennekerrosten ja maakerrosten paksuuksien määrittämiseen ennen levennyksen ja vahvistusten rakentamista.	Maatulkuotauksen kuvaajissa näkyy selkeät rajapinnat tien sekä sen alla sijaitsevan turpeen ja kalliopinnan välillä ja niitä voidaan käyttää hyvällä tarkkuudella tien pitkäaikaiseen kunnon seurantaan. Suosittelava
Digitaalinen videokuva	Tien näkyvän infrastruktuurin visuaalinen tallennus, johon on liitetty tunnetut GPS-koordinaatit.	Videokuvaa voidaan käyttää yksinkertaisesti muodollisena tallenteena tai lisäanalyysien tekoon esim. kuivatus- tai vaurioarvioinnissa. Suosittelava
Näytteenotto	Tutkimus, jossa maaperästä otetaan fyysisiä näytteitä, joiden avulla määritetään tierakenteen ja pohjamaan paksuudet ja ominaisuudet.	Näytteenotto ja kairaus voivat antaa myös tietoa, jonka avulla muita mittauksia voidaan kalibroida ja täydentää. Jonkin verran näytteitä suositellaan otettavaksi
Puristinkairaus (CPT-kairaus)	Puristinkairaus on muiden kairausten kanssa samankaltainen tutkimusmenetelmä, mutta siinä anturi mittaa kerrosten suhteellista lujuutta ja vahvuutta tunkeutuessaan niistä läpi.	Voi olla hyödyllinen menetelmä, kun tien alapuolella on turvekerroksia ja muita materiaaleja.
Pudotuspainolaitemittaus	Tiehen tunkeutumaton testimenetelmä, joka simuloi raskaan liikenteen kuormitusta päällysteeseen.	Tuloksista voidaan arvioida kantavuutta, pohjamaan maaperää, turvekerrosten esiintymistä ja kalliion sijaintia

Kiihtyvyyssanturit/ Tasaisuusmittaukset	Ajoneuvoon kiinnitetyt anturit mittaavat tien epätasaisuutta taipuma- ja tärinämittauksilla	
--	---	--

Taulukon 4.1 menetelmistä kaksi ensimmäistä, taustatutkimus ja maastokäynti, saattavat aluksi vaikuttaa yksinkertaisilta toimenpiteiltä, jotka voidaan jättää tekemättä, mikäli rahoitusta on rajallisesti. Niiden laiminlyöminen olisi kuitenkin taloudellisesti kannattamatonta. Huolellisen taustatutkimuksen kautta voidaan saada arvokasta historiatietoa aikaisemmista tapahtumista, esim. tien kunnossapitotietoja, asiakirjoja vastaavista paikallisista kunnostustöistä, aikaisemmista maaperätutkimuksista, turpeen ominaisuuksista, materiaalien saatavuudesta jne., jotka ovat hyvin tärkeitä, kun halutaan oppia aikaisemmista kokemuksista. Tiedot sekä hyvin että huonosti menneistä projekteista voivat kasvattaa uusia hankkeita varten tarvittavaa tietämystä ja niiden avulla ennakkoluulottomat suunnittelijat voivat saada ideoita käyttökelpoisista ratkaisuista.

Kohdealueen maastokatselmuksen aikana voidaan muodostaa hyvä yleiskuva alueesta ja ymmärtää sen pintakerroksen ominaisuudet, kuten turvealueen laajuus ja ojien, vesistöjen, pinnanalaisten putkien, pinnan topografian, turpeennoston, vettyneiden alueiden, vapaan veden alueiden yms. olemassaolo.

Sekä taustatutkimus että maastokatselmus antavat tärkeitä esitietoja kohteen varsinaisia tutkimuksia ja niitä seuraavaa analysointia varten, mutta kaikkien mainittujen menetelmien käyttäminen on harvoin kustannustehokasta. Tavallisesti menetelmistä on muodostettava kohdetta varten soveltuvin kokonaisuus, jotta voidaan varmistaa, että kaikki tarpeelliset tiedot on kerätty asianmukaista analyysia varten. On kuitenkin hyvin tärkeää, että suunnittelu voidaan perustaa riittävään tietomäärään. Liian usein käy niin, että kiireiset insinöörit jättäisivät mieluusti kohdetutkimukset tekemättä rahan- ja ajanpuutteen takia. Tämä on aina virhe. Turvealueelle sijoittuvien kunnostustöiden tulee aina perustua luotettaviin kerättyihin tietoihin.

ROADEX-hankkeen kokemusten perusteella turpeen aiheuttamista ongelmista kärsiville vähäliikenteisille teille suositellaan kuuden tutkimusmenetelmän yhdistelmää:

- taustatutkimus
- maastokäynti ja alueen katselmointi
- kairaukset
- maatutkaluotaus
- pudotuspainolaitemittaus
- digitaalinen videokuva

ROADEX-hankkeen yhteistyökumppanit ovat todenneet, että tämän yhdistelmän avulla voidaan löytää tarkoitukseen sopivat kunnostusratkaisut luotettavasti ja tutkimusfaktioihin perustuen. Kun tutkimusten tiedot ovat käytössä, seuraavassa vaiheessa voidaan tehdä niiden integroitu analyysi perusongelmien selvittämiseksi.

4.2 MAAPERÄTUTKIMUKSET

Kuten taulukossa 4.1 on mainittu, jonkin verran maastotutkimuksia ja näytteenottoa suositellaan tehtäväksi turvealueille sijoittuvien tierakennustöiden yhteydessä. Yleensä tutkimuksina käytetään:

- Turvelajin ja maatumisasteen määrittäminen kierrekairalla otetusta näytteestä
- Turvekerroksen syvyyden määrittäminen kairamalla ja/tai maatumiskuulauksella
- Tiheyden ja vesipitoisuuden määrittäminen häiriintymättömästä näytteestä, mikäli mahdollista

Turpeesta on vaikea saada häiriintymättömiä näytteitä suuren vesipitoisuuden takia, mutta Ruotsin geotekninen instituutti (SGI, Statens Geotekniska Institut) on kehittänyt tarkoitukseen yksinkertaisen ja tehokkaan näytteenottimen. SGI:n näytteenottimessa on terävä, pyöreä ja aaltoilevareunainen leikkuureuna kiinnitettynä halkaisijaltaan 100 mm muoviputkeen, jonka yläpäässä on kestävä iskutyyny. Putken pituus vaihtelee ja rajoittaa turpeesta saatavan näytteen pituutta, mutta yleensä 1.0 m pitkä näyte on riittävä. Näytteen häiriintymiseen vaikuttaa suuresti se, miten näytteenotin upotetaan turpeeseen. Parhaat tulokset on yleensä saatu iskemällä näytteenotin turpeeseen kevyen tärykoneen avulla tai naputtamalla kevyesti vasaralla. Tällaista kustannuksiltaan edullista menetelmää suositellaan turvenäytteiden ottoon vähäliikenteisillä teillä.



Kuva 4.1 Kuvia Ruotsin geoteknisen instituutin näytteenottimen käytöstä.

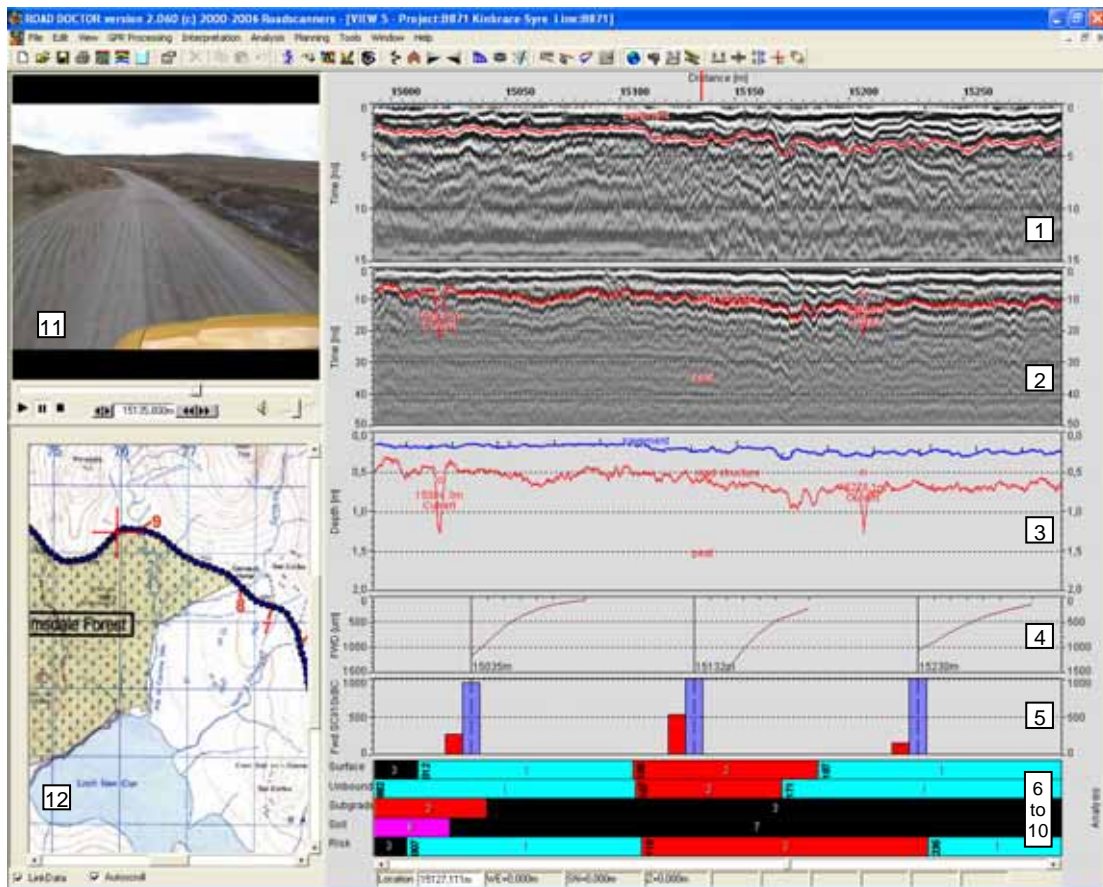
Lähde: Ruotsin geotekninen instituutti.

Kappale 5. INTEGROITU ANALYYSI

ROADEX-projektin menetelmä "integroitu analyysi" kokoaa yhteen kaikki oleelliset tutkimustiedot analyysia ja suunnittelua varten. Kun tutkimustulokset kootaan tällä tavoin yhteen, hankkeen työryhmällä on parhaimmat mahdollisuudet paikkakohtaisten ongelmien perussyiden määrittämiseen a) tunnistamalla jokaisen tieosuuden ongelmakohdat ja keskittämällä huomion niihin, sekä b) helpottamalla soveltuvien kunnostusmenetelmien valintaa korjausta tarvitseville kohteille.

Tyypillinen integroidun analyysin ruutunäkymä, josta nähdään tutkimustiedot kootusti, on esitelty kuvassa 5.1. Analyysissa on käytetty rovaniemeläisen Roadscanners Oy:n kehittämää Road Doctor -ohjelmistoa. Ruudussa esitetään analyysiin valitut tutkimustiedot linkitettyinä yhteiseen lähtöpisteeseen ja/tai GPS-paikkatietoon. Yläoikealta lähtien kuvassa on:

- Kaksi maatutkaluotauksen kuvaajaa (aineistot 1 ja 2) ja tulkinat päällysrakennekerroksista, tiepenkereen paksuudesta ja alapuolisten maalajien syvyyksistä (aineisto 3). Tien rakennekerrosten paksuudet on hyödyllistä tietää, sillä niiden avulla voidaan arvioida pohjamaan turpeeseen kohdistuvaa kuormitusta ja turpeen leikkauslujuutta.
- Pudotuspainolaitemittausten tulokset (aineisto 4). Tiedot ovat hyödyllisiä tien rakennekerrosten jäykkyyttä arvioitaessa ja määritettäessä johtuvatko ajoradan ongelmat pohjamaan turpeesta vai muista olosuhteista.
- Useita tulkintoja kerätyistä aineistoista: punainen pylväs on pintakantavuutta kuvaava "surface curvature index" (SCI), joka antaa tietoa päällysteen ja kantavan kerroksen jäykkyydestä (aineisto 5), sininen pylväs taas on pohjakantavuusindeksi "base curvature index" (BCI), josta nähdään kuinka hyvin paino jakaantuu heikon pohjamaan päälle (aineisto 5), tien eri kerrosten luokittelua (aineistot 6-10): kulutuskerros, sitomattomat kerrokset, pohjamaa, maaperäluokitus sekä tieosuuden yleinen riskiarvio.
- Digitaalinen videokuva (aineisto 11), josta voidaan arvioida kohteen yleisilmettä, turvealueen luonnetta, ongelma-alueiden laajuutta, mahdollisia tienreunojen kuivatusrakenteita, infrastruktuuria ja muita mahdollisesti vaikuttavia ominaisuuksia.
- Peruskartta (aineisto 12).



Kuva 5.1 Road Doctor -ohjelmalla tehty integroitu analyysi tiestä B871 Skotlannissa

(Kaksi maatumaluaotuksen poikkileikkausta, pudotuspainolaitemittauksen tulokset ja tulkinnat, peruskartta sekä videokuva, jotka alkavat samasta lähtöpisteestä. Tutkimustuloksia käytettiin kootusti tien rakennekerrosten ja pohjamaan arviointiin, jonka avulla tehtiin riskianalyysi päällystevaurioiden todennäköisyyden ennustamiseksi ennen puutavarakuljetuksia. ROADDEX II – projektissa selvitetty analyysiprosessi osoitettiin myöhemmin paikkansa pitäväksi kolmen vuoden puutavarakuljetusten jälkeen.)

Tällaisella yhteen ruutuun kootulla ”integroidulla analyysillä”, josta nähdään tutkimustiedot kootusti, suunnittelija voi analysoida ristiin kaikkia aineistoja joutumatta etsimään niitä lukuisista erillisistä ja eri tavalla kohdennetuista lähteistä. Tämä on integroidun analyysin todellinen vahvuus ja sen avulla voidaan säästää merkittävästi aikaa verrattuna perinteisiin analyysimenetelmiin.

Lisäksi tarpeettomat rakennustyöt ja vääränlaiset kunnostustoimenpiteet voidaan välttää, jos tiedetään vauriokohteiden tarkka sijainti ja kunnostustoimenpiteet suunnitellaan ongelmien syiden perusteella (Saarenketo 2001).

Kappale 6. KUNNOSTUSMENETELMÄT

6.1 PERUSNÄKÖKOHDAT

Nykyisten olosuhteiden parantamisen lisäksi turvepohjalle rakennettujen teiden kunnostamisessa ensisijainen perussääntö on, että tierakenteen ja turpeen välistä tasapainoa ei saa häiritä, jotta lisävaurioita ei aiheutuisi.

Turpeen päälle rakennetuilla teillä on se hyvä ominaisuus, että vaikka niillä olisi painumaongelmia, alla oleva turve on kuitenkin yleensä lujittunut ajan myötä kuormituksen alla, jolloin se kestää tien vallitsevan painon. Turpeen lujittumista, erityisesti ”esikuormitusta”, voidaan hyödyntää teiden kunnostuksessa, kunhan toimenpiteillä ei aiheuteta uutta konsolidaatiopainumista, ellei se ole suunniteltua ja sen seuraukset tunnettuja ja hyväksytyjä.

Tämä ei kuitenkaan aina ole helppoa, sillä jokaiseen kunnostuskohteeseen liittyy omat käytännön ongelmansa, kuten:

- Liikenteen hallinta – tietä käyttävien liikennevirtojen ohjaaminen. Keinoina voi olla tien sulkeminen, vain yhden kaistan käyttö tai tilapäisen kiertotien rakentaminen, mikäli tien vieressä on riittävästi tilaa käytettävissä. Tietä käyttävän liikenteen hallinta saattaa vaikuttaa merkittävästi siihen, mitä kunnostusmenetelmiä tieosuudella voidaan käyttää.
- Töiden toteuttaminen – voidaanko kunnostustoimenpiteet toteuttaa siihen käytössä olevalla alueella ja liikenneratkaisulla? Esimerkiksi teräsverkkorakenne on levitettävä ilman sivusuuntaisia liitoskohtia koko tien leveydelle, noin 30 cm syvyyteen. Tämä ei välttämättä ole mahdollista, jos liikennettä ei voida siirtää muualle, ja siten parempi ratkaisu voi olla tehdä kunnostus olemassa olevan tien päälle ja hyväksyä painumien syntyminen. Lopullinen päätös muodostuu tasapainosta käytettävissä olevien suunnitteluratkaisujen ja niiden vaikutusten välillä.
- Kunnostustöissä käytettävät ajoneuvot – kaivupohjilla kulkevien raskaiden ajoneuvojen vaikutukset on huomioitava. Työjaksot on suunniteltava tarkasti, jotta voidaan varmistaa, että tien rakennekerrokset pysyvät riittävän vahvoina ja kestävät korjaustoimenpiteet. Tällöin ennakkotutkimusten aikaisia maatulkuotauksia voidaan hyödyntää kerrosten paksuuksien ja kestävyyksien määrittämisessä.

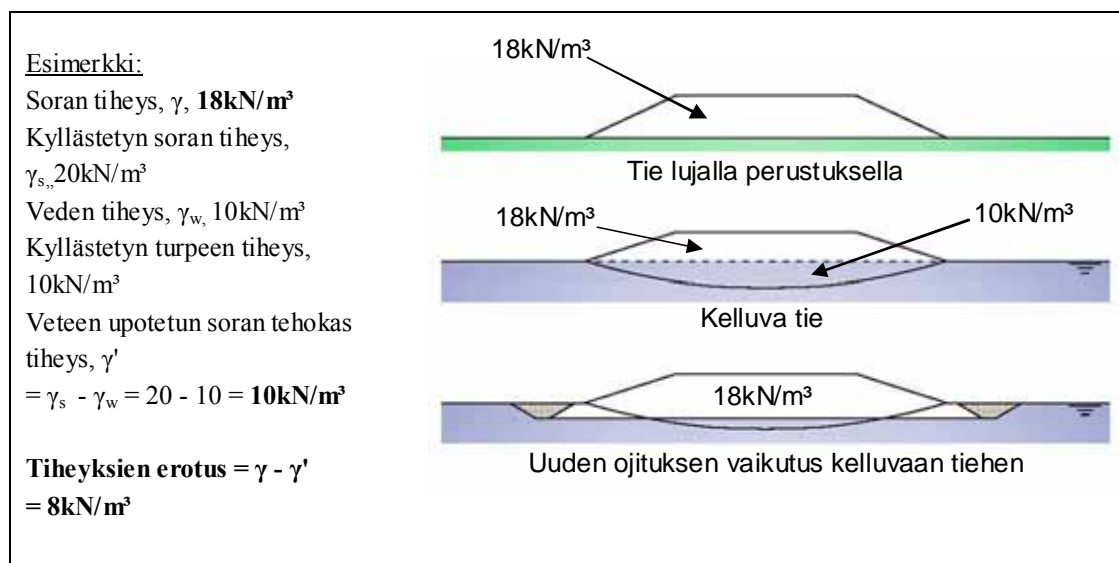
Näiden käytännön ongelmien takia saattavat olemassa olevaan tiehen tehtävät kaivutyöt joissain kohteissa olla mahdottomia toteuttaa, jolloin kunnostustoimenpiteenä on lisättävä kerroksia tien päälle. Tällaisissa tapauksissa ylimääräinen kuormitus on hyväksyttävää, mutta kunnostuksen suunnittelijoiden on

kuitenkin ymmärrettävä siitä aiheutuvat seuraukset ja osattava varautua niihin. (Päällystetyille teille tarkoitettuja kunnostusmenetelmiä, joissa käytetään vahvistettua asfalttia tai bitumilla sidottua päällystettä on käsitelty myöhemmin raportissa. Menetelmät aiheuttavat painumia.)

Turpeen päällä kulkevan tien kunnostustyöt eivät siis saa aiheuttaa lisähaittoja, elleivät vaikutukset ole ennakoituja ja hyväksyttäviä. Kunnostustyöstä puhuttaessa ”haitalla” tarkoitetaan kuormituksen lisäystä tai pohjaveden pinnan laskua aiheuttavia muutoksia tien ympäristön hydrologiassa.

Kuten kappaleessa 2 on jo mainittu, tierakenteen ja sen alla olevan turpeen välille muodostuu yleensä nopeasti tasapainotila, kun turvemassa saavuttaa riittävän lujuuden kannattamaan tien painon huokosveden poistuessa siitä. Kun alkutasapaino on saavutettu, tie jatkaa hiljalleen painumista paljon hitaammalla nopeudella sekundääripainumana. Kun tasapainotila on saavutettu, kaikki uudet kuormituksen lisäykset (kuten uusi päällystekerros) tai muutokset turpeen vesipitoisuudessa (kuten oja syvennettäessä) aiheuttavat häiriöitä olosuhteisiin ja käynnistävät tiivistymis- ja painumisprosessin uudelleen.

Tässä tapauksessa pohjaveden pinnan alentaminen vaikuttaa olosuhteisiin samalla tavoin kuin kuormituksen lisääminen tielle. Kun pohjaveden pintaa alennetaan kelluvan tien rakenteiden alla, sen hydrostaattinen noste pienenee ja seurauksena on, että tien korkeus suhteessa pohjaveden pintaan kasvaa. Tällöin tiestä tulee painavampi kuin ennen ja pohjamaan turpeeseen kohdistuu suurempi kuormitus, jolloin turve tiivistyy ja painuu entisestään. Muutokset vedenpinnassa eivät tietenkään tapahdu nopeasti yhdessä hetkessä, mutta pitkällä aikavälillä vaikutus on sama. Paino lisääntyy ja painumista tapahtuu. Mekanismia on esitelty seuraavassa kuvassa (6.1).



Kuva 6.1 Nosteen vaikutukset kelluviin teihin (Carlsten)

Esimerkin ylimmässä kuvassa on hahmoteltu lujalle pohjamaalle rakennettua tiepengertä, jonka painuma on hyvin vähäistä tai olematonta. Tällaisessa rakenteessa kuivatustoimenpiteillä on hyvin vähän haitallisia vaikutuksia; yleensä vaikutukset ovat erittäin suotuisia. Keskimmaisessä kuvassa on esimerkki tyypillisestä turpeen päällä 'kelluvasta' tiestä, jossa tie on painunut turpeeseen, turve on tiivistynyt ja nostevoima vaikuttaa tasapainoon. Tässä tapauksessa penkereen tehokas tiheys vedessä on pienentynyt 18 kN/m^2 :sta 10 kN/m^2 :iin, joten alla olevan turpeeseen kohdistuva kuormitus on pienentynyt. Alimmainen kuva on luonnostelma ojituksen (kuvassa harmaalla) pohjaveden pintaa alentavasta vaikutuksesta, kun tasapaino on saavutettu. Vedenpinnan lasku vähentää vakiintunutta nostevoimaa ja kasvattaa penkereen tehokasta tiheyttä maanpinnan alapuolella 10 kN/m^2 :sta 18 kN/m^2 :iin, jolloin turpeeseen kohdistuvan kuormituksen kasvu aiheuttaa poikkeuksetta uutta painumaa.

Tässä esimerkissä ojituksen aiheuttama 1,0 metrin lasku vedenpinnan korkeudessa aiheuttaa turpeeseen kohdistuvaan kuormitukseen 8 kN/m^2 :n kasvun. Pienempi, 0,5 metrin lasku aiheuttaa kuormitukseen 4 kN/m^2 :n kasvun. Muutosten tapahtuminen vedenkorkeudessa vie tietenkin aikaa ja penger reagoi pinnan alenemiseen vähitellen, mutta pitkällä aikavälillä vaikutukset ovat kuitenkin yllä kuvaillun kaltaisia. Turpeeseen kohdistuva kuormitus kasvaa ja painumaa tapahtuu.

Tämän takia ideaalinen kunnostusratkaisu ei kohdista lisäkuormituksia turpeeseen tai muuta kohteeseen kehittyntä kuivatusjärjestelmää – mutta kuten jo aiemmin on mainittu, se ei aina ole mahdollista.

6.2 KUNNOSTUSRATKAISUT

Tässä raportissa käsitellään kolmea yleistä turvepohjamaan päällä 'kelluviin' vähäliikenteisiin teihin liittyvää kunnostusongelmaa:

1. Ajoradan painuminen ja epätasaisuudet
2. Penkereen painuminen tasauksen nostosta johtuen
3. Tien levennys

Näiden ongelmien kuvauksissa ja niihin tarjotuissa ratkaisuissa yritetään soveltaa jo aiemmin mainittua periaatetta, jonka mukaan 'lisähaittoja' tulee välttää. Näiden yleisluontoisten ratkaisujen avulla pyritään kunnostamaan tiet siten, että lopputuloksena on samanpainoinen tai alkuperäistä kevyempi tie. On kuitenkin myönnettävä, ettei tämä ole kaikissa hankkeissa mahdollista. Silloin kun olemassa olevaa tierakennetta ei voida kaivaa, lisätään päällystekerrokset suoraan tien rakennekerrosten päälle, jolloin tierakenteen paksuus ja paino kasvavat. Näissä tapauksissa painumiin on varauduttava.

6.2.1 Ajoradan painuminen ja epätasaisuudet

Turpeen aiheuttamat ongelmat ilmenevät ajoradoilla useilla eri tavoilla: epätasaisena tienpintana, painumina ja epätasaisina painumina, pituus- ja poikkihalkeiluna, reunojen heikkenemisenä, asfaltin hajoamisena ym.. Vaikutukset voivat olla vakavuudeltaan eriasteisia ja aiheuttaa liikenteelle monenlaisia haittoja, jotka ilmenevät tärinän lisääntymisenä, ajomukavuuden heikkenemisenä ja nopeuksien laskuna. Jotkut tienpitäjät saattavat reagoida teiden epätasaisuusongelmaan yrittämällä muotoilla epätasaisista ajoradan pintaa uuden päällystyksen avulla. Pidemmän päälle tästä on harvoin apua, etenkin turpeen päällä kelluvien teiden kohdalla, sillä uusien kerrosten painonlisäys aiheuttaa nopeasti tiivistymisen ja painumisen lisääntymistä, jolloin epätasaisuudet ilmenevät todennäköisesti uudestaan yhtä kriittisinä tai kriittisempinä kuin ennen. Esimerkiksi 10 cm paksuinen lisäpäällystekerros (joka painaa suunnilleen 0,2 tonnia/m²) saattaa helposti kadota vuodessa, ja uudelleenpäällystetty tie palautua kunnostusta edeltävään tilaansa. Vahvistettua asfalttia tai bitumilla sidottua päällystekerrosta käyttävää kunnostusmenetelmää tarkastellaan myöhemmin tässä kappaleessa. Menetelmään liittyy kuitenkin aina painumia. Jos vanha päällyste voidaan jyrsiä pois ennen uuden päällysteen levittämistä, rakenteen paino ei kasva, eikä lisäpainumaa tapahdu.

Jos lisätiivistymistä ja -painumaa halutaan välttää, kunnostustyöt tulisi tehdä tierakenteen painoa kasvattamatta, ja mieluiten keventämällä sitä. Ihanteellisessa tilanteessa kunnostettu tie on aikaisempaa rakennetta kevyempi, jotta kunnostus varmasti onnistuisi. Mikäli näin voidaan tehdä, vaihtoehtoina on kolme mahdollista kunnostustyyppiä:

- A. Tien ongelmat rajoittuvat rakennekerrokseen (pieniä painumia, halkeilua, verkkohalkeilua) ja kunnostustoimenpiteet voidaan keskittää tien rakennekerrokseen lisäämättä niihin ylimääräistä painoa;
- B. Tien ongelmat rajoittuvat rakennekerrokseen (kohtalaisen kokoisia painumia, halkeilua, muodonmuutoksia) ja kevyemmällä materiaaleilla tehtävät kunnostustoimenpiteet voidaan sijoittaa tien rakennekerrokseen;
- C. Tien ongelmat eivät rajoitu rakennekerrokseen (suuria painumia, muodonmuutoksia, tulvimista) ja kunnostuksen tulee sisältää penkereen osittainen tai täydellinen massanvaihto kevyemmällä materiaalilla.

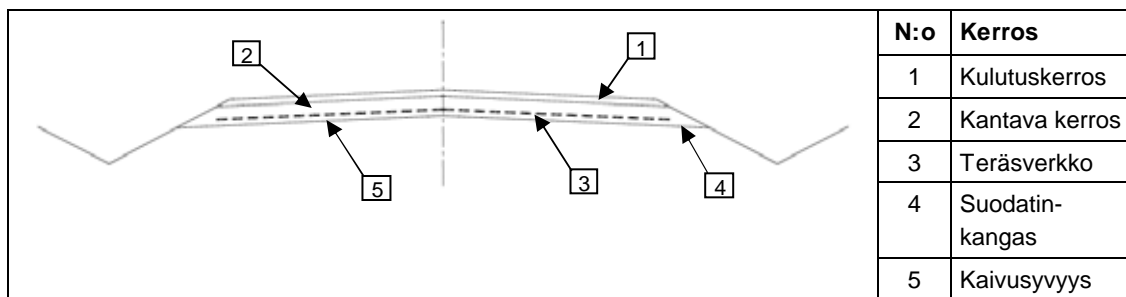
Rakenne A: 'Kunnostuksen perusrakenne'

Kunnostuksen perusrakenne turpeen päällä kulkevalle tielle, jonka ajoradalla esiintyy vaurioita, on seuraavanlainen:

A – KUNNOSTUKSEN PERUSRAKENNE

1. vanhan kulutuskerroksen poisto
 2. vanhojen materiaalien poisto (niin syvältä, että uudet rakenteet ovat mahdollisia, tässä esimerkissä 400 mm)
 3. erottavan suodatinkankaan asennus
 4. sitomattoman kantavan kerroksen levittäminen, 100 mm
 5. uuden teräsverkon asentaminen
 6. uusi kantava kerros 200 mm
uusi kulutuskerros 100 mm (tai uudet joustavat päällystekerrokset päällystetylle tielle)
-

Tiestä poistettavan materiaalin syvyys tulisi tässä rakenneratkaisussa olla sama, tai suurempi, kuin tilalle laitettavien kerrosten yhteispaksuus. Jos tässä onnistutaan, aiheutuu kunnostetusta tiestä vanhan rakenteen painoinen tai pienempi kuormitus pohjamaahan. Rakenteeseen asennettavan suodatinkankaan tulisi soveltua sen päälle levitettävän kantavan kerroksen materiaalille ja olla niin vahva, että se kestää uudesta kiviaineksesta siihen kohdistuvat pistemäiset voimat.



Kuva 6.2 Kunnostuksen perusrakenne

Kun kunnostettavassa rakenteessa käytetään teräsverkkoa (mikä on suositeltavaa), tulee verkkojen paino laskea mukaan rakenteiden painoon. Tierumpujen, putkien ja kaapeleiden päälle asennetut teräsverkot saattavat aiheuttaa vaikeuksia tuleville kunnossapitotoimenpiteille, joten näissä kohdissa niitä joko ei tulisi käyttää ollenkaan tai sitten niiden asennus on suunniteltava tarkasti tulevien ongelmien välttämiseksi.

Rakenne B: ‘Kevyt kunnostusrakenne’

Kevyttä materiaalia käyttävää vaihtoehtoista tierakennetta voidaan myös harkita, jos tällaista soveltuvaa materiaalia on saatavana taloudellisesti lähietäisyydeltä. Taulukossa 6.1 on lueteltu teiden kunnostuksessa yleisimmin käytettyjä kevyitä materiaaleja.

Taulukko 6.1 Tyypillisiä kevyitä täyttömateriaaleja.

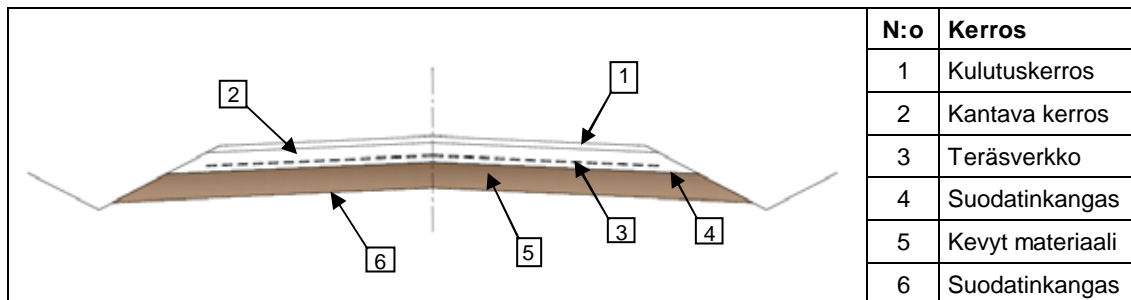
Materiaali	Kuivatiheys kg/m ³	Irtotiheys kg/m ³	Huomautukset
Kevytsora	300-900	650-1200	Tehdasvalmisteinen tuote. Kevyttä kiviainesta, jota syntyy saven paisutuksesta. Tiheys vaihtelee veden imeytymisen mukaan. Kevytsoran yläpuolella pitää yleensä olla 0,6 m tierakennettä. Kevytsoran tiivistäminen voi olla vaikeaa, jos sitä ei ole tuettu.
Jauhemainen polttoainetuhka (pohjatuhka)	700-1400	1300-1700	Hiilivoimalaitosten sivutuote. Luonnollisesti sementoituvaa, erityisen hyödyllistä sillan maatuen täyttömateriaalina.
Kuona	1000-1400	1400-1800	Terästeollisuuden sivutuote. Yleensä kevyiden materiaalien raskaammasta päästä. Suotovesistä voi aiheutua ympäristöongelmia.
Huokoistettu kuona	500-1000	1100-1700	Vaahdotettu sivutuote, jota valmistetaan jäädyttämällä sulatettua kuonaa nopeasti vedessä.
Vulkaaninen tuhka	650-1000	1400-1700	Luonnonmateriaali (erityisen hyödyllinen Islannissa).
Kaarma/hake	100-300	800-1000	Vanhan puunkuoren ominaisuudet voivat olla tienrakennuksen kannalta hyvin hyödyllisiä, mutta suotovesistä saattaa aiheutua ongelmia herkille luonnonympäristöille.
Paisutettu polystyreenilevy	20	100 suunnitelua varten	Tehdasvalmisteinen tuote. Erittäin kevyt, valmistetaan yleensä lohkoina, suhteellisen kallis, puristuslujuus vähintään 100 kPa. Asennukset peitetään yleensä betonilaatoilla. Suojattava bensiniiltä, tulelta ja UV-valoilta.
Vaahdotettu betoni	600-1800	1000-1800	Tehdasvalmisteinen tuote. Vaahdotusaine lisätään paikan päällä valmiiksi sekoitettuun laastiin, puristuslujuus vähintään 4 MPa.
Kokoonpuristetut turvepaalit	200	600-800	Käyttökohteissa 20% nostevoima 10 vuoden vesiuputuksen jälkeen, yleensä ei saatavilla.
Vaahtolasi	100-500	100-500	Uusi tuote, joka valmistetaan käytöstä poistetuista kuvaputkista, vakaa ja inertti materiaali, puristuslujuus 6-12 MPa.
Rengaspaalit	500-650	500-650	Paaleiksi tiivistettyjä ja galvanoidulla langalla sidottuja kierrätysrenkaita.

Teiden kunnostuksessa näitä kevyitä materiaaleja käytetään ensisijaisesti pienentämään tien kokonaispainoa ja siten vähentämään turpeeseen kohdistuvaa kuormitusta. Alla on esitelty tyypillinen kunnostuksen perusrakenteeseen pohjautuva kevyt rakenneratkaisu.

B – KEVYT KUNNOSTUSRAKENNE

1. vanhan kulutuskerroksen poisto
2. vanhan materiaalin poisto (syvyys määräytyy sen mukaan, kuinka paljon raskasta materiaalia on vaihdettava kevyempään, jotta tierakenteesta tulisi kevyempi)
3. erottavan suodatinkankaan asennus
4. uusi kevyt täyttömateriaali
5. päällystäminen suodatinkankaalla
6. uuden kantavan kerroksen materiaalin levitys 100 mm
7. uuden teräsverkon asennus
8. uusi kantavan kerroksen materiaali 200 mm
9. uusi kulutuskerros 100 mm (tai uudet joustavat päällystekerrokset päällystetyille tielle)

Oikein toteutettuna kevyt rakenneratkaisu voi palauttaa tieprofiilin sen aikaisempaan tasoon lisäämättä tierakenteen painoa, ja olosuhteiden salliessa se voi myös nostaa tasausta niin paljon, että kuivatuksen ja infrastruktuurin ongelmat katoavat. Uuden rakenteen kevyt materiaali tulisi suojata kevyelle täyttömateriaalille soveltuvalla suodatinkankaalla, joka on tarpeeksi vahva kestämään kantavan kerroksen materiaalista siihen kohdistuvat pistemäiset voimat.



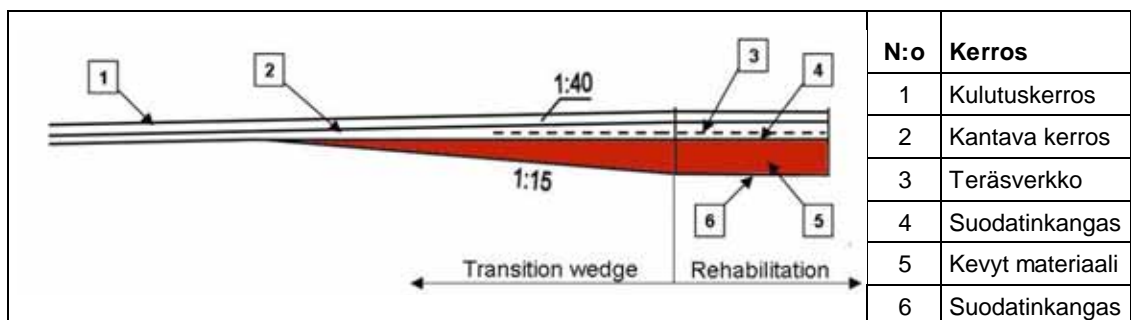
Kuva 6.3 Kevyt kunnostusrakenne

Keveyen materiaalikerroksen päälle suositellaan levitettäväksi vähintään 400 mm tien rakennekerrosmateriaalia. Tämän paksuinen kerros toimii myös tien pinnan jäätymisvaihteluja vastustavana lämmönvaraajana tavallisen tierakenteen ja kevyttä materiaalia sisältävien tieosuuksien välillä. Tämä on tärkeä ominaisuus alueilla, joiden talvet ovat pitkiä ja kylmiä.

Siirtymäkiila

Tämän raportin tarpeita varten "siirtymävyöhyke" voidaan määritellä vakaan pohjamaan ja turvepohjamaan väliseksi siirtymäksi. Tällaisia vyöhykkeitä on kohdissa, joissa tie siirtyy turpeen päälle tai pois turvealueelta. Näille alueille syntyy usein ongelmia, ellei niitä käsitellä oikealla tavalla. Tehokas ratkaisu ongelmaan syntyy, kun kohtaan suunnitellaan hallittu siirtymä "kovasta" "pehmeään" alustaan, mikä mahdollistaa tien mukautumisen kantavuusolosuhteiden muutokseen aiheuttamatta siihen liian suurta painumaa ja halkeilua.

Tätä varten vakaalle pohjamaalle on rakennettava täysmittainen siirtymäkiila ennen siirtymistä turvealueelle tehtävään kunnostusrakenteeseen. Turpeelle rakennettuna kiila ei kestä. Alla esimerkki tyypillisestä siirtymäkiilasta:



Kuva 6.4 Pituusleikkaus siirtymäkiilasta

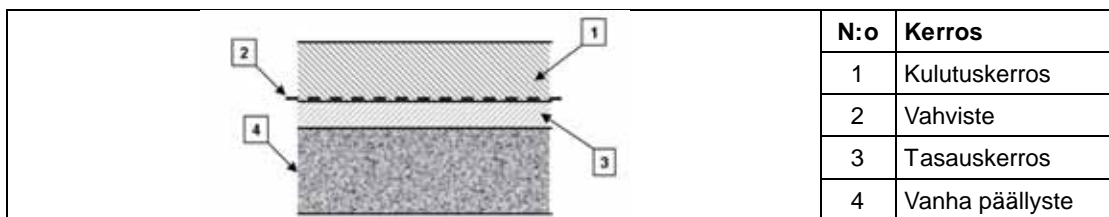
Keveyen materiaalin siirtymäkiila tulisi rakentaa kaltevuuteen 1:15 ja kantava kerros kaltevuuteen 1:40. (Aho & Saarenketo, 2006, "Kelirikkoiteiden korjaussuunnitelmat ja kunnostus")

Rakenne A1: 'Päällystettyjen teiden vahvistetut päällysteet'

Kuten kappaleessa 6.2.1 on jo todettu, muodonmuutosten ja halkeamien korjaamiseen voidaan käyttää kunnostusratkaisuna vahvistettua päällystettä, jos ajoradan painuminen ei ole ongelma. Sekä polyesteri- että teräsverkoilla vahvistettuja päällysteitä on käytetty onnistuneesti Skotlannin Ylämaan vähäliikenteisillä teillä. Sovellusten perusrakenne on seuraavanlainen:

A1 VAHVISTETTU PÄÄLLYSTERAKENNE

1. muodonmuutoksista kärsivän ajoradan muokkaaminen bitumilla sidotulla materiaalilla
 2. uuden verkon asennus. Polyesteriverkot on kiinnitettävä liima-aineella suihkutettuun pintaan. Teräsverkot on naulattava kiinni.
 3. uusi bitumilla sidottu kulutuskerros 50-60 mm
-



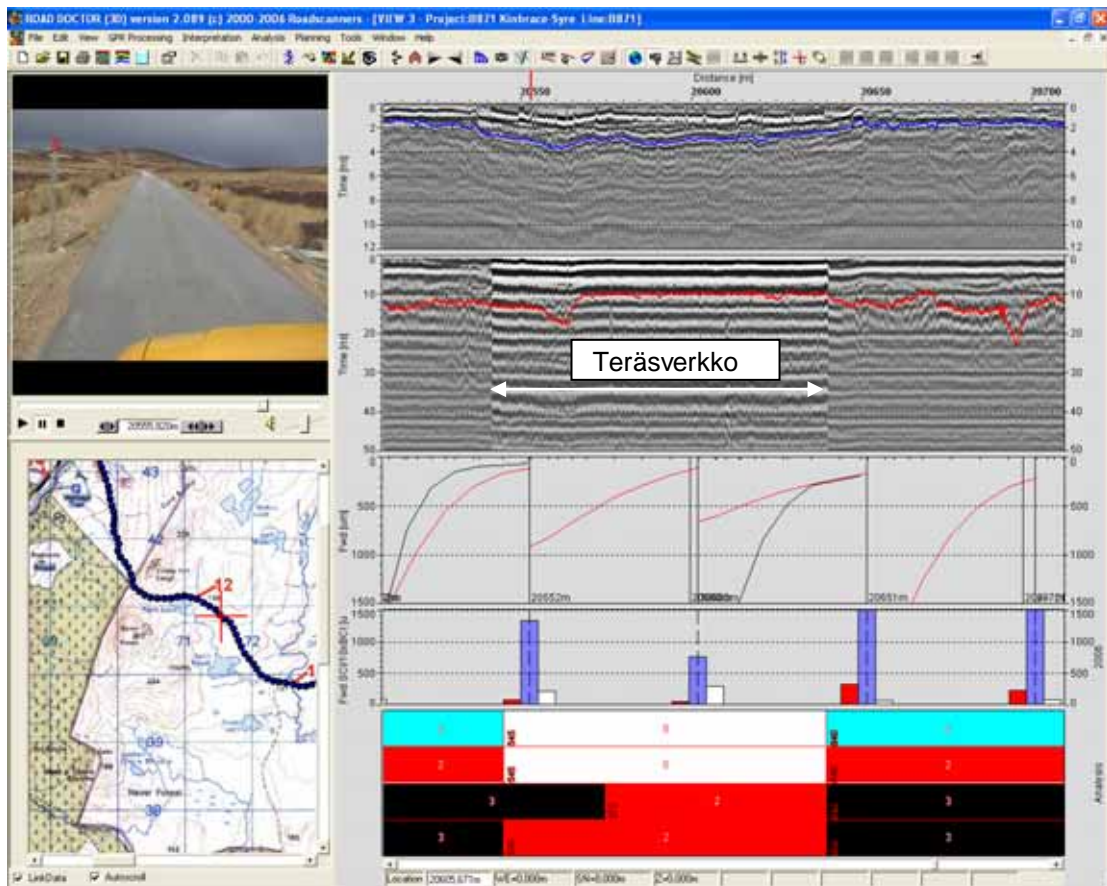
Kuva 6.5 Vahvistettu päällysterakenne.

Vahvistettu päällysterakenne aiheuttaa kuitenkin painumaa, sillä se lisää kelluvan penkereen kuormitusta turpeeseen. Näitä seurauksia ei pidä aliarvioida, kun suunnitellaan tätä tekniikkaa hyödyntäviä kunnostustöitä. Maccaferri 'Roadmesh' – teräsverkkovahvisteen vaikutukset tierakenteen käyttäytymiseen nähdään jäljempänä kuvan 6.6 Road Doctor –näkyssä.

Jos vanha bitumikerros on niin paksu, että sen päältä voidaan jyrsiä osa materiaalista pois, voidaan toimenpiteet tehdä lisäämättä tierakenteeseen ylimääräistä painoa, mikä on suositeltavaa. Tässä tapauksessa rakenne on seuraavanlainen:

A1 VAHVISTETTU PÄÄLLYSTERAKENNE

1. vanhan päällysteen jyrsiminen pois 100mm syvyydeltä
 2. uuden verkon asennus Polyesteriverkot on kiinnitettävä liima-aineella suihkutettuun pintaan. Teräsverkot on naulattava kiinni.
 3. uusi bitumilla sidottu kulutuskerros 50-60 mm
-



Kuva 6.6 Road Doctor –näkyä yleisen tien B871 integroidusta analyysista Skotlannista.

Tästä ruutunäkymästä nähdään vahvistetun päällystekerroksen vaikutukset yksikaistaisella päällystetyllä tiellä Skotlannissa. Teräsvahvistetun tieosan ulottuu kohdasta 20540 m kohtaan 20640 m, ja maatutkakuvajassa alueella esiintyy vahvaa kohinaa. Parannukset päällysrakenteen käyttäytymisessä nähdään pudotuspainolaitemittausten ennen hanketta mitattujen arvojen (mustat viivat) ja teräsvahvistuksen jälkeen mitattujen arvojen (punaiset viivat) eroista. Hankkeessa käytettiin Maccaferri "Roadmesh" –teräsverkkovahvistetta.

6.2.2 Tiepenkereen painuminen

Turpeen päällä kelluvan tiepenkereen painumiseen liittyy monia ongelmia ja seurauksia, joita ei kaikkia voida käsitellä tässä yksinkertaistetussa tiivistelmässä. Turpeen päälle rakennettujen penkereiden kantavuutta, stabiiliteettia ja painumia on esitelty ROADX II -raportissa "Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat" (Munro 2005), josta voi etsiä taustatietoja aiheeseen.

Tässä raportissa käsitellään turpeen päällä kelluvien tiepenkereiden painumiseen ja mahdolliseen tulvimiseen liittyviä kunnostusongelmia ja niiden ratkaisemista aiheuttamatta kohteeseen "lisähaittaa".

Rakenne C: Penkereen massanvaihto kevyellä materiaalilla

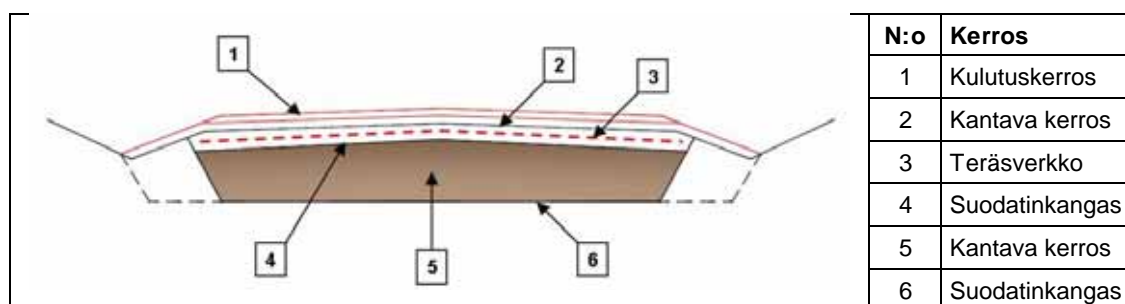
Turpeen päällä kelluvan tiepenkereen kunnostamisen vaiheet ovat yleensä rakenteessa B esitetyn 'kevyen kunnostusrakenteen' kaltaiset, jolloin kiinnitetään enemmän huomiota vakiintuneen veden pinnankorkeuden ja penkereeseen kohdistuvan hydrostaattisen nosteen säilyttämiseen. Nämä voimat ovat ensisijaisen tärkeitä syntyneen tasapainon säilymisessä ja ehdotettujen muutosten vaikutuksia lopputulokseen tulisikin pyrkiä ymmärtämään mahdollisimman hyvin.

Kunnostusrakenne on seuraavanlainen:

C – PENKEREEN MASSANVAIHTO KEVYELLÄ MATERIAALILLA	
1.	vanhan kulutuskerroksen poisto
2.	vanhojen rakennekerrosten poisto
3.	vanhan kelluvan penkereen poisto (syvyys määräytyy sen mukaan, kuinka paljon raskasta materiaalia on vaihdettava kevyempään, jotta tierakenteesta tulisi kevyempi)
4.	suodatinkangas
5.	korvaava kevyt materiaali
6.	suodatinkangas
7.	kantavan kerroksen materiaali 100 mm
8.	teräsverkko
9.	kantavan kerroksen materiaali 200 mm
10.	kulutuskerros 100 mm (tai uudet joustavat päällystekerrokset päällystetylle tielle)

Usein on tarpeen tehdä penkereeseen täydellinen massanvaihto, jotta painon vähentämisestä saavutettaisiin mahdollisimman suuri hyöty. Jos paino pienenee niin paljon, että vanhan ja uuden penkereen painojen välinen suhdeluku on 2 tai enemmän, merkittävältä painumilta vältetään melko pitkään.

Alla on poikkileikkaus tyypillisestä kevennysmateriaalia sisältävästä rakenteesta:



Kuva 6.7 Kevyellä materiaalilla kunnostettu tiepenger

Kunnostusmenetelmien siirrettävyys ja teknisen osaamisen jakamisesta saavutetut edut Pohjoisen Periferian alueella näkyvät Suomessa ja Skotlannissa toteutetuissa samanlaisissa projekteissa, joissa molemmissa käytettiin kevyttä materiaalia penkereen keventämiseen. Vaikka maantieteellisesti maat ovat 2000 km päässä

toisistaan ja ne ovat kulttuurinsa, kielensä ja valuuttojensa kannalta erilaisia, projekteissa löydettiin yhteisiin ongelmiin onnistuneet ratkaisut.



Kuva 6.8
Kunnostus kevyellä materiaalilla Suomessa



Kuva 6.9
Kunnostus kevyellä materiaalilla Skotlannissa

Näistä kahdesta ja muista erilaisia kevyitä materiaaleja käyttävistä projekteista saa lisätietoja ROADEx II -raportista "Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat" (Munro 2005).

Menetelmän avulla voidaan myös nostaa tiepengertä, jos siitä voidaan poistaa niin paljon painavaa materiaalia, että korkeutta kasvattavan kevyen materiaalin paino ei ylitä poistetun materiaalin painoa. Koska paisutettu polystyreeni (EPS) on hyvin kevyttä materiaalia, se voi soveltua tarkoitukseen todella hyvin. Munron raportissa (2005) on kuvailtu useita paisutettua polystyreeniä käyttäen toteutettuja kunnostushankkeita.

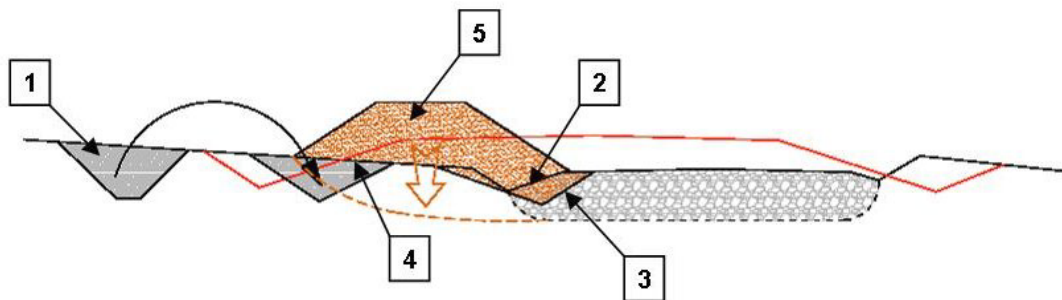
6.2.3 Tien leventäminen

Kantavalle pohjalle rakennetun tien leventäminen on yleensä suhteellisen helppo operaatio: ensin levennetään tiepenger ja sen päälle rakennetaan leveämpi ajorata. Vastaavasti turpeen päällä kulkeva tie voidaan leventää kaivamalla pois turpeet tien vierestä ja rakentamalla uusi levennys alta paljastuneelle kantavalle maakerrokselle. Tämä voi kuitenkin olla kallista, erityisesti syvän turvekerroksen päällä "kelluvien" teiden tapauksessa, ja menetelmä voi myös aiheuttaa vakavia ongelmia, jos levennykset toimivat salaojina ja alkavat kuivattaa tien alla olevaa turvetta aiheuttaen painumista, tiivistymistä ja muodonmuutoksia.

Halvempi ja haitattomampi menetelmä turpeen päällä kelluvan vähäliikenteisen tien leventämiseen on esikuormituksen käyttö. Menetelmä on kustannustehokas vaihtoehto, jos tierakenne on käyttöikänsä aikana muodostunut niin vakaaksi, että se kestää uudet levennystyöt. Tällaisissa olosuhteissa voidaan käyttää ylikuormalla toteutettua esikuormitusta, jotta suo saataisiin tien viereltä yhtä kantavaksi kuin tien alapuolella oleva turve, minkä jälkeen levennys voidaan rakentaa yhtenäiselle penkereelle. Tämän tyyppisestä esikuormituksesta saa lisätietoja ROADEx II -

raportista “Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat” (Munro 2005).

Alla on kuva Ruotsin tiehallinnon tyypillisesti esikuormituksen avulla toteuttamasta tienleventämisprojektista:



Kuva 6.10 Tien leventäminen esikuormituksen avulla (Lars-Göran Svenssen, Ruotsin tiehallinto)

Taulukossa D on kuvailtu esikuormitusta käyttävää tienleventämismenetelmää.

D - KELLUVAN TIEN LEVENTÄMINEN	
1.	uuden sivuojan kaivaminen 10 m päähän vanhasta tiestä ja vanhojen oijen täyttäminen ylös kaivetulla turpeella
2.	hienorakeisen materiaalin poisto tien pientareelta, n. 200 mm syvyydeltä
3.	suodatinkankaan asettaminen valmistelulle pientareella ja uudelleenmuotoilu hyvällä materiaalilla
4.	5 m leveän vahvistekankaan asentaminen esikuormitettavan alueen alle
5.	tien levennyksen esikuormittaminen 1 m portaissa kunnes suunniteltu esikuormituksen korkeus on saavutettu
6.	esikuormituksen annetaan asettua 90 vuorokauden ajan ja tilannetta seurataan painumalevyjen avulla (ks. kuva 7.2)
7.	ylimääräisen esikuormitusmateriaalin poistaminen, kun suunniteltu painuma on saavutettu
8.	levennetyt tien rakentaminen rakenteen A mukaisesti

Tämän menetelmän mukaan tehtyjen levennyksen suunnitteluprosessissa tarvitaan geoteknistä osaamista, jotta voidaan arvioida vaaditun esikuormituksen korkeus ja kesto sekä ennustaa tapahtuvan painuman todennäköinen määrä. Tämän ei kuitenkaan tulisi olla esteenä sellaisille suunnittelijoille, joilta geotekninen tietämys puuttuu, kunhan alan neuvoja on saatavilla.

Tätä levennyksen menetelmää voidaan yleensä käyttää vaikuttamatta liikennevirtoihin olemassa olevalla tiellä, kuten kuvasta 6.11 nähdään. Menetelmästä on yksityiskohtaisempi selostus lisäviitteineen Munron raportissa (2005).



Kuva 6.11 Valokuva turpeen päällä kelluvan tien leventämisestä esikuormituksen avulla.

Kuvan 6.10 levennyksesimerkissä punaisella viivalla on merkitty korkeampaa, ja siten myös painavampaa tien tasausta, joka aiheuttaa turpeen tiivistymistä ja painumista, kun uuden ajoradan rakenne on valmis. Kuvassa se on piirretty selvyyden vuoksi vanhan tien yläpuolelle, mutta tien korottaminen ei kuitenkaan ole tarpeellista menetelmän toimimisen kannalta. Jos tie aiotaan kunnostaa kasvattamatta kuormitusta vanhaan tiehen verrattuna, mikä on suositeltavaa, tulee uuden tien rakentamisessa noudattaa perusrakenteen A ohjeita, joissa uusi ajorata rakennetaan vanhan tilalle.

Kappale 7. SEURANTA & DOKUMENTOINTI

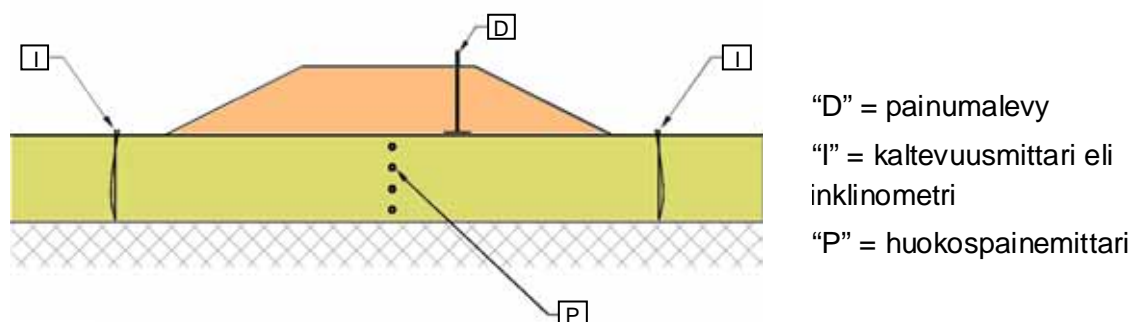
7.1 YLEISTÄ

Kun kunnostustöihin yhdistetään turpeen käyttäytymisen seuranta, saavutetaan monia merkittäviä etuja.

- Lyhyellä aikavälillä: jos ei muuta, niin hyvällä seurantajärjestelmällä voidaan ainakin varmistaa, että painuminen ja tiivistyminen sujuvat suunnitelmien mukaisesti. Tämän asian varmistaminen onkin tärkeää. Hyvän seurantajärjestelmän avulla voidaan tunnistaa poikkeamat suunnitelmista niin aikaisessa vaiheessa kunnostusta, että niihin ehditään reagoida asianmukaisesti.
- Keskipitkällä aikavälillä: seurannan avulla voidaan määrittää todennäköinen nopeus tierakenteen 'sekundääripainumiselle'. Jos tämä nopeus ei vastaa suunnitelmia, voidaan tässäkin vaiheessa tehdä muutoksia, jotka toteuttavat alkuperäisen suuruuden painumanopeuden.
- Pitkällä aikavälillä: kohteen seurantatiedot ovat tärkeitä, jotta turveesiintymistä ja turpeiden ominaisuuksista voitaisiin ylläpitää kattavampia tietokantoja tulevia hankkeita varten. Nykyisen projektin perus- ja seurantatiedot tulisi syöttää tällaisiin tietokantoihin, jotta tulevia projekteja varten olisi käytössä enemmän pohjatietoja.

7.2 SEURANNAN TYÖVÄLINEET

Alla on kuva tyypillisestä seurantajärjestelmästä:



G Smith

Kuva 7.1. Tyypillinen seurantajärjestelmä turpeen päällä kulkevalle tiepenkereelle.

Lisätietoja tyypillisistä seurantajärjestelmästä on annettu ROADDEX II -raportissa "Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat" (Munro 2005).

Hyödyllisin seurantaväline turpeen päällä kelluville teille on 'pintapainumalevy'. Se on yksinkertainen visuaalinen mittausväline, joka koostuu litteästä levystä (yleensä 500mm x 500mm), johon on kiinnitetty tarpeeksi pitkä tanko varmistamaan, että tangon pää näkyy vielä painuman jälkeenkin. Levy asetetaan tarkkailtavalle pinnalle, kuten rakennekerrokselle, suodatinkankaan pinnalle tai alkuperäiselle maanpinnan tasolle, ja näkyvän pään tasosta pidetään kirjaa sitä mukaa, kun painumaa tapahtuu. Kehittyneemmässä versiossa tanko on ympäröity putkella, joka suojaa sitä päällä olevan täyttömaan painumilta. Johdonmukaisten tulosten saamiseksi levyjen painumia verrataan kiinteisiin tukipisteisiin.



Kuva 7.2 Pintapainumalevy

Kappale 8. JOHTOPÄÄTÖKSET

Turpeen päällä kelluvien teiden kunnostus on yleinen tiensuunnittelun ongelma Euroopan pohjoisella periferiällä, erityisesti haja-asutusalueiden vähäliikenteisillä tieverkostoilla. Näillä alueilla on kiristyneiden budjettien takia keksittävä yhä kustannustehokkaampia ratkaisuja teiden kunnossapidon ongelmiin, jotta paikalliset tieverkot pystyisivät vastaamaan nykyaikaisen raskaan kuljetusliikenteen tarpeisiin.

Tämän raportin ohjeistuksissa on pyritty helpottamaan tilannetta esittelemällä turpeen päällä kulkeville teille parhaiten soveltuvia kunnostusmenetelmiä ja ROADEX –yhteistyömaissa käytännössä hyviksi havaittuja toimintatapoja. Tältä pohjalta ehdotettu 'ROADEX-menetelmä' koostuu viidestä vaiheesta:

1. perusongelmien tunnistaminen asianmukaisten tutkimusten avulla
2. kerätyn tiedon analysointi
3. parhaiten soveltuvien kunnostustoimenpiteiden valinta
4. työn seuranta ja havainnointi kunnostuksen aikana
5. tiedon dokumentointi ja jakaminen

Vaiheessa 1 tehty työ ei koskaan ole turhaa. Esitutkimukseen käytetyllä pienellä rahamäärällä voidaan saavuttaa suuria hyötyjä, kun saadaan todellista tietoa tietyn turve-esiintymän muodostumisesta, sen ominaispiirteistä ja suunnitteluun vaikuttavista ominaisuuksista sekä lisäksi historiatietoja turpeen tiivistymisestä olemassa olevan tien alla. Nämä tiedot ovat erityisen tärkeitä tietyille tieosuuksille soveltuvien ja tarkoitukseen sopivien ratkaisujen löytämisessä.

Vaiheeseen 2 hyvin soveltuva tiedon analysointimenetelmä on aikaisemmin raportissa esitelty 'integroitu analyysi', jossa kerätyt tiedot voidaan koota yhteen samalle ruudulle, mikä helpottaa analysointi- ja suunnitteluprosesseja. Menetelmää on useamman vuoden ajan käytetty laajasti ROADEX-alueilla hyvin tuloksin.

ROADEX-menetelmän keskeinen periaate on turpeen ja tien välille ajan myötä syntyneen tasapainotilan säilyttäminen. Tämä tien ja turpeen välinen tasapaino on kelluvien teiden todellinen vahvuus, jota on suojeltava kunnostustöiden aikana, jotta eri voimien välillä vallitseva tasapaino ei pääse katoamaan.

Lopuksi, kaikki turpeelle sijoittuvat kunnostustyöt tulisi dokumentoida tulevaa käyttöä varten. Turpeen päällä kulkevan tien kunnostusongelmissa suunnittelijan tulisi aina tutkia dokumentteja aikaisemmista töistä, jotka voivat valaista ongelmaa. Vastavuoroisesti saman suunnittelijan tulisi lisätä omat dokumenttinsa tietokantaan, jotta niistä voitaisiin ottaa oppia tulevissa projekteissa.

Lähteet:

1. Aho, A. & Saarenketo, T., (2006) Kelirikikoteiden korjaussuunnitelmat ja kunnostus, The ROADEX III Project
2. Carlsten, P., (1988) "Peat Geotechnical Properties and Up-to-Date Methods of Design and Construction", Ruotsin geoteknisen instituutin State-of-the-art -raportti 215
3. MacCulloch, F., (2006), "Guidelines for the risk management of peat slips on the construction of low volume/low cost roads over peat", ROADEX II –projekti
4. MacFarlane, I.C., (ed.), (1969), "The Muskeg Engineering Handbook", Kanadan kansallinen tutkimuskeskus
5. Munro, R., (2005), "Dealing with bearing capacity problems on low volume roads constructed on peat", The ROADEX II -projekti
6. Radforth, N.W., (1969), "The Muskeg Engineering Handbook", Kanadan kansallinen tutkimuskeskus
7. Roadex Project, (1998-2001), Pohjoinen Periferia. CD-ROM
8. Roadscanners Oy, Rovaniemi, kotisivu www.roadscanners.com
9. Ruotsin geotekninen instituutti, SE-581 93 Linköping, Ruotsi
10. Saarenketo, T., (2001), "GPR Based Road Analysis - a Cost Effective Tool for Road Rehabilitation Case History from Highway 21, Finland". Perustuu Australian Melbournessa 19.-21. maaliskuuta pidettyyn 20. ARRB-konferenssiin.
11. Succow, M. & Jeschke, L, (1990), "Moore in der Landschaft, Entstehung, Haushalt, Lebewelt, Verbreitung, Nutzung und Erhaltung der Moore", kustantaja: Harri German, Graefstrasse 47, D-60486 Frankfurt/Main



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.