

Kelirikkoaikaisen puunkuljetuksen haasteet

– Ratkaisuja metsäteiden kuljetuskelpoisuuden ongelmiin sekä metsäteiden kantavuuden mittaukseen ja kunnostamiseen

Tomi Kaakkurivaara ja Jori Uusitalo

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjassa ei käytetä tieteellistä tarkastusmenettelyä.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>
ISSN 1795-150X

Toimitus

PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti julkaisutoimitus@metla.fi

Julkaisija

Metsäntutkimuslaitos
PL 18
01301 Vantaa
puh. 010 2111
faksi 010 211 2101
sähköposti info@metla.fi
<http://www.metla.fi/>

Tekijät Kaakkurivaara, Tomi & Uusitalo, Jori			
Nimeke Kelirikkoaikaisen puunkuljetuksen haasteet – Ratkaisuja metsäteiden kuljetuskelpoisuuden ongelmiin sekä metsäteiden kantavuuden mittaukseen ja kunnostamiseen			
Vuosi 2011	Sivumäärä 37	ISBN 978-951-40-2298-2 (PDF)	ISSN 1795-150X
Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Länsi-Suomen alueyksikkö / Suometsien hyödyntäminen / 7324			
Hyväksynyt Antti Asikainen, professori, 11.5.2011			
Tiivistelmä Metsäteiden kuljetuskelpoisuus on yhtenä ongelmana puuhuollon turvaamisessa. Tutkimusraportissa tarkastellaan Loadman- ja DCP-kantavuusmittalaitteiden käytettävyyttä metsäteillä, kun halutaan selvittää tien kuljetuskelpoisuutta kelirikko aikaan tai sen kunnostustarvetta. Raportissa esitellään myös uusia tien kunnostusmenetelmiä, jotka soveltuvat vaikeisiin erityiskohteisiin. Nämä ovat suodatinkankaalla tehtävä murskeen pakointi, risutukit, geovahvisteet ja masuunihiekka-teräskuona. Lisäksi raportti sisältää vaihtoehtoisten kuljetusoperaatioiden vertailun, jossa on mukana ennakoiva kuljetus välivarastoihin, kuljetuksen aikainen murskeen käyttö, CTI-laitteistolla varustettu puutavara-auto ja siirrettävillä kumimatoilla tapahtuva tien hetkellinen vahvistaminen.			
Asiasanat kelirikko, kantavuuden mittaus, metsätien kunnostaminen			
Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp200.htm			
Tämä julkaisu korvaa julkaisun			
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla			
Yhteydenotot Tomi Kaakkurivaara, Metsäntutkimuslaitos, Kaironientie 15, 39700 Parkano. Sähköposti tomi.kaakkurivaara@metla.fi			
Bibliografiset tiedot			
Muita tietoja Taitto: Maija Heino			

Sisällys

Alkusanat	5
1 Metsätien kelirikon ja kantavuuden arviointi	6
1.1 Johdanto.....	6
1.2 Tavoite	6
1.3 Menetelmät.....	7
1.4 Aineisto	10
1.5 Tulokset	12
1.6 Tulosten tarkastelu	15
1.7 Päätelmiä ja pohdintaa.....	16
Kirjallisuus.....	17
2 Metsäteiden uudet kunnostusmenetelmät	18
2.1 Johdanto.....	18
2.2 Tutkimuksen tavoitteet	18
2.3 Tekniikat ja menetelmät.....	19
2.3.1 Koealojen valinta.....	19
2.3.2 Suodatinkankaat	19
2.3.3 Geoverkot	21
2.3.4 Masuunihiekka-teräskuonaseos.....	23
2.3.5 Risutukit	25
2.4 Tulokset tekniikoista.....	26
2.5 Tulosten tarkastelu.....	27
2.6 Päätelmiä ja jatkokehittelyjä.....	28
Kirjallisuus.....	28
3 Vertailu puunkuljetusoperaatioiden järjestämisestä kelirikkoteillä	29
3.1 Johdanto.....	29
3.2 Tavoite	30
3.3 Vertailtavat tekniikat.....	30
3.3.1 CTI (Central Tyre Inflation System).....	30
3.3.2 Kumimatot.....	31
3.3.3 Käytön aikainen ylläpitokorjaaminen.....	32
3.4 Menetelmät	32
3.5 Laskenta-aineisto.....	33
3.6 Tulokset	34
3.7 Tulosten tarkastelu.....	36
3.8 Päätelmiä ja pohdintaa.....	36
Kirjallisuus.....	37

Alkusanat

Tässä julkaisussa esitellään Metsäntutkimuslaitoksen ja Metsähallituksen yhdessä toteutetun Suometsien hyödyntäminen -yhteishankkeen tuloksia. Työraportin aiheena ovat uudet ratkaisut leimikoiden kuljetuskelpoisuuden parantamiseksi. Raportti sisältää kolme aihealuetta, jotka käsittelevät metsäteiden kelirikon ja kantavuuden mittausta, metsäteiden uusia kunnostamismenetelmiä sekä vertailun puunkuljetusoperaatioiden järjestämisestä kelirikkoteillä. Hankkeen ohjausryhmään kuuluivat Ari Siekkinen, Heikki Kääriäinen ja Heikki Savolainen Metsähallituksesta sekä Jori Uusitalo ja Jukka Laine Metlasta.

Haluamme kiittää kaikkia hankkeen toteutukseen kahden vuoden aikana osallistuneita henkilöitä ja tahoja. Erityisesti kiitämme tien kunnostusmateriaalit tarjonneita yrityksiä: Rautaruukki Oyj, Viapipe Oy ja UPM-Kymmene Oyj ja Metsähallituksen tienrakennusesimiestä Jarmo Perästä. Kiitokset myös monille muille Metsähallituksen henkilöille saamastamme avusta ja asiantuntijuudesta, johon saimme tukeutua.

Parkanossa 22.2.2011
Tutkimuksen tekijät

1 Metsätien kelirikon ja kantavuuden arviointi

1.1 Johdanto

Metsäautoteiden kulkukelpoisuus vaihtelee vuodenajoin. Parhaimmillaan tiestö on kesällä ja erityisesti talvella tien ollessa jäätynyt. Ongelmia ilmenee keväällä kelirikon aikaan, jolloin tien kantavuus alenee. Veden sulaminen ja jäätyminen tierakenteessa sekoittavat kerroksia ja raskas ajoneuvoliikenne kuluttaa tienpintaa aiheuttaen urautumista ja painumia.

Kelirikko on tierakenteen tila, jossa sulavan veden vuoksi tien kantavuus on alentunut ja vaurioitumisriski on liikenteen alaisena kasvanut. Kelirikkoa esiintyy routiville maapohjille rakennetuilla teillä (Saarelainen ja Törnqvist 2004). Metsätiestön ympärivuotinen käyttö on metsäteollisuuden kannalta merkittävä taloudellinen tekijä. Kelirikkoaika aiheuttaa vuosittain noin 100 miljoonan euron lisäkustannukset. Lisäkustannukset koostuvat raakapuun ylimääräisestä varastoinnista ja siitä johtuvista laatumenetyksistä sekä puunkorjuu- ja autokuljetusten käytön epätasaisuudesta (Pennanen ja Mäkelä 2003). Alemman tieverkon lisäksi myös metsäteiden kulkukelpoisuuden varmistaminen on koko kuljetusketjun toimivuuden kannalta tärkeää.

Kelirikon yhteydessä tien kantavuus heikkenee oleellisesti. Tien enimmäiskantavuuden ylittäminen aiheuttaa pysyviä vaurioita. Tien kantavuutta ei tarvitse määritellä pelkästään silmämääräisesti tien pinnan kunnosta ja sivuojusta. Kantavuuden nopea ja luotettava arviointi on merkittävä osatekijä tien kunnan monitoroinnissa ja kunnossapidon suunnittelussa. Tien kantavuustiedot ovat erityisen tärkeitä tilanteessa, jossa puu täytyy saada kuljetettua leimikolta käyttöpaikalle mahdollisimman nopeasti. Tien käytettävyys metsätalouden raskaille kuljetuksille on perustunut pitkään vain käytännön kokemuksen tuomaan tietoon. Lisäksi menetelmät metsäteiden kantavuuden arvioimiseksi ovat olleet vähissä sopivien mittalaitteiden puuttumisen vuoksi.

Mitatun tiedon perusteella tehtävä arvio metsätien kunnosta ja kulkukelpoisuudesta onnistuu helposti myös vähän aikaisempaa kokemusta omaavilta henkilöiltä. Teiden kuntoa on mitattu aikaisemmin kalliilla ja painavilla ajoneuvoon tai perävaunuun kiinnitettävillä levykuormituslaitteilla tai pudotuspainolaitteilla (Saarenketo ja Aho 2005). Nykyään näiden rinnalle on tarjolla myös kannettavia pudotuspainolaitteita ja käsiikäyttöisiä penetrometrejä, joiden edullinen hankintahinta ja helpompi käsiteltävyys tarjoavat uusia käyttömahdollisuuksia. Tämän tutkimuksen aiheena oli niiden hyödyntäminen myös metsätiestöllä.

1.2 Tavoite

Ongelmakohteiden paikantaminen metsätiestöltä ja sopivien kunnostusmenetelmien valinta muodostavat perustoimintamallin vaurioitumisen ennaltaehkäisyssä ja tien kulkukelpoisuuden säilyttämisessä. Roudan sulaminen, tien rakenne ja maaston topografia aiheuttavat tiestössä ilmeneviä kulkukelpoisuuteen liittyviä ongelmia (Saarenketo ja Aho 2005). Tavoitteena oli selvittää kantavuuden vaihtelua koealojen välillä, tien eri kohdissa poikkittais- ja pitkittäissuunnassa ja eri vuodenaikoina. Tutkimuksessa selvitettiin kolmen toisistaan poikkeavan laitteen soveltuvuutta tien kantavuuden mittaamiseen. Tarkasteltavat laitteet olivat DCP (Dynamic Cone Penetrometer) ja pudotuspainolaitteet Loadman II ja Kuab. Kirjallisuus selvityksen perusteella haluttiin selvittää niiden sopivuus käytännönläheiseen kantavuuden arviointiin.

1.3 Menetelmät

Tien taustatiedot, kuten ikä, tehdyt peruserannoitimet ja kuivatusratkaisut, huomioidaan, kun etsitään syitä tapahtuneeseen kantavuuden alentumiseen. Roudan sulamiseen liittyviä prosesseja on tutkittu jokin verran mm. Tampereen Teknillisessä Yliopistossa. Metsäautotien kelirikosta on varsinaista tutkittua tietoa vähän. Kantavuuteen liittyvät tien rakenteen komponenttien tunteminen ja niiden vaikutus sulamisprosessiin sekä kelirikon laatuun ovat keskeisiä tutkimuskohteita ja näitä seikkoja on tutkittu myös aikaisemmin suoritetuissa tutkimuksissa.

Loadman II

Loadman on kannettava pudotuspainomittari, jonka avulla saadaan nopeasti ja vaivattomasti tietoa tien kantavuudesta. Keveyden ansiosta mittauksia voidaan tehdä paikoissa, joissa autoon kytkeytyllä kantavuuslaitteella ei pystytä toimimaan. Keveydestä saatava hyöty on toisaalta otettava huomioon mittauksista suoritettaessa. Pohjalevyn alle jäävät epätasaisuudet tai laitteen heilahtaminen mittaushetkellä voivat aiheuttaa virheellisiä tuloksia. Pudotuspainolaite mittaa dynaamista tiehen kohdistuvaa rasiitusta. Se vastaa liikennekuormituksen aiheuttamaa hetkellistä kuormitusvaikutusta tierakenteeseen. Puolestaan levykuormituslaitteiden staattinen rasiitus ei ole rasiitustaltaan samankaltaista kuin pudotuspainolaitteen aiheuttama (Korsu ja Gros 1993).

Loadman on rakennettu alumiiniputkeen, joka sisältää pudotuspainon ja mittauselektroniikan. Laitteen kokonaispaino on 18 kg. Putkessa on vapaasti liikkumaan pääsevä 10 kg:n paino, jonka alapäässä on kumivaimennin. Se lukittuu yläpäässä olevaan magneettiin, joka on yhteydessä kumivaimentimen kautta välilaippaan. Elektroniikka sisältää kiihtyvyyssanturin, joka mittaa kiihtyvyyden painon pudotessa kuormituslevyyn. Mitattu kiihtyvyyssarvo muutetaan elektronisesti suoraan taipumaksi. Prosessori laskee taipuma-arvon perusteella E-moduulin. Mittauksen jälkeen



Kuva 1.1. Loadman II pudotuspainolaite ja koeala 6 kivennäismaa (Kuva: Jari Ilomäki 2010).

Taulukko 1.1. Loadman mittaustulosten luokittelu tien kantavuuden arvioinnissa (Saarelainen 1999).

Tien kevätkantavuus	Vaurioituminen
$E_2 < 50$ MPa	Voimakas kelirikko
$E_2 50...70$ MPa	Merkittävää urautumista
$E_2 > 80$ MPa	Ei merkittävää vaurioitumista

näytöllä on luettavissa E-moduulin lisäksi taipuma, kuormitusaika ja elastisuusindeksi. Elastisuusindeksi saadaan palautuvan taipuman ja kokonaistaipuman suhteena, kun toinen ja kolmas mittaus suoritetaan prosessoria nollaamatta (Korsu ja Gros 1993).

Tien kevätkantavuudelle ja vaurioitumiselle on laadittu havaintojen pohjalta luokittelu (taulukko 1.1), jonka avulla voidaan arvioida tien käytön aiheuttamaa vaurioitumisriskiä (Saarelainen 1999). Yllä olevassa taulukossa esitellyt kantavuusluvut sorateille ovat hyödynnettävissä myös metsäteille, kun arvioidaan tien kestävyyttä puutavarakuljetuksille tai muulle raskaalle liikenteelle.

DCP

Dynamic Cone Penetrometri (DCP) on maanpinnan kantavuuden arviointiin kehitetty mittalaite. Se on varsin yleisesti käytössä oleva menetelmä tien kantavuuden määrittämiseen Pohjois-Amerikassa. Euroopassa laitetta on käytetty vielä varsin vähän, mutta DCP on yleistymässä mm. Englannissa ja Norjassa (Aho ym. 2005). Sen etuja ovat helppokäyttöisyys, edullinen hinta ja nopea mittausprosessi. DCP-laitteen rakenne sisältää pääpiirteittäin pudotettavan painon ja maahan uppoavan terästangon, jossa on terävä kärki. Uppoaman suuruus on luettavissa erillisestä tangosta olevasta asteikosta. Pudotuskertojen lukumäärä ja uppoaman suuruuden suhteesta voidaan laskea



Kuva 1.2. DCP ja koeala 15 turvemaa (Kuva: Tomi Kaakkurivaara 2010).

Taulukko 1.2. DCP-laitteen mittaustulosten luokittelu tien kantavuuden arvioinnissa (Bowles 1992).

CBR-arvo	Yleinen luokitus	Käyttökohde	Tienrakenne
> 50	Erinomainen	Kantava	Kantavakerros
20 – 50	Hyvä	Kantava tai jakava	Kantavakerros
7 – 20	Kohtalainen	Jakava	Jakavakerros
3 – 7	Heikko	Alusrakenne	Pohjamaa
0 – 3	Erittäin heikko	Alusrakenne	Pohjamaa

tunkeuma (DPI=the DCP Penetration Index), joka kuvaa iskun aiheuttaman tunkeuman keskimääräistä suuruutta mm/isku. Mittaus lopetetaan, kun laite on saavuttanut maksimisyvyytensä tai halutun syvyyden tai laitteen tunkeuma on pienempi kuin 3 mm/isku. DPI perusteella voidaan laskea CBR prosenttiluku (California Bearing Ratio). Tässä tutkimuksessa on käytetty U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station määrittelemää ja yleisesti käytössä olevaa kaavaa (User guide to...).

$$\log \text{CBR} = 2,46 - 1,12 \log \text{DPI}$$

missä

CBR California Bearing Ratio [%]
DPI DCP-laitteen tunkeuma [mm / isku]

CBR-luvun ja muodonmuutosmoduulin välille on määritelty useita erilaisia riippuvaisuuksia, joten CBR-luku voidaan laskentakaavan avulla muuttaa edelleen MPa:ksi. Tässä tutkimuksessa on käytetty englantilaisen Transport and Road Research Laboratory esittelemää yhtälöä (Kolisoja 1993).

$$E = 17,6 \times \text{CBR}^{0,64}$$

missä

E kimmomoduuli [MPa]
CBR California Bearing Ratio [%]

Sopivia käyttökohteita ovat tien sulamisen edistymisen seuraaminen ja routarajan määrittäminen. DCP-mittauksesta on vielä vähän kokemuksia, joten sitä suositellaan käytettävän vain muita tutkimusmenetelmiä tukevana menetelmänä (Aho ym. 2005). Tässä tutkimuksessa tutkittiin laitteen soveltuvuutta metsäteille.

CBR-luvuille on olemassa luokittelu, jonka avulla on mahdollista määritellä käytössä olevan tienrakenne- ja materiaalin käyttökohde (Bowles 1992) tai vähimmäisvaatimus rakennekerroksen kestävyydelle vanhan tien kuntoa mitattaessa.

Kuab FWD

Kuab pudotuspainolaite (Falling Weight Deflectometer) on dynaaminen kantavusmittalaite, jolla voidaan määritellä tien pinnan kimmoisen taipuma. Laite on toimintatavaltaan Laodmanin kaltainen. Tienrakennetta rasietaan kuormituslevyn avulla ja samalla mitataan rakenteeseen kohdistuva voima, sekä tien pinnan painuma l. taipuma.



Kuva 1.3. Kuab pudotuspainolaite (Kuva: Tomi Kaakkurivaara 2009).

1.4 Aineisto

Tutkimukseen valittiin koealakäyttöön sopivia kohteita läheltä Parkanoa Metsähallituksen tieverkolta. Kohteet sisälsivät sekä turvemaalle että ruotivalle kivennäispohjamaalle rakennettuja teitä, joilla ilmenee kelirikon aiheuttamia ongelmia. Sopivien alueiden etsintä tehtiin yhteistyössä Metsähallituksen kanssa. Etsinnässä hyödynnettiin paikkatietojärjestelmän sisältämiä sijainti- ja tieluokitustietoja. Koealojen sijaintien valinta tehtiin maastokatselmuksen yhteydessä.

Mittaukset tehtiin keväällä ja alkukesästä kelirikon aikaan. Mittaukset suoritettiin valituilla mittauskohteilla, joille perustettiin koealat. Mittavälineitä on käytetty tutkimuksissa eri tavoin. DCP:llä mittaukset on tehty viidestä kohdasta tiehen nähden poikittain. Pudotuspainolaitteilla on mitattu tietä pitkittäin rengasuran kohdalla (Saarenketo ja Aho 2005). Tässä tutkimuksessa DCP:llä ja Loadmannilla mittaukset tehtiin yhdeksästä koealan kohdasta tiehen nähden sekä poikittain että pitkittäin. Kuab pudotuspainolaitteella puolestaan mitattiin joka koealalta yhdestä kohtaa rengasuralta.

Tutkimusalueelta lähempään tarkasteluun valitut tiet valittiin seuraavin kriteerein: tiet ovat läpiajettavia, rakennettu vuosina 1950-1980, teille ei ole tehty tietojärjestelmän mukaan peruskunnostustoimenpiteitä ja niillä esiintyy kevät- ja syyskelirikkoa. Karttatarkastelussa paikannettiin tiealueilta tutkimukseen soveltuvia tieosuuksia, joissa tietä oli rakennettu sekä turvemaalle että kivennäismaalle. Karttatarkastelussa mukaan poimittiin kohteet, jossa oli tutkimukseen sopivaa tietä vähintään 100 metriä sekä turvemaalla että kivennäismaalla. Ennen valintaa suoritettiin maastokatselmus karttatarkastelussa sopiviksi osoittautuneille kohteille. Maastotarkastelua vaikeuttaa vuodenaika, joten se oli suoritettava ennen kelirikkoa teiden ollessa lumipeitteisiä tai sulamisprosessin ollessa vasta alkamassa. Parhaiten tien ja ympäristön sopivuus olisi todettavissa loppukeväästä. Maastotarkastelun pohjalta voidaan hylätä sopimattomia kohteita, jotka eivät vastaa asetettuja vaatimuksia. Maastotarkastelun jälkeen tutkimukseen valittiin 10 kohdetta sekä turve- että kivennäismailta. Valituille tieosuuksille perustettiin mittaustoimintaa varten koealat.



Kuva 1.4. Koealaksi 4 valittu turvemaakohde, joka täytti asetetut vaatimukset (Kuva: Tomi Kaakkurivaara).



Kuva 1.5. Tutkimuksessa mukana ollut koeala 51, jossa turvemaakoeala sijaitsee kuvassa etualalla ja kivennäismaakoeala taaempana rinteessä (Kuva: Jari Ilomäki).

Mittauksia tehtiin valituilla kohteilla vuosina 2009 ja 2010 kevään ja alkukesän ajan, kunnes rou-ta oli sulanut, tierakenne kuivunut ja normaali kesäajan kantavuus saavutettu.

Koealat olivat toisiinsa nähden samankaltaisia ja mittausjärjestely oli suunniteltu käytettävien mittalaitteiden hyödynnettävyyden perusteella. Mittaukset tehtiin koealoilla jokaisella mittauskierroksella Loadmanilla ja DCP:llä. Perävaunuun rakennetulla Kuab pudotuspainolaitteella mit-taukset suoritettiin kerran kevään aikana, samoin kuin näytteiden otto tierakenteesta ja pohja-maasta.

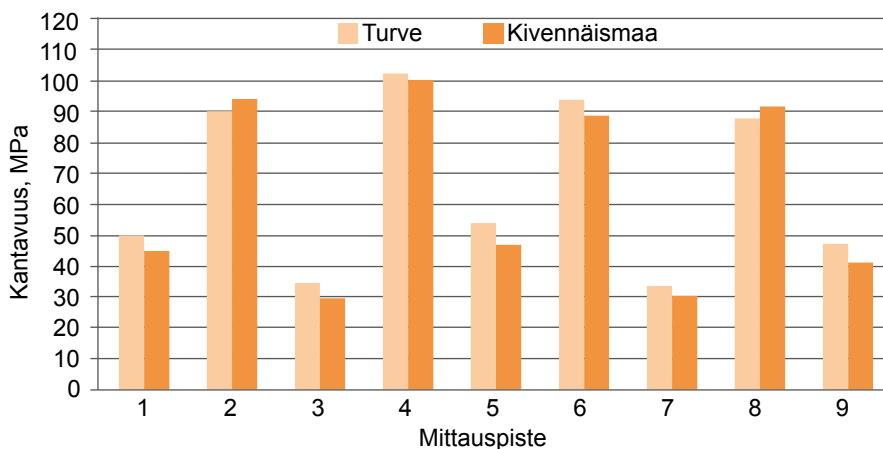
Mittaukset tehtiin Loadman- ja DCP-mittalaitteilla molemmilta rengasurilta eri puolilta tietä ja keskikohdalta. Mittauspisteet sijaitsivat 20 metrin etäisyydellä toisistaan. Mittauspisteet merkit-tiin tien reunaan paaluilla, jotta sama mittauspiste oli löydettävissä myös seuraavilla mittauskier-roksilla. Keskikohdalla mittapisteet sijaitsivat keskikohdan lisäksi myös rengasuralla ja tien lai-dassa jotta saataisiin havainnointia myös tien poikittainen profiili. Yhteensä 20 koealan pituiseen mittauskierrokseen aikaa kului neljä työpäivää. Mittaussarjan avulla pyrittiin arvioimaan, min-kälaisella metsätiellä kelirikosta oli eniten haittaa. Onko havaittavissa kelirikon tyyppin tai keston suhteen erityisiä seikkoja, jotka jatkossa ovat huomioitavissa puuhuollon suunnittelussa metsä-tieverkolla. Mittaustulosten pohjalta laskettiin E-moduuli-arvot ja kantavuusindeksit ja vertailtiin niitä pudotuspainolaitteen antamiin arvoihin.

1.5 Tulokset

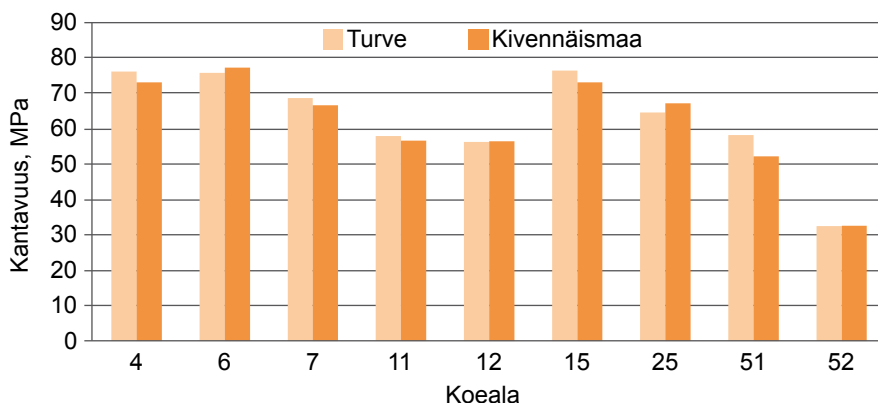
Tulososiossa tarkastellaan DCP:n ja Loadmanin mittausarvoja touko-kesäkuussa. Seuraavissa kuvissa mittaus tulokset on esitetty mittauspisteittäin koealojen keskiarvoina. Keskiarvot sisältävät kolme mittauskierrosta, jotka on tehty keväällä ja kesällä 2009 sekä keväällä 2010.

Kuvassa 1.6 mittauspisteiden 2, 4, 6, ja 8 korkeimmat kantavuusarvot sijaitsevat rengasuralla. Niiden mittauspisteiden arvot ylittävät taulukossa 2 esitetyn minimiraja-arvon tien kestävydestä. Rengasuralla sijaitsevien mittauspisteiden välillä ei ollut havaittavissa eroa kivennäismaa- tai turvemaakoealojen kesken vaan paremmuudet jakaantuivat tasan kivenmaa- ja turvemaakoealojen kesken. Tien laidan ja keskustan koealoilla kantavuusarvot jäivät heikoiksi. Tien keskellä olevat koealat 1, 5 ja 9 olivat kantavuusarvoltaan pääsääntöisesti 50 MPa:n arvon alapuolella. Tien laidalla sijaitsevilla koealoilla 3 ja 7 kantavuus oli hieman yli 30 MPa:a. Rengasuran ulkopuolisilla mittauspisteillä turvemaakoealoilla kantavuus oli hieman parempi kuin vastaavasti kivennäismaalla.

Kuvassa 1.7 on esitelty koealakohtaisesti Loadmanin mittaus tulokset. Koealojen vaihteluväli oli suurta 30–80 MPa:n välillä. Vertailtaessa kivennäismaan ja turvemaan koealapareja erot jäivät pieniksi. Neljällä koealaparilla kivennäismaakoealan kantavuus oli 1,2–6,0 MPa:a korkeampi ja kahdella koealaparilla turvemaalla oli kivennäismaakoealaa 1,4–2,6 MPa:a kantavampi. Merkittävi- en kelirikkovaurioiden rajan 50 MPa:n keskimääräisen kantavuuden alle jäi yksi koealapari. Yli 80 MPa:n kantavuusarvoon ei yltänyt yksikään koealoista.



Kuva 1.6. Loadmanin kolmen mittauskierroksen keskiarvot mittauspisteittäin.

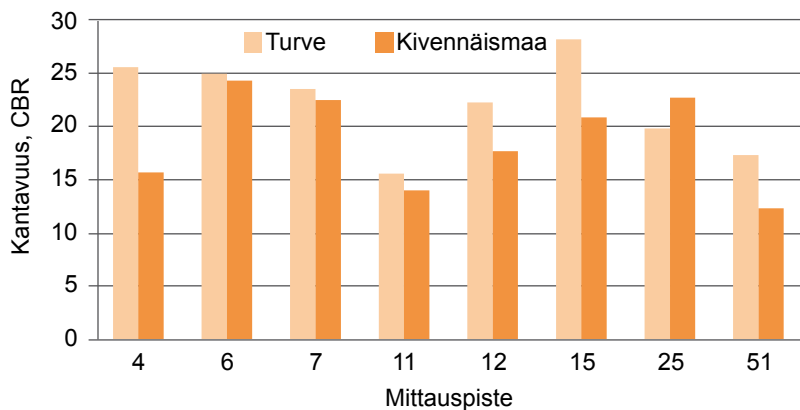


Kuva 1.7. Loadmanin kolmen mittauskierroksen keskiarvot koealoittain.

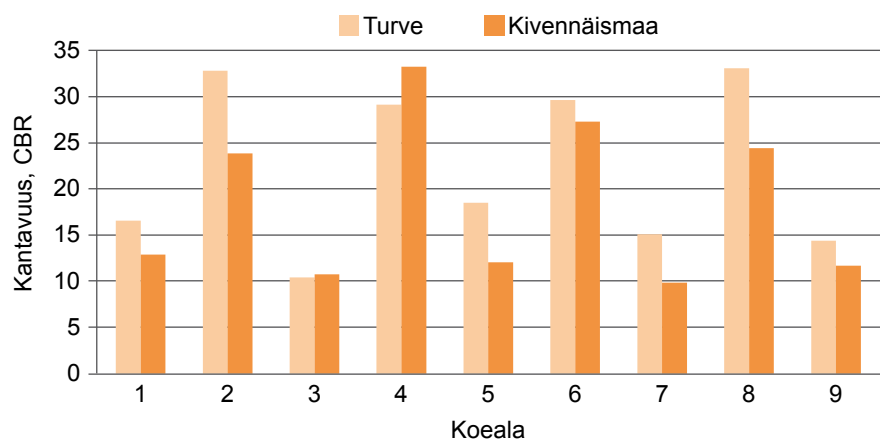
DCP:llä tehdyistä mittauksista on keskiarvot laskettu koealakohtaisesti kuvassa 1.8. Seitsemällä kahdeksasta turvemaalla sijaitsevasta koealasta oli parempi kantavuus kuin kivennäismaalla. Osalla koealapareista ero oli selkeä erotuksen vaihdella 0,6–9,9. CBR-luokittelun pohjalta 20 prosentin kantavan kerroksen raja-arvon ylitti kolme koealaparina. Kahden koealaparin osalta vain turvemaalla ylitti 20 prosentin rajan ja yhden koealaparin osalta vuorostaan kivennäismaakoeala. Kaksi koealaparina jäi molempien koealojen osalta alle vaaditun 20 prosentin arvon.

Mittauspistekohtaisesti mitatut CBR-arvot on esitelty kuvassa 1.9. Rengasuran kohdalla sijaitsevat mittauspisteet erottuivat selkeästi korkeammilla kantavuusluvuilla. Niiden kantavuusarvot ylittivät kaikissa tapauksissa 20 prosentin raja-arvon, joka on hyvän kantavuuden raja. Turvemaakoealoilla oli DCP-mittauksen mukaan kolmella mittauspisteellä neljästä korkeampi kuin samalla tieosuudella sijaitsevalla kivennäismaakoealalla. Rengasuran mittauspisteiden suhteen koealaparien keskinäinen vaihtelu oli 2,3–9. Rengasuran ulkopuolisilla mittauspisteillä kantavuusarvot vaihtelivat 10–18,5 %:n välillä ja koealaparien kesken 0,3–6,5. Turvemaalla sijaitsevat koealat olivat neljässä tapauksessa viidestä selkeästi paremman kohtalaisen kantavuustason omaavia.

Kuvassa 1.9 esitellyt DCP:n mittauks tulokset ovat vastaavanlaisia kuin Loadmanilla saadut. Rengasuralla tehdyt mittaukset olivat kaksinkolminkertaisesti korkeampia kuin tien laidassa ja keskellä mitatut. Tämän kaltaisen eron syitä ovat tien laidan heikompi materiaali ja tien ojaluisen vaikutus sekä rakenteen tiivistyminen ajan myötä.



Kuva 1.8. DCP:n kolmen mittauskierroksen keskiarvot koealoittain.

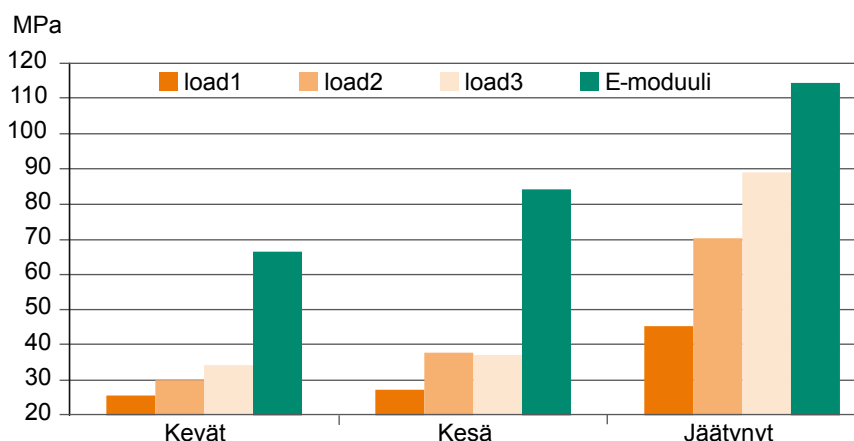


Kuva 1.9. DCP:n kolmen mittauskierroksen keskiarvot mittauspisteittäin.

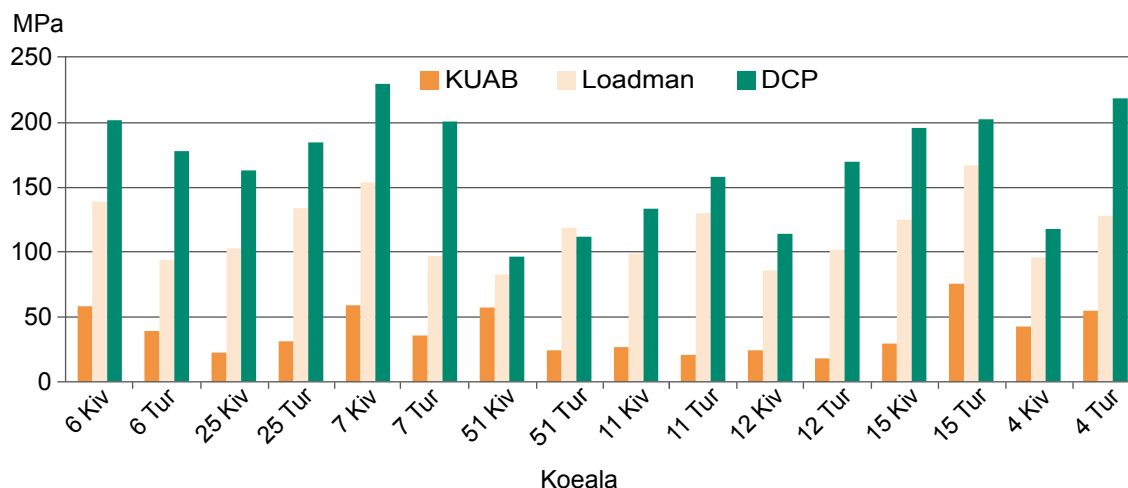
Kuvassa 1.10 on Loadmanilla ja DCP:llä tien laidassa olevista mittauspisteistä saatujen tulosten keskiarvot kolmelta eri vuodenajalta. Kuvassa mainitut load1, load2 ja load3 ovat yhden mittauskerran kolme peräkkäistä tulosta. Loadmanilla mitattaessa on huomioitava vasta kolmas mittaus, koska maan tiivistymisen vuoksi mittaustulos olisi muuten vääristynyt. Kantavuusarvot nousivat odotusten mukaisesti, mutta eivät vastaavalle tasolle kuin DCP-laitteella. DCP-laitteen MPa-arvo on laskettu CBR-luvusta, jonka tarkempi laskentamalli on esitelty menetelmäosiossa. Tuloksista on nähtävissä kantavuuden kehittyminen mittausten aikana touko-kesäkuussa.

Kuvassa 1.11 on esitelty molempien käsikäyttöisten kantavuusmittalaitteiden tuloksia verrattuna Kuab-pudotuspainolaitteen antamiin tuloksiin. Kuab-mittaukset tehtiin kelirikon jälkeen touko-kuussa ja vertailtavat mittaukset kesäkuussa. Rengasuralla sijainneiden mittauspisteiden Kuab-mittaukset olivat jokaisella koealalla kantavuusluvun suhteen heikoimmat. Loadman-mittaukset olivat toiseksi heikoimmat yhtä koealaa lukuun ottamatta, jossa Loadmanin mittaustulos ylitti DCP:n vastaavan. Laitteiden mittaustulosten välinen tasoero oli huomattava lähes kautta linjan.

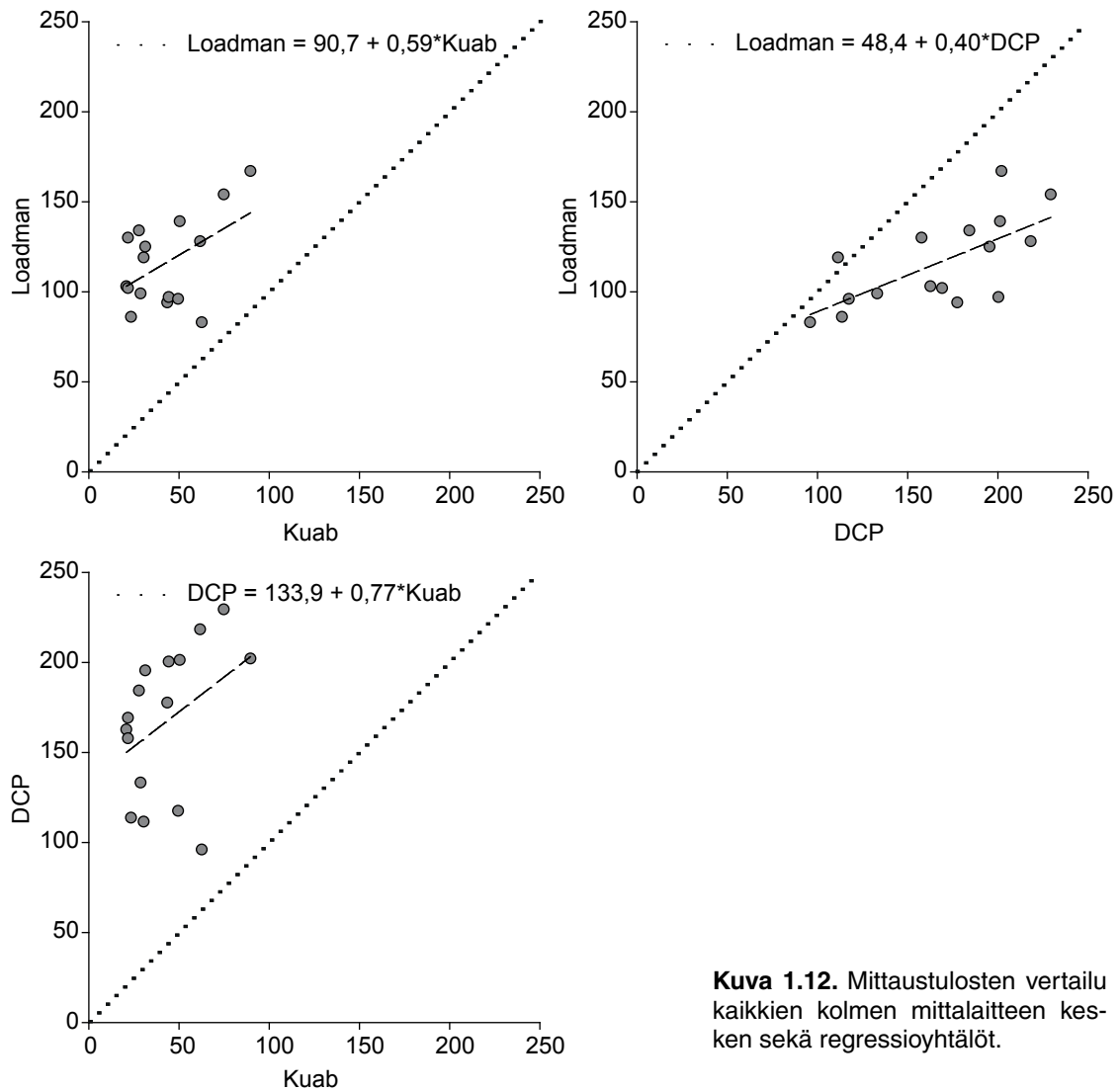
Kuabin ja Loadmanin välinen Pearsonin korrelaatio oli 0,50, Kuabin ja DCP:n välinen korrelaatio oli 0,39 ja Loadman ja DCP:n välillä korrelaatio oli 0,68. Jokaiselle havainnojoukolle on myös merkitty kuvaan 1.12 regressioyhtälöt ja -suorat, joille laskettiin lisäksi P-arvot. Loadmanin ja DCP:n välillä P-arvo oli 0,004, mikä osoittaa merkitsevää riippuvuutta näiden kahden mittalait-



Kuva 1.10. Kantavuus tien laidassa mitattuna Loadmanilla ja DCP:llä.



Kuva 1.11. Kolmen kantavuusmittauslaitteen keskinäinen vertailu.



Kuva 1.12. Mittaustulosten vertailu kaikkien kolmen mittalaitteen kesken sekä regressioyhtälöt.

teen välillä. Kuabin ja DCP:n välisen yhtälön P-arvo oli 0,138 ja Kuabin ja Loadmanin puolestaan 0,05. Nämä P-arvot eivät ole riittävän pieniä johtuen muista asiaan vaikuttavista tekijöistä, jotka aiheuttavat havaintopisteiden hajontaa.

1.6 Tulosten tarkastelu

Tulokset osoittavat metsäteillä tapahtuvan liikennöinnin vaikuttavan selvästi tien kantavuuteen. Kantavuus on rakenteen tiivistymisen vuoksi kestävämpi siinä kohdassa tietä, johon liikennöinti on vaikuttanut. Tien laidat ja keskiosa puolestaan ovat erittäin heikkokuntoisia. Turvemailla olevien koealojen yleisesti parempi kantavuus verrattuna kivennäismailla sijaitseviin oli yllätys. Koealaparien välisessä vertailussa Loadmanin osalta heikoimman ja parhaimman mittauserojen välinen ero oli kaksinkertainen. Koealaparien sisäinen vaihtelu oli vähäistä, mikä oli vastoin odotuksia metsäteiden turvemaakohtien keskimääräistä heikommasta kantavuudesta. Loadmanin osalta voidaan esiteltujen mittaustulosten perusteella pitää tarpeellisenä vähintään kolmen mittauspudotuksen tekemistä yhdellä mittauskerralla. Näin menetellen on vältettävissä liian heikon kantavuusarvon mittaaminen.

DCP:llä mitatun aineiston koealakohtainen tarkastelu osoittaa eroja koealaparien sisäisessä vertailussa toisin kuin Loadmanilla. Selkeimmät erot näkyivät koaloilla 4, 12, 15 ja 51, joissa jokaisessa turvemaakoeala oli selvästi kivennäismaata parempi. Muiden koealaparien osalta ero oli pieni, mutta turvemaakoealan eduksi yhtä tapausta lukuun ottamatta. Tämä osoittaa tarkastelussa mukana olleiden turvemaakohteiden olevan kautta linjan mukana olleita kivennäismaakohteita parempia. Tämä poikkeaa Loadmanilla saaduista vastaavista tuloksista. Syynä on mitä luultavimmin mittaustapojen erilaisuus. Koealaparien välillä erot näkyvät DCP:llä myös selkeästi ja vastaavanlaisesti kuin Loadmanilla.

Verrattaessa käsikäyttöisten kantavuusmittalaitteiden tuloksia Kuabin vastaaviin tuloksiin erot ovat selkeitä. Merkittävänä tekijänä on mittaustavan erilaisuus DCP:n kohdalla ja toisena mahdollisena asiaan vaikuttavana tekijänä tehtyjen mittausten sijoittuminen pitkälle aikavälille. Tarkastelussa oli mukana vain 16 havaintoa. Suuremmalla havaintojen lukumäärällä Kuabin ja Loadmanin välinen regressioyhtälön p-arvo luultavasti pienentyisi ja mittaustulos olisi muutettavissa suuremmalla varmuudella toisen kantavuuslaitteen mittaustulokselle. DCP:n ja Kuab välillä havaintojoukosta viisi mittaustulosta sijoittuu muista poiketen, minkä vuoksi selitysaste jää heikoksi. Loadmanin ja DCP:n välillä suora regressioyhtälö toimii yllättävän hyvin ja sitä voidaan käyttää mittaustulosten muuttamiseen näiden kahden laitteen välillä.

1.7 Päätelmiä ja pohdintaa

Kivennäismaalla sijainneiden koalojen heikomman menestyksen takana voi olla valintatilanteessa tehty silmämääräinen kohteen arviointi. Riittävän pitkän ja tasalaatuisen turvemaakoealan löytymisen jälkeen etsittiin mahdollisimman läheltä, 200-2000 metrin etäisyydeltä huonokuntoinen kohta kivennäismaalta. Nämä kohdat ovat olleet myös mittaustulosten mukaan heikomman kantavuuden omaavia, kun niitä verrataan turvemaakohteisiin. Toisena selittävänä tekijänä voi olla turvemaiden kohdalla parempien maa-ainesten käyttö. DCP:n erityispiirteenä on tienrakenteessa olevien kivien hidastava vaikutus mittaustangon upotessa tiehen. Runsaammin keskikokoista kiviainesta sisältävien teiden osalta tämän vaikutusta on vaikea ottaa huomioon, kun selvää pysähdystä mittaustangon tunkeutumiseen ei ole havattavissa, kuten suurten kivien kohdalla.

Vertailussa käytetyt mittalaitteet mittaavat samaa suuretta kimmomoduulia, mutta mittaus ulottuu maan eri kerrosten alueille. Loadman mittaa selkeimmin maan rakenteen pinta-osia ja DCP puolestaan maan lujutta maan syvemmissä kerroksissa. Suurista mittaeroista huolimatta oli viitteitä mittalaitteiden tulosten riippuvuudesta keskenään erityisesti käsikäyttöisten laitteiden osalta.

Laitteiden käyttökelpoisuuden kannalta on merkitsevää, kuinka hyvin mittalaitteet ennustavat varsinaista tutkimusongelmaa, tien kantavuutta puun kuljetusoperaatioiden kannalta. Seuraavassa vaiheessa onkin järjestettävä tutkimusasetelma niin, että mittalaitteiden tuloksia voitaisiin verrata puutavara-auton aiheuttamaan urapainumaan. Pitkällä aikavälillä olisi pystyttävä muodostamaan fysikaalisiin mittauksiin perustuva FEM-malli, joka simuloinnin avulla pystyy ratkaisemaan ja/tai ennustamaan tien kantavuuden, kun malliin syötetään lähtöparametrit.

Kirjallisuus

- Aho, S., Saarenketo, T. ja Kolisoja, P. 2005. Kelirikkokorjausten suunnittelu ja rakentaminen, Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito -tutkimusohjelma. Tiehallinnon selvityksiä 64/2005.
- Aho, S. 2004. Sorateiden kelirikkokorjausten toimivuus ja elinkaarikustannukset. Julkaisu 58 Pohja- ja maarakenteet, Rakennustekniikan osasto, Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- Bowles, J. 1992. Engineering Properties of Soils and their Measurement.
- Kolisoja, P. 1993. Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet. Kirjallisuusselvitys. Tampereen Teknillinen Korkeakoulu, Geotekniikan laitos. Tampere.
- Korsu, P. & Gros, C. 1993. Loadman – kannettavan pudotuspainolaitteen käyttö. Oulun Yliopiston tie- ja liikennetekniikan laboratorion julkaisuja 21.
- Saarelainen, S. 1999. Kelirikkoisten sorateiden kantavuuden parantamismenetelmiä. Bitumistabilointi ja raudoitettu murske. Loppuraportti. Tielaituksen sisäisiä julkaisuja 6/1999, Tiehallinto, Savo-Karjalan tiepiiri, Tie- ja liikennetekniikka. Kuopio.
- Saarenketo, T. & Aho, S. 2005. Managing spring thaw weakening on low volume roads. Roadex II Northern periphery.
- User guide to the Dynamic Cone Penetrometer. Office of Minnesota Road Research. Minnesota Department of Transportation.

2 Metsäteiden uudet kunnostusmenetelmät

2.1 Johdanto

Tähän mennessä metsäteiden peruskunnostaminen on tehty samoilla materiaaleilla ja menetelmillä kohteesta juurikaan riippumatta. Pelkällä luonnonsoralla tai kalliomurskeella on pyritty nostamaan tien heikentynyttä kantavuutta. Heikentynyt kantavuus on voinut johtua tien rakennekerrosten sekoittumisesta keskenään tai pohjamaahan. Lisäksi heikentynyt kantavuus on tyypillinen ongelma vanhoilla metsäautoteillä, jotka eivät vastaa nykyisten raskaampien puutavara-autojen tarpeita. Metsätieverkon lisääntyvä korjaustarpeen määrä ja liikennöinti kyvyn ylläpitäminen ovat tämän hetken ja tulevien vuosien tärkeä seikka, joka vaikuttaa teollisuuden puuhuollon turvaamiseen.

Nykyisin metsäteitä rakennetaan alle 1000 kilometriä vuodessa. Valtaosa metsäteistä on rakennettu 1960-luvun lopun ja 1990-luvun alun välillä, jolloin rakennettiin vuosittain 3000–5000 kilometriä. Nämä tiet ovat tulleet perusparannusikään, ja kunnostusmäärät ovat viime vuosina olleet yli 3000 kilometriä (Metsätilastollinen... 2009). Metsäteiden osalta nykyistenkaltaiset peruskunnostusmenetelmät ovat taloudellisia ja riittäviä. Samalla tieosuudella voi olla myös lähtökohdiltaan heikompia kohteita. Tämänkaltaiset kohteet vaativat erityishuomiota, jotta peruskunnostus olisi toteutukseltaan kestävä ja pitkäikäinen. Usein tällaiset kohdat sijaitsevat turvemaalla tai kivennäismaalla, jossa ongelmia voi aiheuttaa mm. heikko kuivatus, routiva pohjamaa tai heikko-laatuinen tienrakennusmateriaali.

Yleisillä sorateilla on Tiehallinnon toimesta todettu systemaattisen ja järjestelmällisen korjausmenettelyn kautta päädyttävän elinkaarikustannusten suhteen optimaalisen korjausmenetelmien toteuttamiseen (Aho ym. 2005). Vastaavanlainen täsmäkorjaus metsäteiden kunnossapidossa on yleinen, kun kyseessä on muut kuin peruskunnostustoimenpiteet esim. tierumpujen uusinta. Ajatusmallin laajentaminen peruskunnostamisen yhteyteen olisi hyvä menettelytapa silloin, kun tehdään tarkemmin valittujen kunnostustoimenpiteiden valinta juuri tietyille tien kohdalle.

2.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän tutkimuksen ajatuksena on esitellä vaihtoehtoisia kunnostusmenetelmiä erityisesti niihin kohteisiin, joissa perinteinen menetelmä ei riitä pitkäaikaista kantavuuden saavuttamiseen. Tässä tutkimuksessa on otettu kokeiltavaksi neljä erilaista kunnostusmenetelmää. Masuunihiekka/teräskuonaseos, suodatinkankaat ja geoverkot ovat tierakentamisessa entuudestaan käytettyjä materiaaleja. Tosin ne ovat metsätiepuolella vielä tuntemattomia suodatinkankaita lukuun ottamatta. Neljäntenä mukana on muista poikkeava ja käyttötavaltaan ja -kohteiltaan erilainen risutukit. Tavoitteena on selvittää edellä mainittujen menetelmien soveltuvuus ja taloudellisuus metsäteille. Tarkoituksena on tehdä kyseisillä menetelmillä yhdeksän koealaa, joista on tehty kantavuusmitaukset ennen korjauksia. Tarkoituksena on jatkohankkeen puitteissa seurata koealojen kantavuuden muutosta ja pysyvyyttä kunnostuskoealoilla ja saada pitkäaikaisseurannan myötä tietoa kokeilujen onnistumisesta.

2.3 Tekniikat ja menetelmät

2.3.1 Koealojen valinta

Koealat on valittu jokaisen menetelmän osalta erikseen kohteelle, jossa sen odotetaan toimivan parhaiten. Yhteensä koealoja on yhdeksän, masuunihiekkateräskuonaseokselle kolme ja muille kaksi koealaa menetelmää kohden. Viisi koealoista oli perustettu jo vuotta aikaisemmin ja niillä oli tehty kantavuusmittauksia 2009 ja keväällä 2010. Neljä koealoista oli uusia ja niiden kantavuudet oli mitattu vain yhden kerran kesäkuussa 2010 ennen tehtyjä kunnostuskokeita. Koealat sijaitsivat Parkano-Kuru-Virrat alueella Metsähallituksen metsätieverkolla. Kohteiden valintaa tehtäessä hyödynnettiin Metsähallituksen henkilöstön tietämystä lyhyistä huonokuntoisista tienpätkistä, jotka haittaavat liikennöintiä. Lisäksi koealoja on etsitty Metsähallituksen TieGis-tietojärjestelmästä. Koealat olivat 40 metriä pitkiä ja kantavuusmittauksia tehtiin kolmesta eri kohdasta yhteensä yhdeksästä mittauspisteestä.

2.3.2 Suodatinkankaat

Suodatinkankaat ovat hyvin yleisesti käytettyjä tienrakentamisessa. Myös metsäteillä niiden käytöstä on muutamia kokemuksia. Niiden etuina ovat kantavuuden kasvu, maakerrosten sekoittamisen esto ja rakenteen käyttöiän pidentyminen. Suodatinkangasta käytettiin tässä tutkimuksessa normaalista hieman poikkeavalla tavalla (Lahtinen ja Jyrävä 2006).



Kuva 2.1. Murske levittiin suodatinkankaan päälle ja lanattiin tasaiseksi (Kuva: Jari Ilomäki 2010).

Tässä kokeilussa suodatinkankaiden käyttö on viety normaalia käyttötapaa pidemmälle, sillä suodatinkangasta on käytetty paketointia muistuttavalla tavalla. Suodatinkankaaksi valittiin Terrasafe TS3. Valinta perustui NorGeoSpec 2002 -standardin mukaiseen luokitukseen, jossa otetaan huomioon pohjamaa, rakentamisolosuhteet ja täyttömateriaalin maksimiraekoko. Molemmat koealat sijaitsivat samalla tieosuudella 100 metrin päässä toisistaan sekä turvemaalla että kivennäismaalla. Suodatinkangas oli leveydeltään 5,25 metriä ja suodatinkankaan käyttöluokka valittiin mitattujen kantavuusarvojen pohjalta. Metsätien leveyden ollessa noin 3,6 metriä tiealueen ylittävä osuus oli 0,8 metriä tien molemmilla reunoilla.

Suodatinkankaiden levittäminen oli nopeaa. Kangas toimitettiin 160 metrin rullassa, joka oli helppo rullata auki tien päälle. Molemmille koealoille tuli noin 80 metrin pituudelta suodatinkangasta. Koealat oli perustettu jo vuotta aikaisemmin, ja niistä oli kattava kantavuusmittausaineisto ennen toteutettua toimenpidettä. Kankaan levittämisen jälkeen päälle levitettiin sorakerros ja reunat käännettiin sen päälle. Lopuksi ajettiin toinen sorakerros, jotta kangas peittyi kokonaan. Kivennäismaalle mursketta tuotiin 112,3 tonnia. Kivennäismaalle kooltaan 0–55 mm:n mursketta tuli noin 8–15 cm:n paksuudelta kankaan päälle kahdella täysperävaunullisella kuormalla. Reunojen taittamisen jälkeen koealalle levitettiin yksi täysi kuorma 0–32 mm:n mursketta. Turvemaalle vuorostaan mursketta tuotiin 182,2 tonnia. Karkeamman murskeen paksuus suodatinkankaan päällä oli 10–15 cm. Hienompaa 0–32 mm:n mursketta ajettiin yksi kerros enemmän kuin kivennäismaalla. Työn onnistumisen suhteen lanauksella oli tärkeä merkitys. Mursketta tasattiin ja tien profilia muotoiltiin sekä soranajon aikana että lopuksi.

Suodatinkankaan kääntämisen ansiosta erityisesti tien reunat vahvistuvat ja kantavuus paranee koko leveydellä. Käytettävä murskeen määrä oli varsin suuri. Mikäli tien korkeuden nosto ei ole niinkään tarpeellista, voidaan tehdä vastaava toimenpide kuin Tiehallinnon kokeilussa (Lahtinen ja Jyrävä 2006), jossa vanha tien pintakerros nostetaan sivuun ja käytetään ensimmäisessä kerroksessa ennen kankaan kääntämistä.



Kuva 2.2. Suodatinkankaan reunat käännettiin tasatun murskekerroksen päälle ja uusi murskekerros levitettiin paketoitua kerroksen päälle (Kuva: Jari Ilomäki 2010).

2.3.3 Geoverkot

Geoverkon toiminta perustuu verkon lukitusominaisuuteen jäykistää maa-aineskerros, jolloin ajoneuvon kuormitus jakautuu laajemmalle alueelle ja maa-aines siirtää kuormituksen verkon vastaanotettavaksi. Lisäksi geoverkot pitävät painumaerot hallinnassa ja tasoittavat maa-aineshuokokset tai pehmeät maastokohdat. Geoverkot ovat yleisesti käytettyjä vahvistusratkaisuja yleisten teiden rakentamisessa, kaatopaikoilla ja muissa vastaavissa kohteissa (Ravaska 2010).

Geoverkoista mukaan valikoitui Nauen Secugrid 40/40 ja 30/30, jotka on valmistettu polypropeenista ja polyesteristä. Geoverkon toimintaperiaate on verkon päälle olevan maa-aineksen lukittuminen, jolloin muodostuu vahva kantava kerros tierakenteeseen. Geoverkoille valitut kaksi koealaa olivat turvemaalla ja ”turvemaalla”, jossa tie on rakennettu avosuon ylitse suon pohjaa myöten kivennäismaalla ja isoilla kivillä vahvistettuna. Verkot toimitettiin kahdessa 100 metrin rullassa. Koealat sijaitsivat suorilla tieosuuksilla, minkä vuoksi geoverkot olivat helppo levittää tielle. Geoverkkojen 4,75 metrin ylileveys puolestaan aiheutti ongelmia kapealla metsätiellä. Geoverkkoa ei lähdetty leikkaamaan kapeammaksi vaan yli menevä osuus taitettiin tieosuuden päälle. Tämä aiheutti noin puolen tunnin lisätyön kahdelle hengelle yhdellä 100 metrin pituisella matkalla. Tien leveyden ollessa 3,6 metriä kaksinkertaisen geovahvisteen leveydeksi muodostui 60 cm molemmille reunoille.

Kun koealojen pituuden olivat 40 metriä, geoverkot ylittivät koealat molemmissa päissä 30 metrillä. Taitellun geoverkon päälle ajettiin mursketta 20 cm:n paksuudelta ”turvemaalle” ja 15 cm turvemaakoealalle. Pintakerros koostui 0–35 mm murskeesta. Tien lopullinen muotoilu tehtiin lanalla. Lanausvaiheessa tuli esille yksi huomioon otettava seikka. Mikäli tie on ennestään urautunut, voi ongelmia ilmentyä tietä muotoon lanattaessa. Keskikohdan ollessa koholla voi liian sy-



Kuva 2.3. Geoverkkokoealat tehtiin koealaparille 52; edessä turvemaalle tehty ja taaempänä rinteessä kivennäismaalla oleva (Kuva: Jari Ilomäki 2010).



Kuva 2.4. Geoverkko rullattiin suoraan vanhan tien päälle. Leveyden vuoksi reunat jouduttiin kääntämään kaksinkerroin (Kuva: Jari Ilomäki 2010).



Kuva 2.5. Verkon päälle levitetty karkeampi murske tasattiin ja muotoiltiin ennen kulutuskerroksen levittämistä (Kuva: Jari Ilomäki 2010).

vältä lanattaessa geoverkko paljastua ja takertua terälevyn piikkeihin. Tämän voi välttää tekemällä voimakkaasti urautuneilla kohteilla vanhan tien lanauksen ennen verkon asentamista tai heikommin urautuneilla tarkkailla huolellisesti lanauksen onnistumista uuden tiepinnan muotoilussa.

2.3.4 Masuunihiekka-teräskuonaseos

Terästeollisuuden sivutuotteina syntyvät teräskuona ja masuunihiekka ovat rakennusmateriaaleja, jotka sisältävät kalsium-, pii- ja magnesiumoksiedeja toisistaan hieman poikkeavassa suhteessa. Nämä aineet sitoutuvat luonnonkosteassa tilassa hydraulisesti muodostaen puolijäykän rakenteen, jolla on luonnonkiviaineksia parempi kantavuus. Sitoutuminen on pitkäaikainen prosessi, joka rakenteen rikkoutuessa syntyy uudelleen rakeiden pinnoille ja tällä itsekorjautumisella pidentää merkittävästi kantavan rakenteen kestoikää. Lisäksi luonnonkiviaineksiin verrattuna sen



Kuva 2.6. Masuunihiekka-teräskuona siirretään kasalta ja levitetään traktorin avulla muutama metri kerrallaan (Kuva: Jari Ilomäki 2010).



Kuva 2.7. Masuunihiekka-teräskuona sekoitetaan tien pintakerrokseen pitkäpiikkisellä kauhalla (Kuva: Jari Ilomäki 2010).



Kuva 2.8. Koealalle asennettujen lämpötila- ja kosteusantureiden sijainnit ja syvyydet dokumentoitiin (Kuva: Jari Ilomäki 2010).

paino on hieman kevyempi. Masuunihiekalla rakenneteoreettinen tilavuuspaino vaihtelee välillä 1,4–1,55 tn/m³. Teräskuonan ja masuunikuonan seos sekoitetaan tien pintakerrokseen, jolloin tarvittava määrä jää neliometriä kohden pieneksi. Seos sopii hyvin sideaineeksi stabilointiin ja pehmeikkörakentamiseen (Syrjynen 1995, Maa- ja tienrakennustuotteet 2006).

Ruukki Oyj toimitti masuunihiekka-teräskuonaseoksen, jonka seossuhde oli 50:50. Sekoitussuhde perustui koealoilta otettuihin maanäytteisiin ja niistä tehtyihin laboratoriotutkimuksiin. Koealoja valittiin kolme, joista yksi oli uusi ja kaksi turvemaalla sijaitsevaa jo edellisvuonna perustettuja koealoja. Uudelle koealalle perustettiin myös seurantajärjestelmä, joka tallensi talven ajan lämpötila- ja kosteusmuutokset tierakenteen sisällä. Myös pohjaveden mittausta varten asennettiin pohjavesimittausputki. Antureiden asennus tehtiin koealalla tehtyjen kunnostustoimenpiteiden yhteydessä. Seurantajärjestelmän asentamisesta ja mittausaineiston keräämisestä vastasi Soilmetric Ky.

Seoksen sekoittaminen vanhaan tiehen tehtiin seuraavasti. Koealat jaettiin puoliksi koealan keskipaalun kohdalta, jossa toisen puolen sekoitussyvyys oli 20 cm ja toisen puolen 30 cm. Molempien koealapuolien sideainepitoisuus oli 10 %. Ensimmäiseksi tien pinta rikottiin kaivurilla ennalta määritellyn syvyyden verran. Yhtä neliometriä kohden sekoitettavaksi oli laskettu tietty kilomäärä. Tämänkaltaisen tarkkuuteen pääseminen oli mahdotonta käytössä olleiden välineiden avulla. Tarvittava kg/m³-määrä arvioitiin traktorin etukauhan tilavuuden ja masuunihiekka-teräskuonaseoksen tiheyden perusteella. Seos leviteltiin tielle ja kaivurin toimesta sekoitettiin rikottuun pintakerrokseen ja tasoitettiin kauhalla. Yhdellä kerralla päästiin eteenpäin muutama metri riippuen tien leveydestä ja neliometrille lasketusta määrästä riippuen.

2.3.5 Risutukit

Risutukien käyttö tien kantavuuden parantamisessa sopii parhaiten turvemaakohdille, joissa vanha tie on korjattava kokonaisuudessaan. Tien vanhat rakennekerrokset poistetaan, turvekerroksen päälle asennetaan risutukit poikittain tiehen nähden ja sen päälle levitetään kantava sora-kerros. Risutukien tarkoituksena on muodostaa kevyt ja kantava kerros. Risutukit ovat runko-puuta edullisempi tapa eristää turve ja tiehen käytetty sora toisistaan. Samalla muodostuu turpeen päälle "kelluva" kantavuutta parantava pohja. Vastaava tien korottaminen maa-aineksilla lisäisi tien massaa kahdeksankertaisesti. Aikaisempaa kokemusta risutukin käytöstä tierakenteessa ei tiettävästi ole.

Risutukkeja kokeiltiin kahdessa kohteessa, joista toinen oli perustettu jo vuonna 2009. Molemissa kohteissa tien voimakas painuminen aiheutti tien käytölle ongelmia. Tämänkaltainen tilanne ilmeni erityisesti keväisin veden peittäessä tien, koska tienpinta oli ympäristöä alempana. Korjattavien koalojen pituudet olivat noin 20 ja 40 metriä.

Risutukit kohteille toimitti UPM. Normaalin pituuden sijaan risutukit tehtiin viiden metrin mittaisiksi. Halkaisija oli puolestaan tyypilliset 75 cm. Risutukin halkaisijasta riippuu, kuinka suureksi tien korotus tulee ja kuinka pitkälti yhdellä risutukilla voidaan edetä. Risutukit tehtiin leimikosta, josta saatiin sivuoksien sijaan normaalia enemmän latvuksia. Risutukien pituuden ja



Kuva 2.9. Kaivurilla avataan tietä kerralla puomin mitan verran niin, että kaivussyvyys on selvästi alle pohjavedenpinnan tason (Kuva: Jari Ilomäki 2010).



Kuva 2.10. Risutukit tuodaan varastolta metsätraktorilla ja nostellaan tienpohjalle. Kaivuri siirtää risutukit lähelle (Kuva: Jari Ilomäki 2010).



Kuva 2.11. Tien vanha materiaali siirretään kaivurin takaa takaisin tielle asennettujen risutukkien päälle (Kuva: Jari Ilomäki 2010).

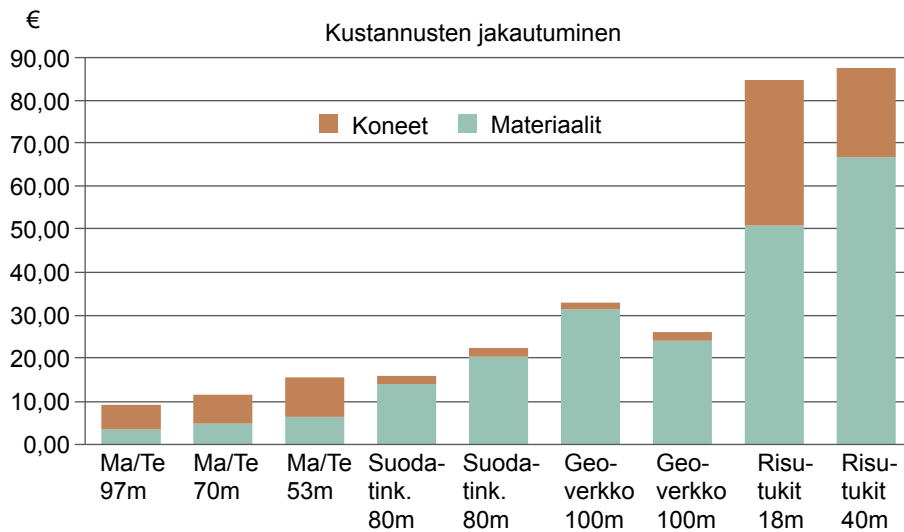


Kuva 2.12. Vanha materiaali tasoitetaan ja päälle levitetään murskekerros (Kuva: Jari Ilomäki 2010).

ylimääräisen käsittelykerran vuoksi muutamat niistä eivät kestäneet, vaan katkesivat kahteen tai useampaan osaan. Molemmilla koealoilla vanhan tien pintakerrosta poistettiin niin, että risutukit jäivät puoliksi pohjaveden peittoon. Tietä korjattiin kerralla viiden-kuuden risutukin verran kerrallaan. Kaivuri poisti ensin maa-aineksen, jonka jälkeen metsätraktori toi varastopaikalta risutukit ja asetteli ne tienpohjaksi. Tämän jälkeen kaivuri siirsi vanhan tien soran risutukkien päälle ja tien sivuluiskiin. Tien pinnaksi pidemmällä koealalla tuli 125,5 tonnia 0–65 mm:n mursketta ja 44,8 tonnia 0–32 mm:n mursketta. Uuden tien kantava kerros muodostui varsin paksuksi, koska haluttiin olla varmoja kokeilun onnistumisesta runsasliikenteisellä tiellä. Puolestaan lyhyemmällä koealalla 0–65 mm:n mursketta laitettiin 41,7 tonnia.

2.4 Tulokset tekniikoista

Kunnostusmenetelmien taloudellinen vertailu on tärkeä seikka, kun toimenpiteiden järkevyyttä arvioidaan. Kustannuslaskennassa otettiin huomioon sekä työkustannukset että materiaalikulut. Ainoastaan työnjohdolle ja vahvistemateriaalien käsittelylle ei kustannuksia määritely. Kustannusten laskenta perustui Metsähallituksen saamiin laskutuksiin käytetystä työajasta ja tuntihinnoista. Koneiden siirtomatkojen vaihdellessa kaikille koealoille määriteltiin yhtenäinen 50 km:n siirtomatka ja 1,50 €/km siirtokorvaus. Murskeen osalta suodatinkangaskoealoilla käytettiin Met-



Kuva 13. Kunnostusmenetelmien kustannukset koaloittain yhtä tiemetriä kohden.

sähallituksen omaa mursketta, jolloin kustannus koostui pelkästä murskauksesta ja kuljetuksesta. Tämä laski materiaalikustannusta noin 20 %, mikä tarkoittaa noin 3-4 euron kustannussäästöä tiemetrille. Puolestaan vastaavassa tilanteessa risutukkien koaloilla oman murskeen käytöstä saatu kustannussäästö olisi ollut jo 10 euron luokkaa tiemetrille johtuen runsaammasta murskeen käytöstä. Masuunihiekka-teräskuonan, geoverkkojen ja suodatinkankaiden osalta tuotteille otettiin huomioon toimituskustannukset.

Kuvassa 2.13 on esitetty kustannuslaskennan tulokset. Risutukkikoalojen kustannukset olivat 87,60 ja 84,80 €/tiemetri. Masuunihiekka-teräskuonaa käytetyillä koaloilla kustannukset olivat 9,20; 11,60 ja 15,50 €/tiemetri riippuen kunnostetun tieosuuden pituudesta, jotka olivat vastaavasti 97, 70 ja 53 metriä. Suodatinkangaskoaloilla kustannukset olivat 15,90 ja 22,40 €/tiemetri molemmilla 80 metrin koaloilla. Geoverkoilla puolestaan luvut olivat 26,10 ja 33,00 €/tiemetri 100 metrin koaloilla. Tiemetrin voi muuttaa edelleen neliöhinnaksi jakamalla kustannuksen tien leveydellä 3,6.

2.5 Tulosten tarkastelu

Esitelty kustannustarkastelu osoittaa masuunihiekka-teräskuonaseoksen olevan edullinen vaihtoehto varsinkin pidemmillä matkoilla, koska metrihintaa jää alhaiseksi, noin 10 euroon. Suodatinkankaiden käytön osalta kustannus on noin 20 euron luokassa ja geoverkkojen osalta 30 euron suuruusluokassa tiemetriä kohden. Puolestaan risutukkien käyttö on kustannusten suhteen aivan eri mittaluokassa. Toisaalta risutukeilla korjatut kohteet eivät suoraan sovi muille tässä tutkimuksessa esitellyille menetelmille, koska risutukkikoaloilla tarvittiin korottamista tien ollessa voimakkaasti turpeeseen painunut. Vastaavanlaisen tien 75 cm:n korottamiseen tarvittava soramäärä olisi varsin suuri ja kallis investointi. Geoverkkojen suhteen ongelmia aiheutti niiden mitoitus leveyssuunnassa, mikä ei suoraan sovellu kapeille metsäteille. Geoverkon 'hukkaprosentti' oli 25 %, kun vahviste jouduttiin kääntämään reunoilta. Kustannukset olisivat parin euron verran edullisemmat tiemetriä kohden, mikäli verkon leveys vastaisi tien leveyttä. Suodatinkankaan kohdalla lisäleveys puolestaan olisi ollut eduksi, jotta kaksikerroksinen kangasosuus olisi yltänyt keskemälle tietä.

2.6 Päätelmiä ja jatkokehittelyjä

Tässä tutkimuksessa keskityttiin uusien kunnostusmenetelmien kartoittamiseen, käytännön testaamiseen ja toimenpiteiden taloudelliseen tarkasteluun sekä kantavuusarvojen mittaamiseen ennen kunnostamista. Kunnostustoimenpiteiden varsinainen onnistuminen nähdään vuosien mittaan. Koaloilla tullaan tekemään kantavuusmittauksia seuraavien vuosien aikana uuden tutkimushankkeen puitteissa, jolloin kunnostustoimenpiteiden varsinainen onnistuminen mitataan. Vaikka alkuinvestointi onkin suurempi normaaliin murskeen käyttöön verrattuna, tarkoituksena on löytää elinkaareltaan pidempiä ratkaisuja haasteellisiin, heikosti kantaviin kohtiin. Vastaukset tämän asian kohdalta saadaan tulevan seuranta-ajan jälkeen. Tämänhetkisen tilanteen perusteella silmävaraisesti arvioituna voidaan tehtyjä kunnostustoimenpiteitä pitää onnistuneina.

Kirjallisuus

- Aho, S., Saarenketo, T. & Kolisoja P. 2005. Kelirikkokorjausten suunnittelu ja rakentaminen, Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito -tutkimusohjelma. Tiehallinnon selvityksiä 64/2005.
- Lahtinen, P. & Jyrävä, H. 2006. Vahvisterakenteet S14 - Vähäliikenteisten teiden taloudellinen ylläpito, Tuotantotekniikat ja koerakentaminen, Tiehallinto. Loppuraportti Ramboll.
- Maa- ja tienrakennustuotteet. Masuunihiekka, MaHk. 2006. Esite. Ruukki Oyj.
- Metsätalastollinen vuosikirja. 2009. Metsäntutkimuslaitos. Vammalan kirjapaino Oy.
- Ravaska, A. 2010. Kaatopaikan tiivistysrakenteiden laadunvarmistuskoulutuksen tarve ja organisointi. Diplomityö. Rakennustekniikan koulutusohjelma, Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- Syrjynen, J. 1995. Geovahvisteet. Julkaisu 29. Geotekniikan laboratorio, Tampereen Teknillinen Yliopisto.

3 Vertailu puunkuljetusoperaatioiden järjestämisestä kelirikoteillä

3.1 Johdanto

Kelirikko on alemmalla tieverkolla vuosittain esiintyvä ongelma. Kun tiet eivät ole liikennöitävässä kunnossa, häirtana ovat puun toimitusketjun vaikeudet vastata asiakkaiden tarpeisiin. Kustannuksia aiheuttaa mm. kuljetuskaluston käytön suuri kausivaihtelu, puutavaran varastointi ja laadun heikentyminen. Metsäteiden kelirikko ongelmat ovat kuljetusreitien ensimmäinen heikko lenkki. Kelirikko-ongelmien takana ovat metsäautotiestön ikä ja heikko kunto. Aikaisemmin metsäteitä rakennettaessa kantavuuskriteerit oli mitoitettu kevyemmille puutavara-autoille. Kasvanut ajoneuvoyhdistelmien kokonaispaino ja tiehen kohdistuva rasitus ovat riittämättömän kunnossapidon kanssa heikentäneet metsätiestön käytettävyyttä. Erityisesti kevään ja yhä lisääntyvässä määrin myös syksyn kelirikko ovat häirtavia tekijöitä puuntoimitusten järjestämisessä.

Kelirikon aikainen puunkuljetus on ongelmallista myös Metsähallituksessa. Kelirikon aiheuttamat ongelmat pyritään Metsähallituksessa usein ehkäisemään ennakoivalla toiminnalla, jossa puuta siirretään ennakkosuunnitelman pohjalta välivarastoon kelirikkoaltilta metsäteiltä. Välivarastolta puuta kuljetetaan edelleen asiakkaille, kunnes metsäautotiet ovat jälleen käyttökelpoisia eikä raskas ajoneuvoliikenne aiheuta vaurioita tielle. Kyseistä toimintatapaa kutsutaan Metsähallituksessa telaukseksi. Tapa on toimiva keino välttää puuntoimitusten katkeamista asiakkaille ja tasaisen kuljetustason ylläpitämisessä. Toimintatapa aiheuttaa myös kustannuksia ja huomattavia panostuksia logistisessa suunnittelussa, kun ennakoidaan korjuukohteiden teiden kelirikon voimakkuutta ja tarvittavien telausmäärien arviointia ja sijoittelua.

Kustannukset koostuvat kuljetusyrittäjille maksetusta normaalihintaisesta matkaan perustuvasta kuljetustaksasta, johon on lisätty telaukseen liittyvä kuljetettavan painon mukainen lisä. Lisäksi kustannuksia aiheuttaa Metsähallituksen toimihenkilöitten ennakkosuunnitteluun sekä käytännön järjestelyjen ohjaamiseen ja opastukseen käyttämä työaika. Tässä tutkimuksessa on tavoitteena vertailla nykyistä ennakoivaa toimintatapaa muihin keinoihin hoitaa puunkuljetuksia kelirikon vaivaamalla metsäteillä taloudellisesti ja käytännön toteutuksen kannalta järkevällä tavalla.



Kuva 3.1. Keväisin metsätiet ovat riskialttiita vaurioitumaan pahoin (Kuva: Tomi Kaakkurivaara 2009).

3.2 Tavoite

Tarkasteluun valikoitui kolme toisistaan poikkeavaa tapaa, joissa yhdistävänä tekijänä on puunkuljetusten ylläpitäminen ja suorat toimitukset myös kelirikko-aikaan. Nämä kolme tapaa ovat CTI-laitteistolla varustettu puutavara-auto, kumimatot ajon aikaisena vahvisteena ja tien käytön aikaiset ylläpitokorjaukset. Varsinaisen erikoisvarustellun ajoneuvon hankkimista pelkäävät kelirikko-aikaan tapahtuvaa alkukuljetusta varten ei pidetty järkevänä ajatuksena kuljetuksista vastaavien mielestä. Kustannusvertailu toisistaan poikkeavien tapojen välillä vaati tarkkuutta. Ongelmana oli kustannusten vertailtavuuden varmistaminen ja käytettävän erityistoimenpiteen lisäkustannusten kohdentaminen kuljetettavaa kiinto-kuutiota kohden.

3.3 Vertailtavat tekniikat

3.3.1 CTI (Central Tyre Inflation System)

CTI-tekniikan eli renkaiden paineensäätöjärjestelmän ansiosta puutavara-auto kykenee liikkumaan myös kelirikoteilla ilman tien vaurioitumisriskiä. Liikennöintikyvyn säilymisen lisäksi hyötyinä ovat ajoneuvokaluston parempi kestävyys vähäisemmän tärinän vuoksi, joka vaikuttaa positiivisesti kuljettajan työviihtyisyyteen. Myös renkaiden käyttöikä kasvaa sutimisen vähenemisen myötä huomattavasti. Polttoaineen kulutukseen CTI:llä ei ole huomattavaa vaikutusta. Haittatekijänä on ajoneuvon omapainon kasvaminen 400 kg:lla laitteen ja teräsvanteiden käytön vuoksi. Paineensäätöä voidaan kontrolloida suoraan ohjaamosta käsin ja järjestelmän toimintavarmuus on hyvää luokkaa (Granlund 2006, CTI på virkes fordon 2006).



Kuva 3.2. CTI-laitteistoa käytetään suoraan ohjaamosta. Ohjaus-, veto- ja perävaunuakseille määritellään omat akselipainoa ja ajonopeutta vastaavat rengaspaineet (Kuva: Tomi Kaakkurivaara 2009).



Kuva 3.3. Kompressorilta tuleva ilma ohjataan vetoakseleitten renkaile ulkokautta ja muille renkaile akseleita pitkin (Kuva: Tomi Kaakkurivaara 2009).

3.3.2 Kumimatot

Kumimattojen avulla tien väliaikainen vahvistaminen tehdään teräsvaijereilla yhteen sidotuin, kuorma-autonrenkaista valmistetuilla matoilla. Mikkelin Ammattikorkeakoulussa on kehitetty yhdessä räjäytyskäyttöön sopivien kumimattojen valmistajan kanssa myös metsäteille ajonaikaiseen vahvistamiseen sopiva ratkaisu. Kumimatot voidaan siirtää ja asentaa puutavara-autolla haluttuun paikkaan ennen varsinaisen puunkuljetuksen alkamista ja edelleen puutavaranajon loputtua siirtää uuteen paikkaan. Haittaavana tekijänä on kerralla vahvistettavan tieosuuden lyhyys, mikäli käytetään pelkästään vetoautoon mahtuvia kumimattoja. Ajankäytön puolesta koko ajoneuvoyhdistelmän lastaaminen ja mattojen purkaminen tulee viemään oletettavasti runsaasti aikaa. Yhden kumimaton pituus on viisi metriä ja leveys kolme metriä (Kontinen 2009).



Kuva 3.4. Kumimatot levitetään vetoauton kuormatilasta tielle nosturin avulla (Kuva: Tomi Kaakkurivaara 2009).

3.3.3 Käytön aikainen ylläpitokorjaaminen

Käytön aikaisella ylläpitokorjauksella tarkoitetaan nykyisen kaltaisen puutavara-auton toiminnan turvaamista tien sorastamisen avulla. Käytetylle tieosuudelle syntynyttä, liikennöintiä haittaavaa urautumista ja muuta tien rakenteellista heikentymistä korjataan tarvittavalla määrällä murskettä. Erityisesti kelirikkokohdissa pakolliset korjaukset on tehtävä viivyttämättä puunkuljetusten turvaamiseksi.

3.4 Menetelmät

Kuljetusten taloudellinen vertailu tehtiin niin, että kaikki varsinaiset kulut otettiin huomioon jokaisen menetelmän osalta. Vertailussa yhteismittana käytettiin euroa per puutavarakiintokuutio, jotta todellinen lisäkustannus tulisi selkeästi esille. Laskennassa mukana olevien kumimattojen osalta käytettiin kahta toimintamallia, jotka perustuvat kahteen tyyppilliseen kelirikko-ongelmaan. Ensimmäinen on lyhyt, 20–50 metrin mittainen, yleensä turvemaalla sijaitseva tieosuus, jolla tie painuu voimakkaasti ja jossa huono kuivatus aiheuttaa osaltaan kantavuuden alenemista. Toinen tyyppillisesti esiintyvä kohde on 100–200 metriä pitkä, huonoista materiaaleista routivalle pohjamaalle rakennettu tieosuus.

Kumimattojen osalta laskentaan otettiin mukaan kaksi vaihtoehtoa: 10 ja 34 kappaletta. Kappalemäärät perustuvat ajoneuvoyhdistelmän kuormatilan kokoon. Vetoauton kuormatilaan mahtuvalta kymmenellä kumimatolla on mahdollista vahvistaa tietä 50 metrin verran. Jos koko kuorma-



Kuva 3.5. Lyhyt heikkokuntoinen kohta muuten riittävän hyväkuntoisella tiestöllä aiheuttaa vaikeuksia (Kuva: Tomi Kaakkurivaara 2010).



Kuva 3.6. Kelirikkoaikaan heikon kantavuuden omaava pidempi tienkohta (Kuva: Tomi Kaakkurivaara 2010).

tila mukaan lukien perävaunu on täytetty kumimatoilla, lukumäärä nousee 34 kappaleeseen, joka tarkoittaa 170 metriä vahvistettua tietä.

Myös käytön aikaisen ylläpitokorjauksen aiheuttamat kustannukset on laskettu 50 ja 170 metrin pituisille tieosuuksille. Haastattelujen perusteella pidemmissä kohteissa on tyypillistä käyttää alempana kerroksena 10 cm:n paksuista, karkeudeltaan 0–55 mm:n murskekerrosta ja sen päällä 5 cm:n paksuista, karkeudeltaan 0–32 mm:n pintakerrosta. Edellä esitetyillä lyhyillä tieosuuksilla tyypillinen korjausratkaisu on 20 cm:n paksuinen kerros karkeaa 0–55 mm:n murskettä.

CTI-tekniikan osalta laskenta tehtiin suoraan kelirikonaikaista kuljetettavaa puumäärää kohden. Kumimattojen ja käytön aikaisen vahvistamisen kohdalla käytetty kustannusten kohdentaminen tietylle metrimäärälle tietä olisi vääristänyt kustannuslaskelmia. Lisäksi CTI-laitteistoa tulisi käyttää käytännössä hyödyntämään paljon laajemmin esim. talviaikaan pidon parantamisessa.

3.5 Laskenta-aineisto

Laskenta-aineistona käytettiin käytännön toimista saatuja keskiarvoja ja todellisuuteen pohjautuvia oletuksia. Metsähallituksen kelirikon aikana välivarastoiman puumäärän on arvioitu olevan noin 8000 m³ Parkanon tiimin alueella ja muodostuvan noin kahdeksasta leimikosta. Kelirikko-

leimikon keskikooksi muodostui näin ollen 1000 m³. Leimikoiden etäisyyksien toisistaan arvioitiin olevan keskimäärin 15 km.

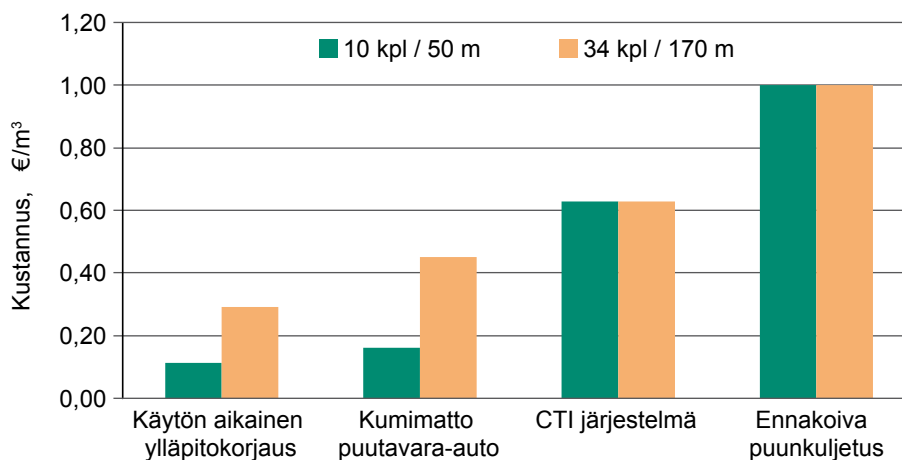
Kumimattojen osalta huomioon otettiin käyttöön kuluva aika. Ajankäyttöön laskettiin mukaan käytön suunnittelu, ajo kumimatoille, mattojen lastaus autoon, ajo kohteelle, purkaminen tielle ja mattojen siirtäminen perävaunusta autoon tielle asettamista varten. Oletuksena oli, että kumimattoja siirretään suoraan leimikolta toiselle. Kumimattojen hankintainvestoinneille laskettiin neljän prosentin korkokustannus ja investoinnille tasapoisto ilman jäännösarvoa. Kumimattojen hankintahinta oli 670 euroa kappaleelta.

Myös puutavara-autoon asennettavalle CTI-järjestelmälle laskettiin investoinneille tyypillinen neljän prosentin vuosittainen korkokustannus. CTI-laitteille poistoajaksi määriteltiin laitteiden käyttöikä eli kahdeksan vuotta ja kompressorille puolestaan neljä vuotta. Lisäksi huomioitiin ylläpitokustannukset aikaisemmasta ruotsalaistutkimuksesta (Granlund 2006). Lopuksi vuotuiset kustannukset jaettiin vuotuisella kelirikkoajan kuljetusmäärällä. Huomioimatta jätettiin CTI:stä saatava muu välillinen hyöty.

Mursketta käytettäessä kustannus kohdistuu kyseiseltä leimikolta kuljetettavaan puumäärään. Vaihtoehtoisina tapauksina olivat 50 ja 170 metrin mittaiset kunnostusta vaativat kohteet. Pituuudet ovat samat kuin käytettävien kumimattojen enimmäispituudet. Parkanon tiimin alueella käytetään yleisesti Metsähallituksen omaa kalliomursketta, jonka hinta sisälsi kiviaineksen, murskauksen, kuormauksen, kuljetuksen ja kohteelle levityksen kustannukset.

3.6 Tulokset

Metsähallitus arvioi tämän tutkimuksen yhteydessä ennakoivan puunkuljetuksen lisäkustannukseksi yhden euron kuutiota kohden riippumatta kuljetuksen kokonaismatkasta. CTI-laitteistolla varustetulla puutavara-autolla lisäkustannus kelirikon aikana kuljetettavaa kiintokuutiota kohden oli 0,63 euroa. Kummassakaan edellä mainitussa tapauksessa kuljetuksen estävää tieosuutta ei tarvitse huomioida. Puolestaan kumimattojen ja käytön aikaisen ylläpitokorjausten suhteen asialla on merkitystä.



Kuva 3.7. Kustannusvertailu vaihtoehtoisista menetelmistä puunkuljetuksen järjestämisessä verrattuna ennakoivaan puunkuljetukseen.

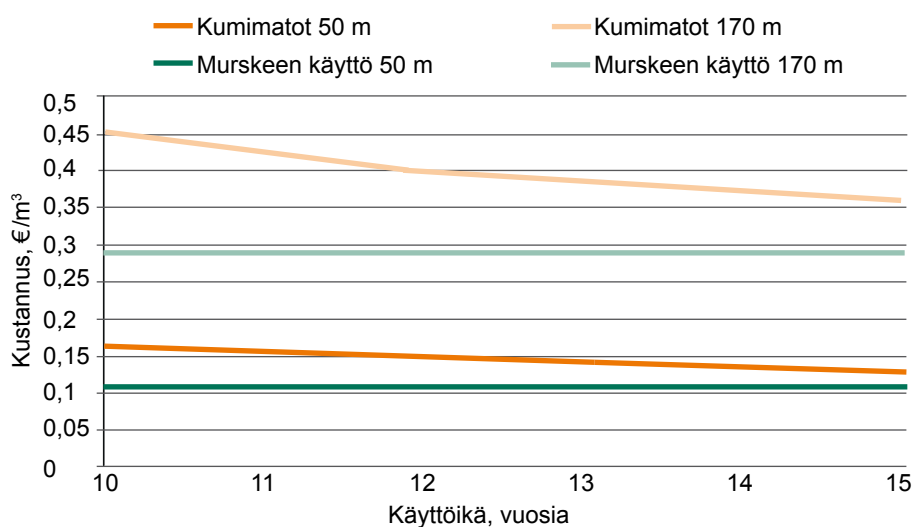
Lyhyemmällä matkalla kumimattojen kustannus oli 0,16 €/m³ ja pidemmällä matkalla 0,45 €/m³. Käytön aikaiselle ylläpitokorjaukselle vastaavat luvut olivat 0,11 €/m³ ja 0,29 €/m³. Tämä tarkoittaa kumimatoille 50 metrin matkalla 45 prosentin ja 170 metrin matkalla 64 prosentin korkeampaa kustannustasoa kuin käytön aikaiselle ylläpitokorjaukselle.

Kumimattojen osalta kustannuksista merkittävämpi osuus muodostui hankintahinnasta. Materiaalikustannukset olivat kumimatoille 39 prosenttia korkeammat lyhyemmällä matkalla ja 54 prosenttia korkeammat pidemmällä matkalla kuin vastaavasti mursketta käytettäessä. Kuljetuksen ja käytön osalta ero ei ollut selkeä. Lyhyemmällä matkalla kumimattojen kustannukset olivat 14 prosenttia suuremmat, mutta puolestaan 170 metrin matkalla 41 prosenttia pienemmät kuin mursketta käytettäessä. Taulukossa 3.1 esitellään tarkemmin murskeella vahvistamisen ja kumimattojen käytön kustannukset.

Kuvassa 3.8 on tarkasteltu tilannetta, jossa kumimattojen käyttöikä olisi laskelmissa käytettyä 10 vuotta pidempi, joko 12 tai 15 vuotta. Kumimattojen pidempi käyttöikä parantaisi investoinnin taloudellista kannattavuutta. Kymmenellä kumimatolla vuotuinen käyttökustannus olisi 12 vuoden aikana 0,15 euroa/kuutiometri ja 15 vuoden aikana 0,13 euroa/kuutiometri. Puolestaan täyden kuormatilan kapasiteetin hyödyntävä 34 kappaletta kumimattoja vastaavat luvut olisivat 0,40 ja 0,36 euroa kuljetettua kiintokuutiota kohden.

Taulukko 3.1. Leimikolle koitua lisäkustannus käytettäessä kumimattoja tai mursketta.

Leimikon koko 1000 m ³	Murskeen käyttö		Kumimatot	
	50 m	170 m	50 m	170 m
Materiaalikustannukset	60,93	158,67	100,5	341,70
Kuljetus ja käyttö	51,85	132,22	60,42	93,42
Yhteensä	112,78	290,89	160,92	435,12
€/kiinto-m ³	0,11	0,29	0,16	0,45



Kuva 3.8. Kumimattojen ja murskeen käytön kustannusten muutos käyttöajan pidentyessä.

3.7 Tulosten tarkastelu

Tutkimus osoitti ennakoivan puunkuljetuksen olevan kallein vaihtoehto kelirikon aikaisien puunkuljetusten järjestämisessä. CTI-laitteisto oli puolestaan vaihtoehtoista toiseksi kallein, mutta selvästi halvempi kuin telaus. Kumimattojen käyttö ja käytön aikaiset ylläpitokorjaukset olivat kustannuksiltaan vielä selkeämmin edullisempia verrattuna kahteen edellä mainittuun. Käytön aikaiset ylläpitokorjaukset murskeella oli kaikista halvin.

Vertailussa mukana olleen CTI-varustetun puutavara-auton osalta on tarkasteltava myös käytännön mahdollisuuksia toteuttaa Parkanon tiimin alueen kelirikkoajan toimitukset. Jos kelirikkoajan oletetaan kestävä noin kaksi kuukautta ja kuljetettavan puun kokonaismäärän olevan 8000 m³, on kuljetukset mahdollista hoitaa yhdellä CTI-laitteistolla varustellulla ajoneuvoyhdistelmällä, mikäli puunkuljetuksia hoidetaan osittain kahdessa työvuoressa. Kumimattojen kustannuksista merkittävän osan muodosti korkea hankintahinta, jonka vuoksi käytön aikaiset ylläpitokorjaukset jäivät halvemmaksi vaihtoehdoksi. Mikäli kumimattojen kappalehinta olisi 670 euron sijasta 450 euroa, kustannus olisi tässä tutkimuksessa tehtyjen laskelmien mukaan sama kuin murskeen käytöllä. Murskeen käytön osalta oletuksena on, että menetelmäosiossa esitetty murskemäärä on riittävä tien vahvistamiseen kuljetuksien jatkamiseksi.

3.8 Päätelmiä ja pohdintaa

Murskeen käyttö on aina pysyväisratkaisu, joka hyödyttää tien käyttäjiä jatkossakin, kun taas kumimatot ovat vain hetkellinen vahvistamiskeino. Valintaa tehtäessä on mietittävä mm. seuraavia kysymyksiä: käyttääkö raskas ajoneuvoliikenne tulevaisuudessakin kyseistä tietä, onko lähellä tarjolla edullista mursketta tien kunnostamiseen, onko tienkäytön tarve lyhytaikainen ja kuinka suuria tai pieniä puumääriä on kohteen yli kuljetettava.

CTI puolestaan auttaa kuljettajaa ympäri vuoden ja hyödyt eivät ole pelkästään puuntoimitusten varmistamisessa, vaan myös muissa tekijöissä. Tässä tutkimuksessa vain kiintokuutiota kohden lasketussa lisähinnassa ei oteta huomioon kaluston parempaa kestävyyttä, renkaiden vähäisempää kulumista ja mahdollista polttoaineen pienempää kulutusta. Monissa tapauksissa CTI on hyödyksi myös kelirikon ulkopuolella heikkorakenteisilla teillä, jolloin kustannusten kohdistaminen vain kelirikkoajan kuljetuksiin ei anna oikeanlaista kuvaa.

Tarkoituksena oli laskennallisin keinoin vertailla toisistaan poikkeavien puunkuljetusoperaatioiden taloudellista kannattavuutta. Tämän tarkastelun lisäksi on olemassa epäsuoria, rahassa mitattavia hyötyjä, joita teoreettisessa kustannuslaskentavertailussa ei pystytä havaitsemaan ja ottamaan huomioon. Näiden tekijöiden havaitsemiseksi ja vaikutuksien tarkemmaksi määrittämiseksi tarvittaisiin käytännön kokeita. Tulokset osoittavat kuitenkin selkeästi eri menetelmien kustannusluokan toisiinsa nähden. Vertailussa mukana olleet kumimatot ja CTI ovat uusia tekniikoita, joiden käyttökokemukset ovat vielä Suomessa vähäiset. Niiden vertaaminen käytön aikaiseen ylläpitokorjaukseen ja telaukseen oli tärkeää, jotta jatkossa voidaan perustella valintaa myös kustannuslaskennallisin perustein.

Kirjallisuus

CTI antaa puuautolle “lumikengät”. 2009. Metsätrens 3/2009.

CTI på virkesfordon. 2006. Redogörelse nro 3. Skogforsk.1

Granlund, P. 2006. Five million km covered in CTI project. Results nro 4. Skogforsk.

Kontinen, K. 2009. Maaperän vahvistusratkaisut puunkorjuussa – kumimatot. Mikkelin ammattikorkeakoulu.

Vuorimies, N., Matintupa, A. & Luomala, H. 2009. CTI puutavara-autossa. Metsätehon raportti 207.