

Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen

Hannu Airavaara, Jari Ala-Illomäki, Tore Högnäs ja Matti Sirén

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. Kirjoitukset luokitellaan Metlan julkaisuominnassa samaan ryhmään monisteiden kanssa.

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 Airavaara, Hannu, Ala-Ilomäki, Jari, Högnäs, Tore & Sirén, Matti | | | |
| Nimeke Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen | | | |
| Vuosi 2008 | Sivumäärä 46 | ISBN 978-951-40-2100-8 (PDF) | ISSN 1795-150X |
| Yksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet Vantaan toimintayksikkö /3500 Varustelun ja lisälaitteiden mahdollisuudet metsäkoneiden käytön tehostamisessa, 3448 Turvemaan kulkukelpoisuuden ennustaminen | | | |
| Hyväksynyt Jari Varjo, toimintayksikön johtaja, 16.5.2008 | | | |
| Tiivistelmä <p>Metsähallituksen (metsätalous, projekti 63008), Ponsse Oyj:n ja Metsäntutkimuslaitoksen yhteisprojektissa haettiin käytännön ratkaisuja, joiden avulla turvemaiden sulan maan ajan puunkorjuuta voidaan lisätä yleisesti käytössä olevaa konekalustoa käyttäen. Kehittämisen kohdealueita olivat 1) metsäkoneen varustaminen pehmeille maille, 2) konetyöskentelyn sopeuttaminen heikosti kantaviin olosuhteisiin, 3) suunnittelun kehittäminen sekä 4) puunkorjuuyritysten valmiuksien parantaminen. Kohdealueen 4 tuloksia ei kuitenkaan ole sisällytetty tähän raporttiin. Uutta tietoa kerättiin maastokokeen ja yrittäjähaastattelujen avulla. Myös 1980-luvun laajan kokeilutoiminnan tuloksia hyödynnettiin.</p> <p>Metsäkoneen pehmeän maan ominaisuuksien parantamiseen on useita keinoja. Ainakin seuraavia ratkaisuja tunnetaan: 1) leveämmät ja maastoystävällisemmät telat, 2) telojen käytön mahdollistaminen tai kantopinnan lisääminen apupyörän avulla, 3) yksittäisten pyörien leveyden kasvattaminen pari- tai levikepyörien tai telan avulla, 4) leveämmät ja maastoystävällisemmät renkaat ja 5) renkaiden ilmanpaineiden alentaminen. Varustamisen ja konevalinnan välimaissa on pyörien halkaisijan ja lukumäärän kasvattaminen.</p> <p>Projektin maastokokeen tulosten perusteella leveät, oikein muotoillut telat parantavat merkittävästi metsätraktorin suokelpoisuutta. Varsin lupaava ratkaisu on telojen leventäminen ja telaston pituuden kasvattaminen apupyörärakenteen avulla. Koetta varten kehitetyllä apupyöräratkaisulla pystyttiin kuljettamaan puutavaraa pehmeillä koalueilla ilman ylisuuria raiteita ja kiinnijuttumisia. Konseptia voidaan edelleen kehittää.</p> <p>Turvemailla on työskentelyn kannalta kriittisiä kohtia, joissa korjuuolosuhteita voidaan parantaa ja konetyöskentelyä sopeuttaa kantavuusoloja vastaavaksi. Kriittisissä kohdissa ratkaisuna voivat olla leimikon rajausta, varastopaikkojen ja ajourien sijoittelu, kuorman koon ja urakohtaisten ajokertojen säätely sekä erilaiset ajoalustan vahvistamisratkaisut. Joukkoon kuuluvat myös korjuun ajoitukseen liittyvät keinot kuten kuivien kausien hyödyntäminen ja toteutuksen ajallinen porrastus (kaksivaiheinen korjuu).</p> <p>Metsäkoneiden suokelpoisuus- ja turvemaiden kantavuusluokitusten kehittäminen on välttämätöntä, jos turvemailla halutaan korjata puuta laajassa mitassa sulan maan aikana. Luokitusta tarvitaan puunkorjuun suunnittelua ja toteutusta varten. Luokitusjärjestelmä helpottaisi urakointia ja metsäkoneiden kehittämistä sekä tukisi yksityismetsien puukauppaa. Luokitusasian liikkeelle saattamiseksi projektissa taivutettiin luokitusten rautalankamallit.</p> <p>Alan toimijoiden yhteistä panosta tarvitaan kantavuus- ja suokelpoisuusluokituskonseptin kokeiluun ja kehittämiseen, ”turvemaaleimikon toteutus” -kurssin suunnitteluun sekä turvemaiden korjuujälkivaatimusten selvittämiseen. Korjuujälkivaatimukset eivät turvemailla voi olla täysin samat kuin kangasmailla, vaan korjuuoperaatioiden erityisvaatimukset ja realiteetit on otettava ohjeistuksessa huomioon.</p> | | | |
| Asiasanat metsäkuljetus, suometsät, telat, raiteenmuodostus, suunnittelu | | | |
| Julkaisun verkko-osoite http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp080.htm | | | |
| Tämä julkaisu korvaa julkaisun | | | |
| Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla | | | |
| Yhteydenotot Jari Ala-Ilomäki, Metsäntutkimuslaitos, PL 18, 01301 Vantaa. Sähköposti jari.ala-ilomaki@metla.fi | | | |
| Muita tietoja Jari Mononen, Ponsse Oyj; Tore Högnäs, Metsähallitus | | | |

Sisältö

| | |
|--|-----------|
| 1 Johdanto..... | 5 |
| 2 Kohdealue 1. Korjuukoneen varustaminen pehmeille maille..... | 6 |
| 2.1 Taustaa | 6 |
| 2.2 Kehittämismuutosten tarkastelu | 6 |
| 2.2.1 Leveämmät ja maastoystävällisemmät telat | 6 |
| 2.2.2 Telojen käytön mahdollistaminen tai kantopinnan lisääminen apupyörän avulla.... | 10 |
| 2.2.3 Projektin maastokokeiden tulokset..... | 11 |
| 2.2.4 Yksittäisten pyörien leveyden kasvattaminen pari- tai levikepyörien tai telan avulla | 12 |
| 2.2.5 Leveämmät ja maastoystävällisemmät renkaat | 13 |
| 2.2.6 Renkaiden ilmanpaineen alentaminen | 14 |
| 2.3 Suositukset..... | 15 |
| 2.3.1 Välittömät toimenpiteet | 15 |
| 2.3.2 Tuki- ja pidemmän aikavälin toimenpiteet | 17 |
| 3 Kohdealue 2. Konetyöskentelyn sopeuttaminen heikosti kantaviin olosuhteisiin..... | 18 |
| 3.1 Taustaa | 18 |
| 3.2 Kehittämismuutosten tarkastelu | 18 |
| 3.2.1 Kuorman koon säätely | 18 |
| 3.2.2 Urakohtaisten ajokertojen säätely..... | 20 |
| 3.2.3 Ajoalustan vahvistaminen..... | 20 |
| 3.3 Suositukset..... | 23 |
| 3.3.1 Välittömät toimenpiteet | 23 |
| 3.3.2 Tuki- ja pidemmän aikavälin toimenpiteet | 24 |
| 4 Kohdealue 3. Suunnittelun kehittäminen..... | 24 |
| 4.1 Taustaa | 24 |
| 4.2 Kehittämismuutosten tarkastelu | 24 |
| 4.2.1 Kohteiden korjuukelpoisuus | 24 |
| 4.2.2 Leimikko- ja työmaasuunnittelu | 26 |
| 4.2.3 Korjuun ajoitus | 28 |
| 4.3 Suositukset..... | 29 |
| 4.3.1 Välittömät toimenpiteet | 29 |
| 4.3.2 Tuki- ja pidemmän aikavälin toimenpiteet | 29 |
| Lähteet..... | 30 |
| Liite | 32 |

1 Johdanto

Laajan ojitustoiminnan seurauksena turvemailloilla on paljon hakattavaa puuta. Viime vuosina ojitetuilta turvemailloilta on hakattu koko maassa luokkaa 5–6 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Uusien, erityisesti turvemaille tarkoitettujen metsänhoitosuosittelujen laadinnan yhteydessä on laskettu, että määrää voitaisiin nostaa 12–14 miljoonaa kuutiometriin vuodessa (Turvemailloilta lisää puuta... 2007). Myös Metsähallituksessa turvemaiden puunkorjuu on iso kysymys. Turvemaille laskettu Metsähallituksen hakkuusuunnite on 0,7 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Jos tähän lisätään muutkin pehmeät alueet, liikutaan vuositasolla lähes miljoonassa heikosti kantavilta mailloilta korjattavassa kuutiometrissä.

Pyrittäessä lisäämään kotimaan hakkuista turvemaat muodostavat merkittävän lähteen. Turvemailloilta hakattavien puumäärien kasvaessa on varauduttava siihen, että yhä suurempi osa kohteista joudutaan korjaamaan sulan maan aikana. Samanaikaisesti lämpimien talvien vuoksi jäätyneen maan hyväksikäyttö puunkorjuussa on käynyt yhä vaikeammaksi. Turvemaiden puunkorjuussa on siis edessä melkoinen kehittämishaaste.

Turvemaiden sulan maan aikaisen puunkorjuun ongelmana on maaperän heikko kantavuus. Ratkaisua kantavuusongelmaan voidaan hakea joko turvautumalla erikoiskoneisiin (telamaasturit, suotelatraktorit tms.) tai parantamalla nykykaluston käyttömahdollisuuksia heikosti kantavilla mailloilla. Tiedetään, että turvemaaoloihin suunnitellun erikoiskaluston käyttö on kallista (ks. esim. Hänninen ja Kumpare 1986, Högnäs 1986a, Hänninen ja Mustonen 1988). Turvemaiden puunkorjuuta ei myöskään voida eriyttää operatiivisesti muusta kokonaisuudesta. Näin ollen on perusteltua lähteä liikkeelle muussa puunkorjuussa käytettävän kaluston käyttöalueen laajentamisesta. Urakointipuolella todennäköisesti tapahtuvan erikoistumisen myötä turvemaille voi ajan myötä kehittyä myös oma kalusto.

Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen -projektissa haettiin käytännön ratkaisuja, joiden avulla turvemaiden sulan maan ajan puunkorjuuta voidaan lisätä yleisesti käytössä olevaa konekalustoa käyttäen. Kehittämisen kohdealueita ovat 1) metsäkoneen varustaminen pehmeille mailloille, 2) konetyöskentelyn sopeuttaminen heikosti kantaviin olosuhteisiin, 3) suunnittelun kehittäminen (kohdevalinta, työmaasuunnittelu, ajoitus) sekä 4) puunkorjuuyritysten valmiuksien parantaminen. Kohdealueen 4 tulokset eivät kuitenkaan sisälly tähän raporttiin.

Asmuntissa 3.–7.9.2007 (Ranua/Pudasjärvi) järjestetyissä maastokokeissa hankittiin tietoa metsäkoneiden eri varustevaihtoehtojen paremmuudesta (kohdealue 1), kuorman koon säätelyn vaikutuksista (kohdealue 2) ja turvemaiden kantavuusolosuhteiden ennustamis- ja luokittelumahdollisuuksista (kohdealue 3). Lisäksi saatiin tietoa nykyisen maastokuljetuskaluston ominaisuuksista 1980-luvun tekniikkaan verrattuna. Puunkorjuuyritysten näkemyksistä saatiin tietoa Pohjanmaa-Kainuun alueella tehtyjen haastattelujen sekä Vieremällä 10.10.2007 järjestetyn yrittäjäseminaarin avulla. Myös 1980-luvun laajan kokeilutoiminnan tuloksia hyödynnettiin projektissa.

Projekti oli Metsähallituksen, Ponsse Oyj:n ja Metlan yhteisprojekti. Kokeiltavat telamallit toimitti Metsätyö Oy, jonka kautta projektiin saatiin myös tarvittava tela-asiantuntemus. Tämä raportti perustuu Metsähallituksen metsätalouden projektin 63008 tulosraporttiin. Turvemaiden kantavuuden ennustamisesta tehtiin projektin puitteissa Joensuun yliopistolle pro gradu -työ.

Projektin tulokset raportoidaan kohdealueittain. Ensiksi käydään läpi ja arvioidaan kehittämisvaihtoehdot ja sen jälkeen annetaan esille tulleiden asioiden pohjalta suositukset. Suositukset jaetaan välittömiin toimenpiteisiin sekä tuki- ja pitemmän aikavälin kehittämiskohteisiin. Raportin liitteenä on yksityiskohtainen selostus Asmuntin maastokokeista. Turvemaiden kantavuuden ennustamisesta tehtiin pro gradu -työn pohjalta projektiin erillinen tulosraportti (Lamminen 2008a).

2 Kohdealue 1. Korjuukoneen varustaminen pehmeille maille

2.1 Taustaa

Aikaisempien kokeiden perusteella tiedetään, että metsäkoneiden pehmeän maan ominaisuuksia voidaan eri keinoin parantaa. Varusteilla pyritään alentamaan pintapaineita ja muutenkin vähentämään koneen maahan kohdistamaa räsitusta. Ainakin seuraavia ratkaisuja tunnetaan (Högnäs 1997):

- leveämmät ja maastoystävällisemmät telat
- telojen käytön mahdollistaminen tai kantopinnan lisääminen apupyörän avulla
- yksittäisten pyörien leveyden kasvattaminen pari- tai levikepyörien tai telan avulla
- leveämmät ja maastoystävällisemmät renkaat
- renkaiden ilmanpaineiden alentaminen.

Varustamisen ja konevalinnan välimaissa on pyörien halkaisijan ja lukumäärän kasvattaminen. Seuraavassa on koottu kokemuksia erilaisista koneiden varusteratkaisuista sekä Metsähallituksen piiristä että muualtakin. Uusien telaratkaisujen ominaisuuksista saatiin tietoa Asmuntissa syksyllä 2007 järjestetyissä kokeissa.

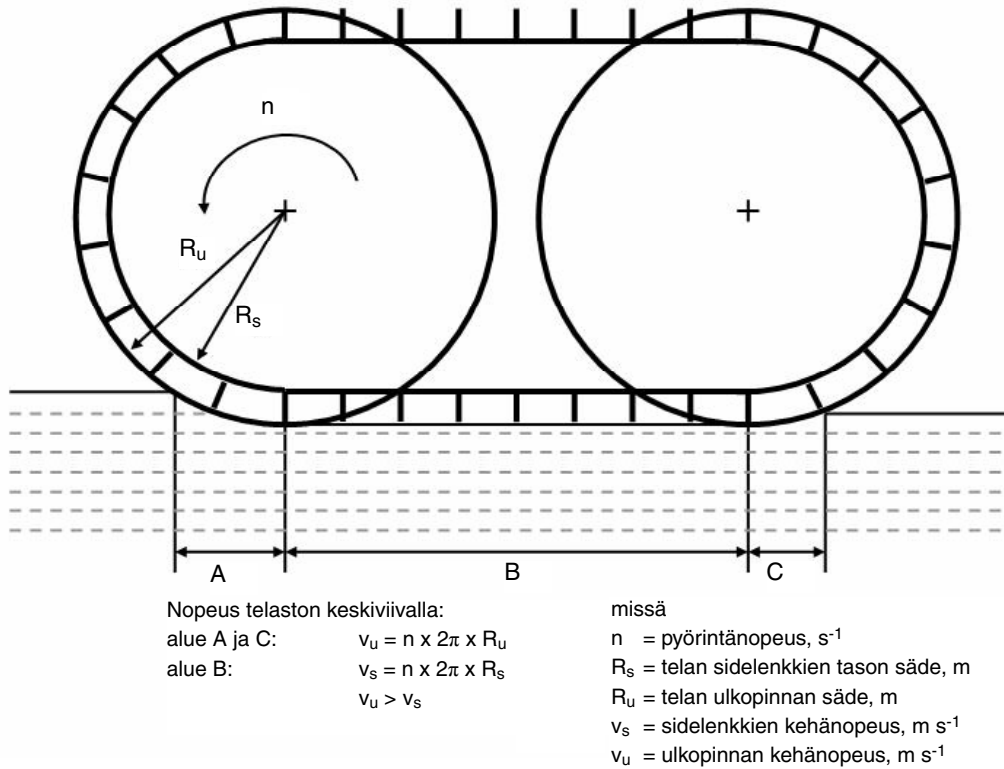
2.2 Kehittämismvaihtoehtojen tarkastelu

2.2.1 Leveämmät ja maastoystävällisemmät telat

Teliin asennettavilla teloilla voidaan alentaa koneen keskimääräisiä pintapaineita ja parantaa pitoa. Teloja on käytetty laajasti pyöräkoneissa lumessa liikkumisen helpottamiseksi. Niitä on myös käytetty heikosti kantavilla mailla maastovaurioiden vähentämiseksi ja koneen kiinnijuuttumisen ehkäisemiseksi. Pehmeän maan telat voidaan suunnitella telin renkaita leveämmiksi, jolloin kantopintaa saadaan telan avulla lisää myös leveyssuunnassa.

Perinteisten teliin asennettavien telojen ongelmina ovat maastovauriot ja suuri kulkuvastus. Ongelmat johtuvat pyörän pintaa mukailevista telakengistä, jotka on yhdistetty toisiinsa pyörän napaa kohti taivutetun telakengän päästä (kuva 1). Tästä seuraa, että pyörän ja telan vierintäsäde on erilainen, minkä vuoksi tela joko liukuu tai pyörä kuopii koko ajan ajoalustasta riippuen. Nopeuseron seurauksena on maanpinnan voimakas rikkoontuminen ja suuri kulkuvastus. Suuri kulkuvastus nostaa tietysti polttoaineen kulutusta ja lisää voimansiirron kulumista. Syvässä lumessa ajettaessa nopeuserolla ei ole juuri merkitystä. Uusissa teloissa ongelma on suurelta osin ratkaistu käyttämällä suorita telakengkiä, ja telan päällä pysyminen on varmistettu niihin hitsatuilla ohjauspaloilla.

Vaikka tiedetään, että telakengien kaarevuus on ilmeisesti merkittävin maastovaurioiden ja kulkuvastuksen lisääntymisen aiheuttaja, niiden aggressiivisuuden, leveyden ja lukumäärän sekä materiaalin vaikutus maastovaurioihin on mielenkiintoinen. Syyskesällä 1984 Metsähallituksen kehittämisjaostossa tehtiin laaja koe, jossa verrattiin viittä telamallia ja teloita ajoa erityisesti näiden tekijöiden vaikutuksen näkökulmasta (Kumpuniemi 1985). Koe suoritettiin suolle ja kankaalle perustetuilla radoilla samaa metsätraktoria käyttäen. Puuston juuristolle aiheutuvien vaurioiden selvittämistä varten ajettiin lisäksi poikittain asetettujen, tuoreista mäntyriu'usta tehtyjen lavojen yli.



Kuva 1. Perinteisen telan käyttäytyminen (Högnäs 1986b).

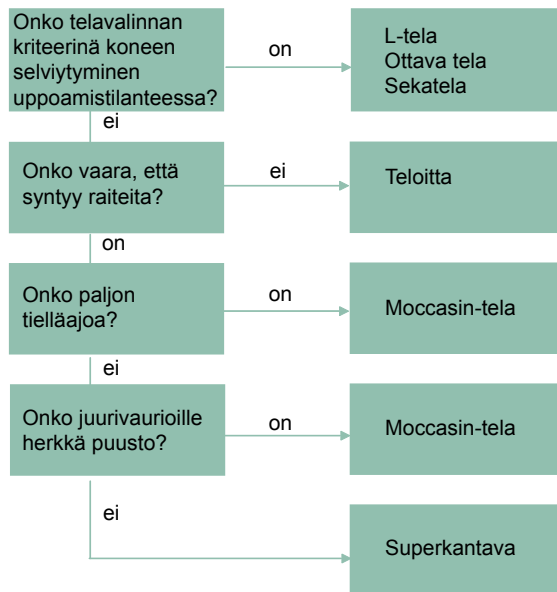
Telojen väliset erot olivat yleisesti ottaen pienet. Turvemaita ajattaessa eroja syntyi lähinnä eri vaihtoehtojen erilaisen kantopinnan johdosta. Telan tiheydellä (telakenkien peittämä osuus telan pinnasta) ei sen sijaan ollut erityistä merkitystä syntyvien raiteiden kannalta. Maanpinnan rikkoontumisen sekä kuori- ja puuvaurioiden osalta eri vaihtoehtojen välillä oli jonkin verran eroa. Pehmeästä polyuretaanista tehty Gislaved Moccasin -tela saattoi hiukan suojata juuristovaurioilta ja ehkäistä tienpinnan särkymistä. Kokeen tulosten perusteella laadittiin kuvassa 2 oleva telojen valintakaavio.

Edellä mainittu Gislaved Moccasin -tela oli myös kehittämisjaoston käyttökokeilussa (Högnäs 1986c). Siinä paljastuivat telamallin heikkoudet: terästela selvästi huonompi kestävyys, liukkaus ja pieni kantopinnan lisä.

Litteällä hihnatyypisellä kumitelalla liukuminen on vähäistä ja lisäksi telan pinta on materiaalista johtuen joustavan pehmeä. Ruotsalainen metsäkonekehittäjä Lars Bruun esitteli vuonna 1985 ratkaisun, jossa yhtenäistä kumitelaa käytettiin metsätraktorin teleissa (Högnäs 1985a). Telaarä piddettiin aina päällä ja telipyörinä käytettiin kuorma-auton paripyöriä. Telaarä pysyi päällä telan keskellä olevan, paripyörien välissä kulkevan harjan avulla.

Kumitelan rakenteen ansiosta vauriot jäivät pienemmiksi kuin vastaavankokoisilla tavallisilla te-loilla varustetuilla metsätraktoreilla. Ongelmina olivat lähinnä telan kestävyys ja liukkaus. Telaarä oli myös liian kapea turvemaita ajatellen, mutta olisi ilmeisesti ollut jonkin verran levennettävissä.

Myös Valmet 828 Botniassa (kuva 3) käytettiin kumitelaa. Bruunin telasta poiketen Valmetin ratkaisussa oli veto ulkopuolisella kitkarullalla suoraan telaan, jonka pinta oli rivoitettu luiston



Kuva 2. Telojen valinta kesäolosuhteissa (Kumpuniemi 1985).

ehkäisemiseksi. Telin heilurirakenteen ansiosta tela pysyi koko ajan kireänä vetorullaa vastaan. Kokemukset olivat periaatteessa samat kuin Bruunin telasta.

Varsinaisissa telakoneissa käytettävät ns. kumimattotelat kuuluvat kiinteästi koneeseen, eivätkä siten tämän tarkastelun piiriin. Metsähallituksen kehittämisjaostossa kokeiltiin 1980-luvulla muutamia kumimattoteloilla varustettuja koneita. Varsinkin raskaissa koneissa kumimattotelan kestävyys oli suuri ongelma.

Marttiin konepaja suunnitteli vuonna 1986 Metsähallituksen kehittämisjaoston kokeiluissa ker-tyneiden kokemusten pohjalta pehmeiden maiden erikoistelan. Telan kengät olivat melkein suorat ja tela pysyi päällä telakenkien päissä olevien ohjauspalojen avulla. Rakenne oli varsin onnistunut sekä maastovaurioiden että kulkuvastuksen kannalta. Sitä paitsi tela oli kevyt nykyisiin vastaaviin teloihin verrattuna (kuva 4). Vaikka tela kasvatti huomattavasti koneen leveyttä, harvennushak-kuiden puustovauriot jäivät pieniksi (Vilkkö 1986).

Metsähallituksessa on selvitetty myös nykyisin markkinoitavien telojen ominaisuuksia. Lapin Luonto-opisto, Marttiini Metal Technics Oy ja Metsähallitus tekivät Länsi-Lapissa vuonna 2004 laajahkon telavertailun (Vitikka 2004). Tavoitteena oli hakea käytännön korjuukalustosta ne met-sätraktori- ja telatyypit, joiden jättämä urapainaus on vähäinen. Tutkittavia tela-/koneyhdistel-miä oli seitsemän. Kokeen laajuudesta huolimatta tutkimuksen anti jäi puutteellisten koejärjeste-lyjen vuoksi vaatimattomaksi. Hyvin erilaisista rakenteista huolimatta tutkittuja telavaihtoehtoja ei voitu laittaa kantavuusominaisuuksien mukaiseen paremmuusjärjestykseen.

Skogforsk on vuonna 2006 tutkinut nykyään yleisesti käytettyjen Eco Track ja Eco Magnum -te-lojen ominaisuuksia (Jonsson 2006). Vaihtoehtona oli myös teloitta ajo. Kokeet suoritettiin pel-lolla tutkimuskoneena Valmet 890 -metsätraktori. Eco Track -telalla tuli ensimmäisten ajokerto-jen aikana syvemmät raiteet kuin Magnum-telalla ja teloitta ajossa. Tämä johtuu luultavasti siitä, että Eco Track -tela on suunniteltu pitoa ajatellen. Telalla on kapeat, kynnelliset telalaput, jotka helposti menevät humuskerroksen läpi. Kolmannen ylityksen jälkeen Eco Track oli kuitenkin parempi kuin teloitta ajo. Magnum-telalla raidesyvyys oli matalampi kuin teloitta ajossa kaikilla ajokerroilla. Raiteiden syvyys oli Magnum-teloilla noin 60 prosenttia teloitta ajon raiteista.



Kuva 3. Valmet 828 Botnia (Luston kokoelmat).



Kuva 4. Marttiin konepajan Metsähallitukselle suunnittelema pehmeiden maiden erikoistela (Vilko 1986).
Telan leveys on 900 mm.

2.2.2 Telojen käytön mahdollistaminen tai kantopinnan lisääminen apupyörän avulla

Kantopintaa saadaan lisää teloja leventämällä. Tästä on kuitenkin haittana se, että koneen leveys kasvaa. Telojen leveyttä rajoittavat lisäksi koneen rakennetekniset seikat. Telojen leventämisen vaihtoehtona on telaston pidentäminen.

Kuusipyöräisissä koneissa on lumessakulkuominaisuuksien parantamiseksi käytetty edessä apupyörän kautta kulkevaa telaa. Yleensä pyörä on ollut hydraulisesti liikuteltavissa varsissa, jolloin telan kireyttä on mahdollista säätää. Perusrakenteeltaan nelipyöräisessä Ponsse S20 -metsätraktorissa oli apupyörärakenne sekä edessä että takana.

Perinteinen, apupyörän varassa kulkeva telaratkaisu kuusipyöräisessä koneessa ei välttämättä sovi sellaisenaan turvemaalle (Högnäs 1983). Perinteiset rakenteet nostavat koneen keulan painoa melkoisesti, eikä apupyörän koko ja sijainti ole turvemaita ajatellen välttämättä optimaalinen. Konsepti on kuitenkin hyvä lähtökohta 6-pyöräisen koneen lisävarusteen kehittämiseksi turvemaalle.

Projektissa ideoitiin apupyöräratkaisu takatelissä olevalle telalle (kuva 5). Ajatuksena oli, että apupyörä olisi kiinnitetty telin etupuolelle heti keskinivelen jälkeen. Jalostetummassa ideassa apupyörä oli varressa, jonka toisessa päässä oli jousitettu rakenne. Varsirakenteen ansiosta apupyörästä painuu alaspäin telan kiristyessä telin liikkeiden myötä. Tämä olisi johtanut kantopinnan kasvuun rakenteen etupäässä vetotilanteessa, jossa telin takapyörä painuu alas. Ratkaisu olisi voinut toimia hyvin pehmeällä ajettaessa.

Apupyörästäön asentaminen telin eteen on kuitenkin rajoitetun tilan vuoksi hankalaa. Tämän ja projektin tiukan aikataulun vuoksi apupyörästäö päätettiin sijoittaa erilliseen, traktorin taakse kiinnitettävään runkoon. Pikakiinnityksen ansiosta lisävarusteajattelu toteutuu ratkaisussa hyvin.

Apupyörästäön toteutus on yksinkertainen, mutta edelleen kehitettävissä. Esimerkiksi apupyörästäön mekaaninen tai hydraulinen korkeuden säätö voi tulla kysymykseen. Apupyörän kulman säätö yhdistettynä hydraulisesti hallittuun teliin mahdollistaisi telarakenteen ominaisuuksien säätelyn maaston mukaan. Rakenteen säätö olisi mahdollista automatisoida. Ominaisuuksien lisääminen tuo toisaalta lisää hintaa ja samalla rakenteesta tulee helposti kiinteä.



Kuva 5. Apupyöräratkaisun idea ja toteutus (valokuvat Ponsse Oyj).

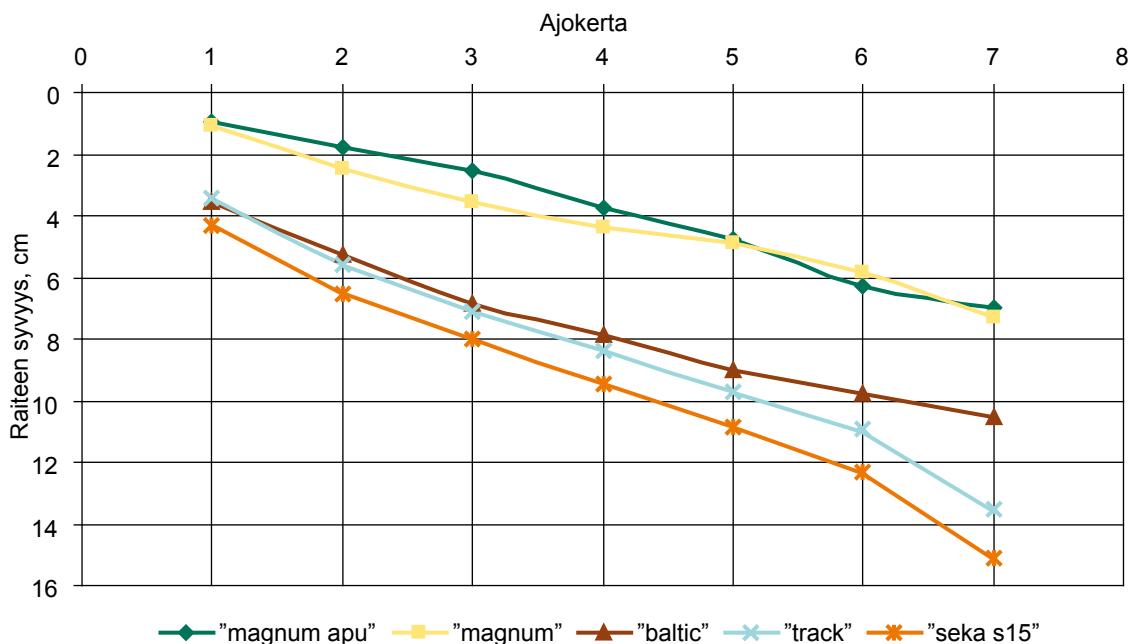
2.2.3 Projektin maastokokeiden tulokset

Osana projektia Asmuntissa 3–7.9.2007 tehty maastokokeet on selostettu yksityiskohtaisesti liitteessä 1. Seuraavassa on yhteenveto telavertailujen osalta.

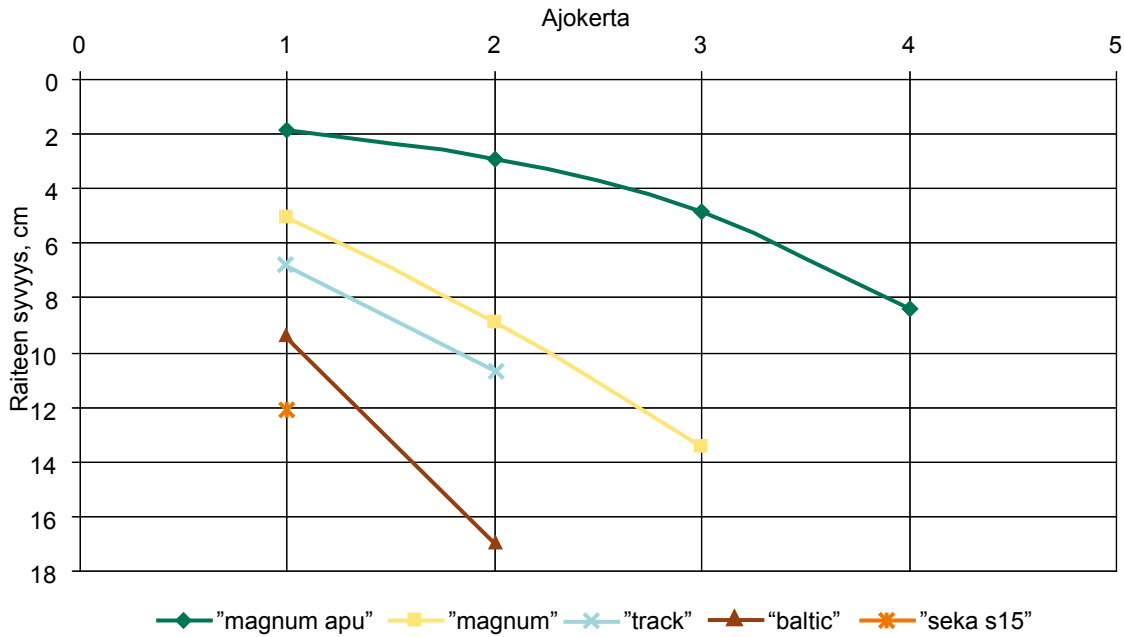
Asmuntin maastokokeessa verrattiin eri telaratkaisujen ominaisuuksia pehmeällä maalla. Kokeessa testattiin myös edellä kuvattua apupyöräratkaisua ja hankittiin tietoa 1980-luvun kaluston tasosta. Koetraktorina oli Ponsse Wisent (vm. 2005) ja 80-luvun tekniikkaa edusti vm. 1985 Ponsse S15. Telat olivat Olofsforsin valikoimasta: Eco Magnum, Eco Baltic, Eco Track ja Ponsse S15:ssä käytetty Sekatela. Radat sijaitsivat turvepellolla ja ojitusalueen ensiharvennusmännikössä. Pellolla ajo tehtiin vain kuormattuna 6 tonnin kuormalla. Metsäkohteella jäljiteltiin normaalia maastokuljetusta, johon kuuluu sekä ajo tyhjänä että kuormattuna. Metsässä kuorman koko oli 8 tonnia. Kokeiden keskeiset tulokset on esitetty kuvissa 6 ja 7.

Tulosten pohjalta voidaan tehdä muun muassa seuraavia johtopäätöksiä:

- Leveillä, oikein muotoiluilla teloilla voidaan merkittävästi parantaa nykyisin käytettävien metsätraktoreiden suokelpoisuutta. Telojen leventäminen leventää myös konetta, mutta ei kuitenkaan puustovaurioita ajatellen kohtuuttomasti.
- Koetta varten kehitellyn apupyöräratkaisun avulla saadaan yksikkö, jolla pystytään toimimaan koalueiden kaltaisilla pehmeilläkin kohteilla sulan maan aikana ilman ylisuuria raiteita ja kiinnijuuttumisia. Konseptia voidaan edelleen kehittää.
- Tela-/pyörävarustuksen painoa pitäisi saada alennettua merkittävästi. Raiteenmuodostusta ajatellen kantopinnan ääriimitat ovat ilmeisesti ratkaisevassa asemassa, eikä telan tiheys (telakenkien peittämä osuus telan pinnasta). Tiheyden alentaminen on siten yksi keino keventää telaa. Turvemaalla joudutaan yleensä aina käyttämään teloja, jolloin pyörän kokoa on periaatteessa mahdollista pienentää painon säästämiseksi. Renkaan kaventaminen saattaa myös parantaa koneen lumessakulkuominaisuuksia.



Kuva 6. Raiteen syvyys pellolla. Ratojen olosuhteet on tasoitettu regressiolaskennan keinoin.



Kuva 7. Raiteen syvyys metsässä. Ratojen olosuhteet on tasoitettu regressiolaskennan keinoin.

2.2.4 Yksittäisten pyörien leveyden kasvattaminen pari- tai levikepyörien tai telan avulla

Maataloustraktoreissa on yleisesti käytetty pari- tai levikepyöriä kantopinnan lisäämiseksi. Esimerkiksi turvesoilla paripyörät ovat tuttu näky. Metsäkoneissa ratkaisu on harvinainen.

Metsähallituksen kehittämisjaosto kokeili vuonna 1986 levikepyörärakennetta Ponsse S15 -metsätraktorin etuakselissa (Vilkko 1986). Koneen leveyden kasvun rajoittamiseksi levikepyörä valittiin koneen pyörää kapeammaksi (kuva 8). Vaikka koneen leveys kasvoi huomattavasti, kokemukset olivat periaatteessa hyvät. Ongelmana oli lähinnä levikepyörän maatalouskäyttöön suunniteltu rengas, joka ei kestänyt metsässä.

Pohjois-Amerikassa on runkojuontokoneissa paljon käytetty paripyöriä (Byl ja Högnäs 1985). Tiedossa on, että pari- ja levikepyöriä on myös käytetty kuormaa kantavissa koneissa eräissä Euroopan maissa (Owende ym. 2002). Avohakkuuolosuhteissa ratkaisu onkin käyttökelpoinen.

Ilmakumirenkaiden käytön sijasta työkonien pyöriä on myös levennetty pyörien sivuun asennetuilla teräsvanteilla. Myös telalla voidaan yksittäistä pyörää leventää. Ratkaisu lienee käytetty enemmän pidon aikaansaamiseksi ja renkaan suojaamiseksi kuin koneen pehmeän maan ominaisuuksien parantamiseksi.



Kuva 8. Yksittäisen pyörän leventämiskäsitelmiä (Vilkko1986, Owende ym. 2002, Harvesting systems 2007).

2.2.5 Leveämmät ja maastoystävällisemmät renkaat

Metsäkoneiden renkaat ovat koko ajan kehittyneet. Merkittävä askel oli matalailmapaineisten, erityisesti metsäkäyttöön suunniteltujen renkaiden käyttöönotto 1970-luvulla. Metsärenkaiden leveys oli alussa yleensä 500 millimetriä, mutta kasvoi myöhemmin 600 millimetriin. Tänä päivänä metsäkoneissa käytetään paljon 700 tai 710 millimetrin renkaita. Kaupan on peräti 800 millimetriä leveät mallit. Uutta rengasrintamalla on vyörenkaiden tulo markkinoille (esim. Nokia Forest Rider).

Pohjois-Amerikassa on jo kauan käytetty yllämainittuja ”High Flotation” renkaita (kuva 9). Tulokset ovat runkojuonnossa avohakkuuolosuhteissa tehtyjen tutkimusten mukaan olleet hyvät: koneen liikkuvuus pehmeällä on parantunut, tuottavuus noussut, maastovauriot vähentyneet ja polttoaineen kulutus pienentynyt (Byl ja Högnäs 1985). Yllämainittua rengasta ei pidetä kovin lupaavana kehittämissivaihtoehtona pohjoismaisiin konetyyppeihin ja korjuuolosuhteisiin vallitsevan kasvatushakkuukäytännön johdosta.

Renkaan leventämisen pintapaineita ja raiteenmuodostusta alentava vaikutus on selkeä. Löfgrenin ym. (1996) tutkimuksessa rengasleveyden kasvattaminen 600 millimetristä 800 millimetriin lähes puolitti raiteensyvyuden pelto-olosuhteissa (kuva 10, s. 15). Renkaiden muodon ja kuvioinnin vaikutuksesta raiteenmuodostukseen ja muihin maastovaurioihin löytyy melko vähän julkista tutkimustietoa.



Kuva 9. Ylileveät renkaat runkojuontokoneessa (Harvesting systems 2007).

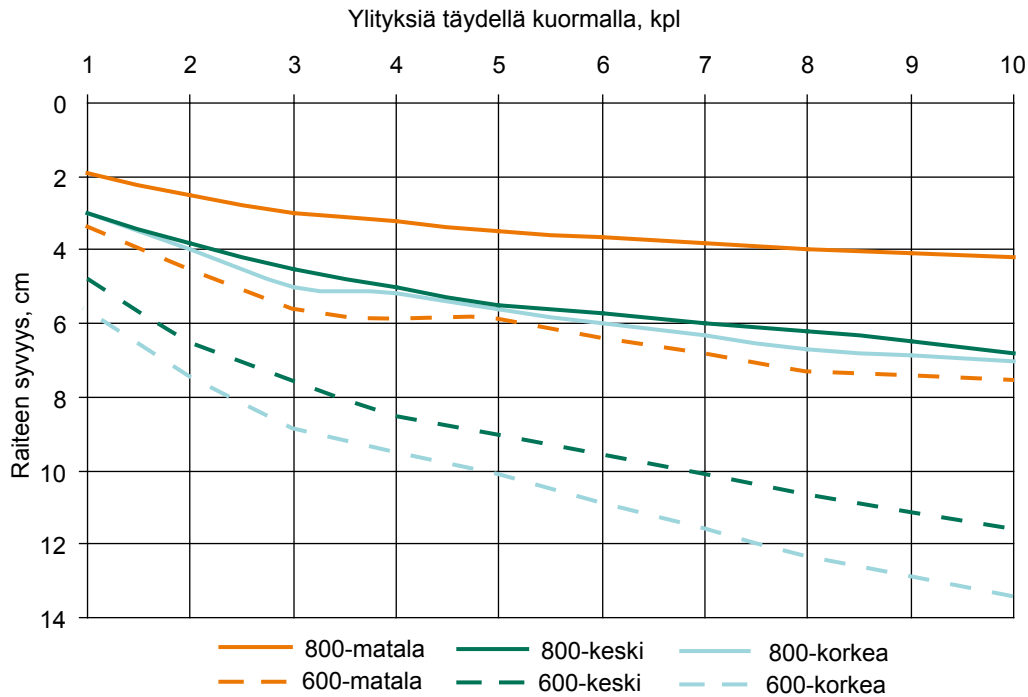
2.2.6 Renkaiden ilmanpaineen alentaminen

Renkaiden ilmanpaineen alentaminen lisää renkaan kantopintaa ja joustavuutta, mikä on eduksi sekä maastovaurioita että pitoa ajatellen. Esimerkiksi sotilasajoneuvoissa on käytetty keskitettyä rengaspaineen säätöä (CTI) liikkuvuuden parantamiseksi. Ratkaisu on käytössä myös puutavara-autoissa eräissä maissa.

Pieni ilmanpaineiden alentaminen metsäkoneen renkaissa ei välttämättä vähennä maastovaurioita merkittävästi. Högnäsin (1985b) kokeen mukaan kuusipyöräisen koneen eturenkaiden ilmanpaineen maltillinen alentaminen ei juurikaan vaikuttanut raidesyvyYTEEN.

Eliasson (2005) tutki rengaspaineen vaikutusta raiteenmuodostukseen ja maan tiivistymiseen kangasmaan avohakkuulla. Tutkimuksessa käytettiin kolmea rengaspainetasoa: 300, 450 ja 600 kPa. Ajo tehtiin täyteen kuormatulla 8-pyöräisellä metsätraktorilla (Timberjack 1710 B). Ensimmäisen ylityksen jälkeen tehtiin 6-pyöräisellä harvesterilla (Timberjack 1270 D). Raiteensyvyys mitattiin 2. ja 5. ylityksen jälkeen. Rengaspaine ei tutkimuksen mukaan vaikuttanut merkittävästi raidesyvyYTEEN, mutta ajokerta kylläkin.

Ruotsissa on myös osana NSR-projektia tehty suhteellisen laajat kokeilut säätyvillä rengaspaineilla tavallisessa 8-pyöräisessä metsätraktorissa (Löfgren ym. 1996). Koetraktorina oli 8-pyöräinen FMG 250, jossa käytettiin sekä 600 että 800 millimetriä leveitä renkaita. Rengaspainetasot olivat 600 millimetrin renkailla edessä 50–80–120 kPa (matala-keski-korkea) ja takana 170–300–430 kPa. Leveämmillä 800 millimetrin renkailla painetasot olivat vastaavasti 50–60–70 kPa ja 100–180–260 kPa.



Kuva 10. Rengaspaineen ja renkaan leveyden vaikutus raiteenmuodostukseen Löfgrenin ym. (1996) mukaan. Alimmat tutkitut paineet ovat metsäkuljetusta nykyisillä renkailla ajatellen epärealistisen pieniä.

Turvepellolla tehtyjen ajokokeiden perusteella rengaspaineen alentaminen vähensi merkittävästi raidesyvyttä (kuva 10). Raidesyvyys väheni rengaspaineen pudottamisen seurauksena kummallakin rengasleveydellä 40...45 prosenttia. Käytännössä 600 millimetriä leveän renkaan raidesyvyys alennetulla rengaspaineella oli sama kuin 800 millimetrin renkaan raidesyvyys normaalipaineella. Matalapaineinen rengas vaurioituu helposti kyljistään, minkä vuoksi sitä ei voi käyttää esimerkiksi kivikoissa. Tällä hetkellä keskitetty rengaspaineen säätömahdollisuus ei ole pohjoismaisissa metsäkoneissa vakiovarusteena.

Hyvistä kokemuksista huolimatta alennettua rengaspainetta on vaikea hyödyntää turvemaiden puunkorjuussa. Käytännössä turvemaolosuhteissa joudutaan heikon kantavuuden vuoksi käyttämään teloja, jolloin rengaspaineen alentamisesta ei ole juurikaan hyötyä. Lähinnä se voisi tulla kysymykseen 6-pyöräisen traktorin etupyörissä silloin, kun ei käytetä muuta kantopintaa lisäävää ratkaisua. Tätä varten kallista rengaspaineen keskussäätöä ei kannata koneeseen asentaa, vaan se voidaan varmaan tehdä manuaalisesti. Renkaan sopivuus alhaisen rengaspaineen käyttöön on varmistettava.

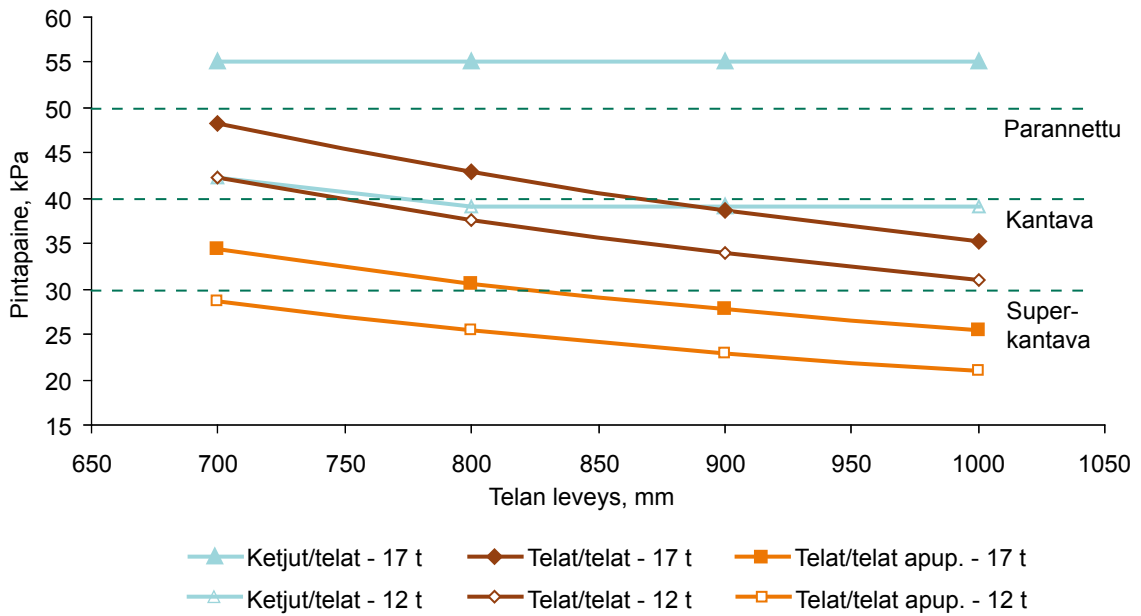
2.3 Suositukset

2.3.1 Välittömät toimenpiteet

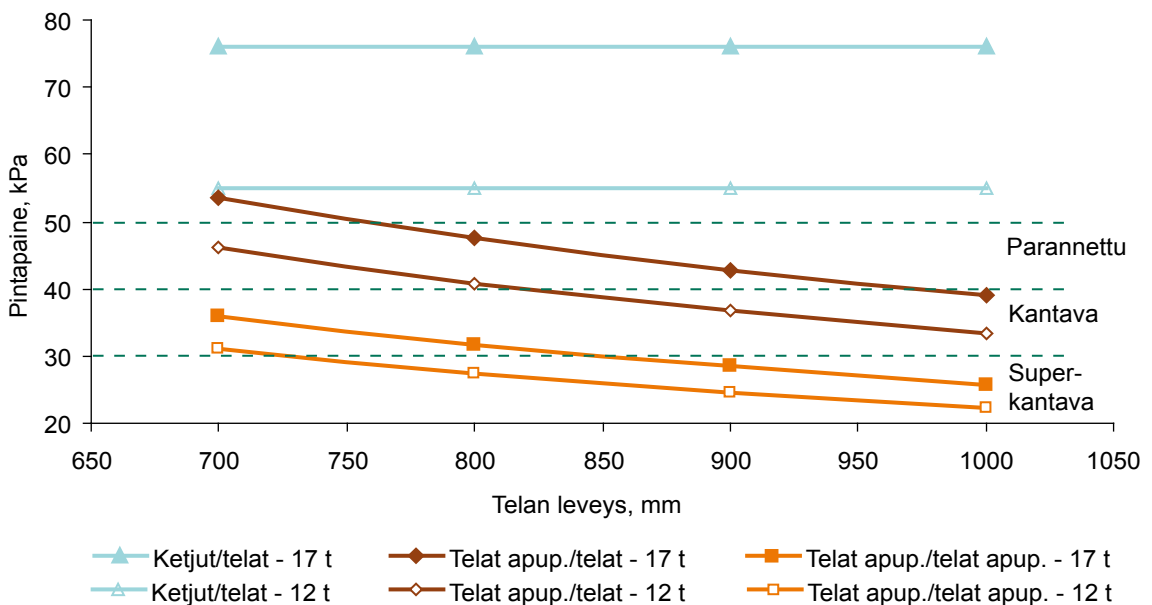
Metsäkoneiden suokelpoisuus- ja turvemaiden kantavuusluokitusten kehittäminen on aivan välttämätöntä, jos turvemailta halutaan korjata puuta laajassa mitassa sulan maan aikana. Luokituksista tarvitaan puunkorjuun suunnittelua ja toteutusta varten, ja se palvelee myös urakointia. Myös metsäkoneiden kehittämistä ajatellen luokituksen aikaansaaminen on tärkeää. Luokitus tukisi todennäköisesti myös yksityismetsien puukauppaa.

Projektissa kehitettiin metsäkoneiden suokelpoisuuden luokituskonsepti, joka on esitetty taulukossa 1. Metsäkoneiden suokelpoisuusluokitusta käytetään yhdistettynä turvemaiden kantavuusluokitukseen (taulukko 4). Kehitety metsäkoneiden suokelpoisuus- ja turvemaiden kantavuusluokituskonsepti esitetään otettavaksi koekäyttöön kohdealueen 3 suositusten yhteydessä mainitulla tavalla.

Metsäkoneiden suokelpoisuusluokitus perustuu laskelmiin, jossa on tutkittu telan leveyden kasvattamisen vaikutusta suurimpaan (koneen etu- tai takapäätä) keskimääräiseen pintapaineeseen kolmella eri varustevaihtoehdoilla: 1) telat vain takana, 2) telat edessä (6-pyöräisessä koneessa apupyörät) ja takana sekä 3) telat edessä (apupyörillä) ja telat apupyörillä takana. Eturenkain leveydenä käytettiin 8-pyöräisessä koneessa 710 mm ja 6-pyöräisessä koneessa 700 mm (ks. kuvat 11 ja 12).



Kuva 11. Esimerkilaskelma telan leveyden vaikutuksesta suurimpaan pintapaineeseen 8-pyöräisellä metsätraktorilla.



Kuva 12. Esimerkilaskelma telan leveyden vaikutuksesta suurimpaan pintapaineeseen 6-pyöräisellä metsätraktorilla.

Taulukko 1. Yleiskaluston suokelpoisuusluokitus omamassaltaan 12 ja 17 tonnin kuormatraktoreille. Tavoitepintapaineet ovat saavutettavissa muillakin keinoin kuin kuvatulla esimerkkivarustuksella.

| Suokelpoisuustaso | Kahdeksanpyöräiset traktorit | Kuusipyöräiset traktorit |
|-------------------|--|--|
| Parannettu | Suurin pintapaine 8 tonnin kuormalla enintään 50 kPa Esimerkkivarustus: • 12 t: edessä ketjut ja takana telat, leveys \geq 700 mm • 17 t: edessä ja takana telat, leveys \geq 700 mm | Suurin pintapaine 8 tonnin kuormalla enintään 50 kPa Esimerkkivarustus: • 12 t: edessä telat apupyörillä ja takana telat, leveys \geq 700 mm • 17 t: edessä telat apupyörillä ja takana telat, leveys \geq 760 mm |
| Kantava | Suurin pintapaine 8 tonnin kuormalla enintään 40 kPa Esimerkkivarustus: • 12 t: edessä ketjut ja takana telat, leveys \geq 750 mm • 17 t: edessä ja takana telat, leveys \geq 870 mm | Suurin pintapaine 8 tonnin kuormalla enintään 40 kPa Esimerkkivarustus: • 12 t: edessä telat apupyörillä ja takana telat, leveys \geq 820 mm • 17 t: edessä telat apupyörillä ja takana telat, leveys \geq 970 mm |
| Superkantava | Suurin pintapaine 8 tonnin kuormalla enintään 30 kPa Esimerkkivarustus: • 12 t: edessä telat ja takana telat apupyörillä, leveys \geq 700 mm • 17 t: edessä telat ja takana telat apupyörillä, leveys \geq 820 mm | Suurin pintapaine 8 tonnin kuormalla enintään 30 kPa Esimerkkivarustus: • 12 t: edessä telat apupyörillä ja takana telat apupyörillä, leveys \geq 730 mm • 17 t: edessä telat apupyörillä ja takana telat apupyörillä, leveys \geq 850 mm |

Korjaukset:

- Jos traktorin omamassa ilman teloja alittaa 12 tonnia, taso paranee yhdellä luokalla
- Hakkuukoneilla taso on samalla varustuksella yhtä luokkaa kantavampi (käytetään vain erillisessä hakkuussa)

2.3.2 Tuki- ja pidemmän aikavälin toimenpiteet

Metsäkoneiden pehmeän maan varusteiden kehittämistyö on tähän asti ollut verraten vähäistä. Siirtyminen edellä esitettyyn luokitukseen edellyttää kehityspanoksen lisäämistä. Haaste kohdistuu sekä kone- että telavalmistajiin. Kehittämistyö tulisi erityisesti kohdentaa seuraaviin asioihin:

- Kehitetään edelleen ratkaisuja takateliin telapinnan laajentamiseksi. Kokeiltu ratkaisu on toimiva, mutta sitä voidaan todennäköisesti vielä parantaa.
- Kehitetään perinteisiä etutelarakenteita kevyempi ja turvemaalle sopivampi keulan apupyöräratkaisu 6-pyöräisille koneille.
- Kehitetään nykyistä kevyempi tela-/pyörävarustus. Erityisesti telojen painoa pitäisi saada merkittävästi alas.
- Turvemailla joudutaan pääsääntöisesti käyttämään teloja. Yleiskäyttöön olisi kuitenkin hyvä saada renkaita, joilla voi turvallisesti ajaa alennetuilla ilmanpaineilla. Sen myötä helpottuisi myös 6-pyöräisten koneiden käyttö pehmeällä maalla ilman etuteloja.

Pitemmällä tähtäimellä ja urakoinnin kehittymisen myötä tulisi myös panostaa koneiden perusrakenteiden parempaan sopeuttamiseen heikosti kantaville maille. Tämä voi tarkoittaa erityisen turvemaakaluston kehittämistä.

3 Kohdealue 2. Konetyöskentelyn sopeuttaminen heikosti kantaviin olosuhteisiin

3.1 Taustaa

Tarkoituksenmukaisella konetyöskentelyllä voidaan vähentää maastovaurioita ja ehkäistä kiinnijuuttumisia. Konetyöskentely voidaan sopeuttaa pehmeisiin olosuhteisiin muun muassa:

- kuorman koon säätelyllä
- urakohtaisten ajokertojen säätelyllä
- ajoalustan vahvistamisella.

Tarkastelu perustetaan pääasiassa Metsähallituksessa olemassa olevaan tietoon. Tukena käytetään lisäksi aineistoa Ruotsista (SkogForsk) ja Britanniaasta (FC Forest Research).

3.2 Kehittämismvaihtoehtojen tarkastelu

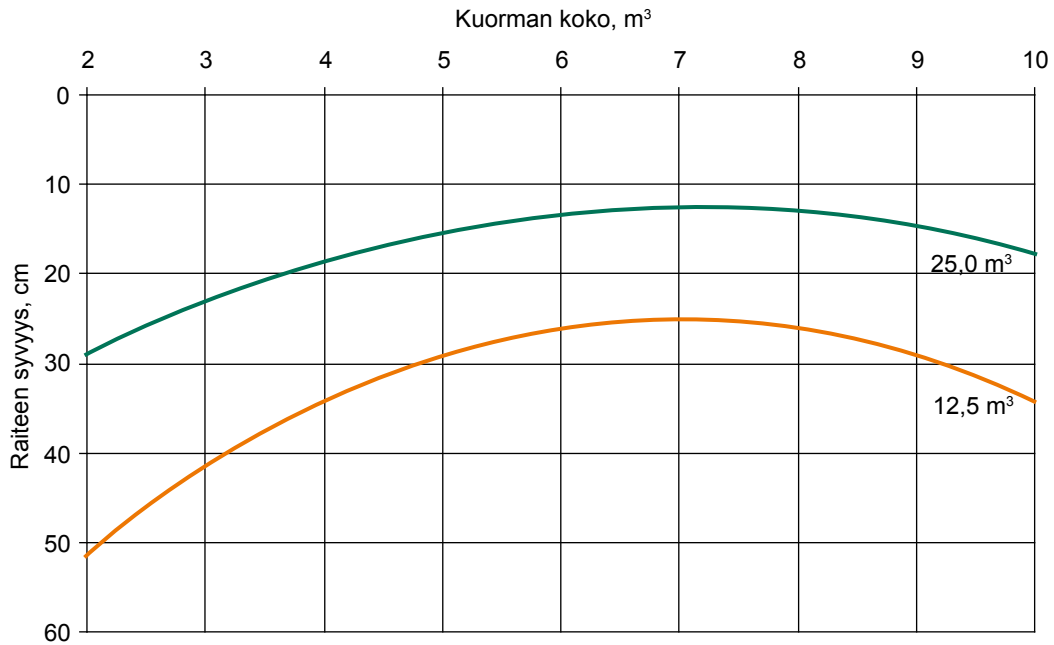
3.2.1 Kuorman koon säätely

Perinteinen tapa selviytyä pehmeällä alustalla on kuorman koon pienentäminen. Kiinnijuuttumisen välttämistä ajatellen se todennäköisesti onkin hyvä keino. Kuorman koon pienentäminen lisää kuitenkin tietynsuuruisen puutavaraerän kuljettamiseen tarvittavien ajokertojen määrää ja koneen omasta painosta aiheutuvaa uran kuormitusta. Voidaan ajatella, että kuorman koon kasvaessa em. tilanteessa ajouran keskimääräinen raidesyvyys pienenee tiettyyn pisteeseen asti, jossa yksikön massa muodostuu niin suureksi, että pinta murtuu. Tämän jälkeen raiteiden syvyys alkaa nopeasti lisääntyä pyörien luiston ja alustan jauhautumisen myötä.

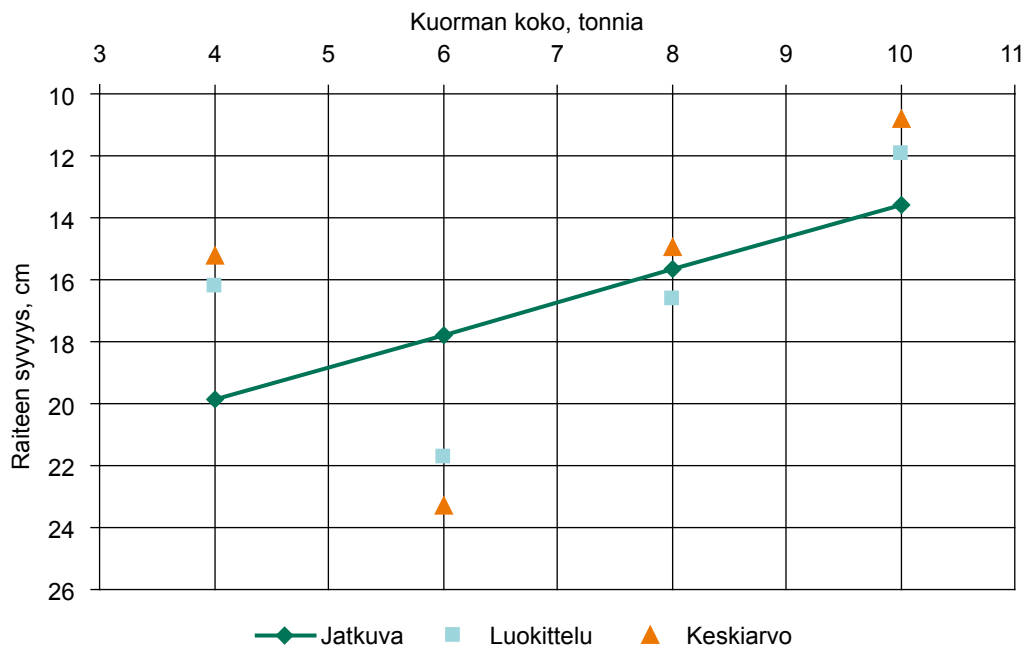
Högnäsin (1985c) kokeessa edellä kuvattu teoria toteutui. Raiteensyvyys kääntyi kuitenkin nousuun vasta odotettua suuremmalla 7 m³:n kuorman koolla (kuva 13). Tällöin pääteltiin, että kuorman kokoa ei ole yleensä syytä rajoittaa. Tulos riippunee kuorman koon lisäämisen vaikutuksesta koneen akselimassoihin ja pintapaineisiin sekä toisaalta maaperän rakenteesta. Turvemaalla pintakerroksen vahvuus on ratkaisevassa asemassa.

Kuorman koon vaikutuksesta raiteenmuodostukseen pyrittiin saamaan tietoa myös Asmuntin maastokokeissa. Mittaustulosten mukaan raidesyvyys on pienentynyt keskimäärin koko ajan kuorman koon kasvaessa (kuva 14). Luokittelumuuttujatarkastelun tulokset eivät kuitenkaan ole johdonmukaisia. Kuuden tonnin kuorma johti varsin suureen raidesyvyyteen ja jopa koneen kiinnijuuttumiseen. Ratojen olosuhde-eroja pyrittiin ilman toivottua vaikutusta tasoittamaan regressiolaskennan keinoin. Jatkovana muuttujana käsitellyn kuormakoon kuvaaja käyttäytyy sikäli loogisesti, että se saattaa myös olla osa kuvan 13 käyrien nousevaa osaa. Tällöin kuormakokoa lisääntäessä olisi päädytty samanmuotoiseen riippuvuuteen.

Joissakin kokeiluissa on saatu merkittävästi pienempiä raiteita kuorman kokoa pienentämällä (esim. Löfgren ym. 1996, Saunders ja Ireland 1991). Voidaan arvioida, että maaperä ja ajokäytäntö vaikuttavat erilaisilla kuormankoilla saatavaan raidesyvyyteen.



Kuva 13. Kuorman koon vaikutus raiteenmuodostukseen Högnäsin (1985c) mukaan, kun kuljetettava puumäärä on 12,5 ja 25,0 m³. Tasoitus kuormankokoista kuvaajista on tehty funktiosovituksella.

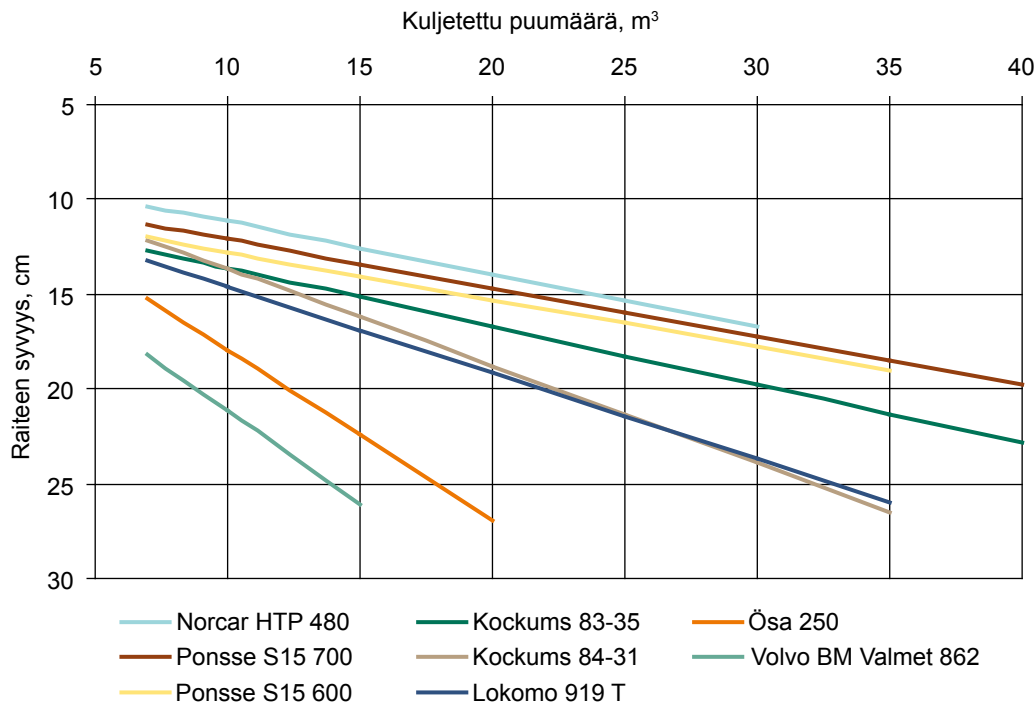


Kuva 14. Kuorman koon vaikutus raidesyvytyteen Asmuntin maastokokeissa. Kuljetettu puumäärä 30 tonnia. ”Jatkuva”-vaihtoehdossa kuorman kokoa on laskennassa käsitelty jatkuvana muuttujana ja ”Luokittelu”-vaihtoehdossa luokittelumuuttujina. Keskiarvo tarkoittaa kuormakoon mittaushavaintojen keskiarvoa.

Selvää ohjetta kuorman säätelystä ei voi siis tutkimusten perusteella antaa. Peukalosääntönä kuormaa kannattaa pienentää, mikäli riskinä on kantavan pinnan murtuminen ja voimakas raiteenmuodostus. Muutoin on syytä minimoida ajokertojen määrää ajamalla reilunkokoisilla kuormilla.

3.2.2 Urakohtaisten ajokertojen säätely

Ajokertojen lukumäärä on tunnetusti raiteenmuodostusta ajatellen aivan ratkaiseva (kuva 15). Yleensä maaperä kestää yhden tai kaksi ajokertaa, ja vaikeudet ilmenevät niiden jälkeen. Näin ollen ajaminen kannattaa hajauttaa mahdollisimman tasaisesti ajouraverkolle. Ongelmana ovat erityisesti varastolle johtavat urat. Ajokertojen vähentämismahdollisuuteen vaikuttaa kuitenkin ratkaisevasti se, kuinka ajouraverkko on suunniteltu.



Kuva 15. Kuormatraktoreiden raiteenmuodostus rämemännikön ensiharvennuksessa. Kuva on laadittu lissä vuonna 1984 järjestetyn kokeen tulosten perusteella (Sirén ym. 1987).

3.2.3 Ajoalustan vahvistaminen

Suollakin vakavia kantavuusongelmia esiintyy usein vain pienellä osalla ajouria esimerkiksi vetisyiden tai ajouran kovan kuormituksen takia. Joskus kriittinen alue voi olla hyvinkin lyhyt (notko, ojan tai puron ylityspaikka, varastolle johtava ura tms.). Jos kantavuus on erityisen heikko tai uran kuormitus hyvin suuri etukäteen paikallistettavissa olevissa ajouraverkon kohdissa, voidaan ajoalustaa erityisesti vahvistaa. Käytännön ajoalustan vahvistustoimenpiteitä ovat:

- havutus
- kuitupuutelan rakentaminen
- siirrettävien pitkospuiden käyttö
- kevytsillan rakentaminen
- siirrettävän sillan käyttö.

Havutuksessa ajouran pehmeisiin paikkoihin tai kovan kuormituksen kohteiksi joutuviin kohtiin levitetään hakkuutähteitä. Todella pehmeisiin paikkoihin alle voi laittaa kuitupuupölkkyjä. Havutustarve otetaan huomioon jo hakkuuvaiheessa kokoamalla hakkuutähteet suoraan ajouran kantavuudeltaan heikoimpiin kohtiin tai kasoihin kuljetusta varten. Suomen oloissa muun vah-

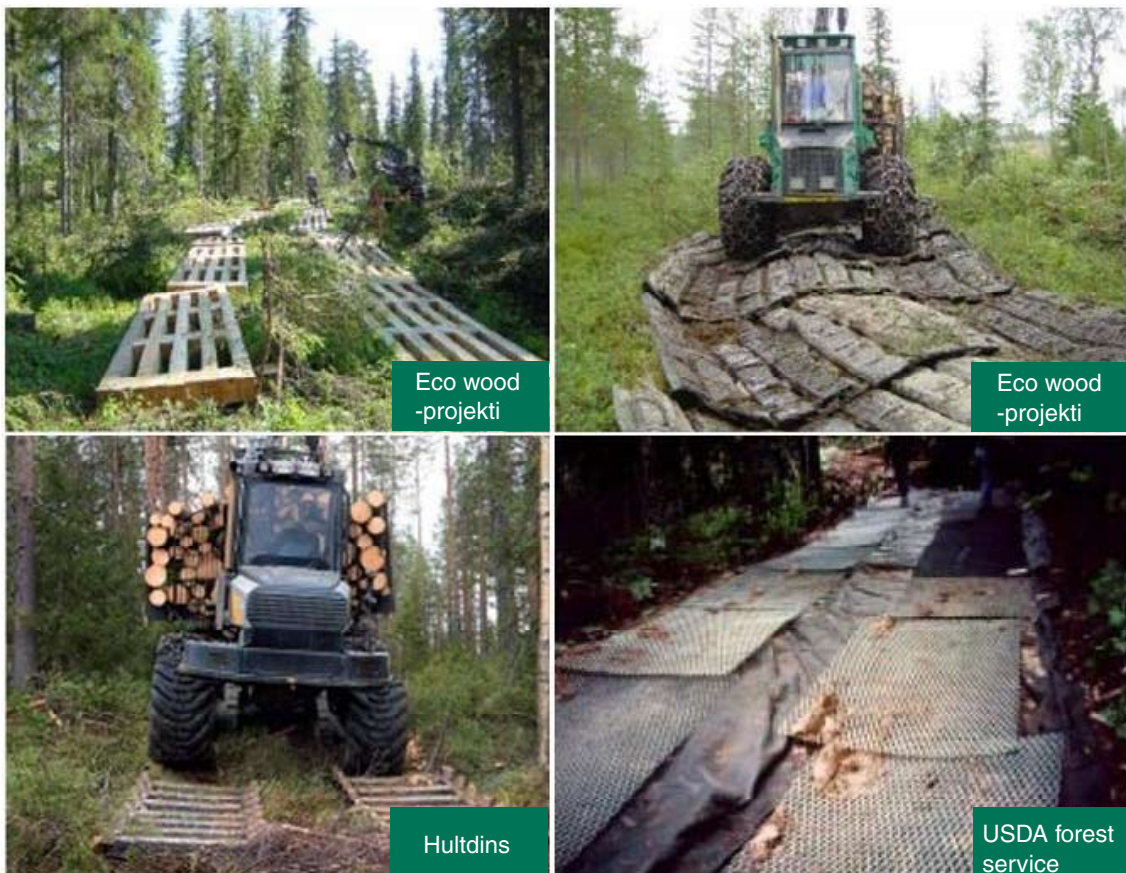
vistusmateriaalin käyttö ei yleensä tule kysymykseen. Esimerkiksi Britanniassa on tarkoitukseen kokeiltu haketta, olkia ja kankaita (ks. Saunders ja Ireland 1991).

Kuitupuutela rakennetaan latomalla pölkkyjä uraa nähden poikittain. Tarvittaessa alle laitetaan pölkkyjä pitkittäin ja havuja laverin päälle. Telan rakentamiseen kannattaa käyttää arvoltaan vähäisintä puutavaraa.

Ajoalustan vahvistamiseen on myös käytetty siirrettäviä lavoja tai pitkospuita. Myös Metsähallitus on kokeillut pitkospuiden käyttöä (Lassila 2002). Samassa kokeessa kokeiltiin myös rengasmattoja ja havutusta. Pitkospuilla pystyttiin vähentämään maaperän vaurioitumista merkittävästi sekä kivennäis- että turvemaalla. Rengasmattoja käytettäessä maaperän vaurioituminen oli pitkospuita voimakkaampaa, mutta kuitenkin vähäisempää kuin kohtalaisella ajouran havutuksella.

Ruotsissa on tarjolla useita maastovaurioiden vähentämiseksi tarkoitettuja lavamalleja (Thor 2000). Koneyrittäjä Alf Anderssonin kehittämässä ”Markskonaren Alf” mallissa käytetään 4,7 metriä pitkiä ja 0,75 metriä leveitä puulavoja. Koneketjulle riittää yleensä 4–6 lavaparia. Hultdin System AB on vasta tuonut markkinoille teräksestä valmistetun vastaavanlaisen ratkaisun (Hultdins Terrängbro... 2007).

USDA Forest Servicen julkaisussa ”Temporary stream and wetland crossing options for forest management” -julkaisussa (Blinn ym.1998) on kuvattu joukko puoli- tai kokonaan siirrettäviä puu-, kumi-, muovi- ja metallialustoja.



Kuva 16. Siirrettäviä ajoalustan vahvistamisratkaisuja (Owende ym. 2002, Hultdins Terrängbro 500 2007, Blinn ym. 1998).



Kuva 17. Siirrettäviä siltoja (Temporary stream crossing 2007, Panel Lam skidder mats 2007).

Eräs tapa lisätä uran keskimääräistä kantavuutta on upottavien kohtien väistäminen ajouria avattaessa. Mahdollisuudet tähän ovat valmiiksi rajatussa leimikossa usein suhteellisen pienet, mutta keino kuuluu kuitenkin pehmeällä selviytymisen työkalupakkiin.

Jos oja tai puro on ylitettävä, voidaan pölkyistä rakentaa telan sijasta ns. kevytsilta asettelemalla pölkylaveri muutaman ojan yli sijoitetun pölkyn päälle. Rakenne vaihtelee ylitettävän kohdan pituuden mukaan.

Kevytsillan vaihtoehtona on siirrettävä silta. Weholite-silta on polyeteenistä valmistettu metsätraktorilla siirrettävä leveä holvikaari, joka laitetaan ojan yli. Siltaa on saatavana 2,0, 2,5 ja 3,0 metrin pituisena. Sillan leveys on 4,0 metriä. Siltaa voi käyttää ojien, polkujen tms. ylityksissä sekä metsätielle noustessa. Sillan käyttöä on tutkittu Kanadassa KWH Pipen ja FERICin yhteisessä projektissa (Temporary stream... 2007). Myös muita siirrettäviä siltakonsepteja löytyy markkinoilta.

Metsähallituksen projektissa (Lassila 2002) verrattiin myös erilaisten ajoalustan vahvistustoimenpiteiden kustannuksia. Kiinteät kustannukset pitkospuista olivat 0,37 euroa kuljetettua kuutiometriä kohti ja rengasmatoista 0,54 euroa/m³. Pitkospuiden käsittelyn ajanmenekkiä perusteella lasketut muuttuvat kustannukset olivat 0,69 euroa asetettua pitkospuometriä kohden ajoneuvon sivulta asetettuna ja 0,93 euroa/m ajoneuvon edestä asetettuna. Rengasmatoista lasketut vastaavat kustannukset olivat 0,89 euroa/m ja 1,19 euroa/m.

SkogForsk on arvioinut ajoalustan eri vahvistusratkaisujen käytännön pituudet, kustannukset ja kestot. Tulokset on koottu taulukkoon 2.

Taulukko 2. Ajoalustan eri vahvistusratkaisujen käytännön pituudet, kustannukset ja kestot (Staland ja Larsson 2002).

| Ratkaisu | Käytännön enimmäispituus | Kustannus | Kesto |
|-------------------------------|--|---|--|
| Havutus | Noin 10 metriin asti | Muodostuu metsätraktorin havujen kuljetukseen käyttämästä ajasta, joka vaihtelee tilanteen mukaan | Havut kuluvat verraten nopeasti, minkä vuoksi niitä pitää määräväleihin lisätä |
| Kuitupuutela | Voi olla hyvinkin pitkä, mutta käytännön raja noin 40 metriä (kaksi traktorikuormaa) | Noin 15 euroa metriltä yhteensä puutavarasta ja työstä edellyttäen, että puutavara saadaan ylityskohdan läheltä | Kestää oikein rakennettuna suurtenkin leimikoiden ja puumäärien kuljetuksen |
| Pitkospuut (Markskonaren Alf) | Ojan ylityksessä noin 3 metriä, heikosti kantavalla maalla 30 metriin asti | Valmistajasta riippuen 180–260 euroa/kpl | Yli 5000 m ³ |
| Weholite-silta | Sillan pituus 4 m | Luokkaa 1300–1900 euroa | Ei tiedetä, koska menetelmästä ei ole juurikaan kokemusta |

3.3 Suositukset

3.3.1 Välittömät toimenpiteet

On oleellista ymmärtää, että turvemaidella on aina joitakin konetyöskentelyn kannalta kriittisiä kohtia. Konekehittelyä yksinkertaisempi tapa selvittää tästä ongelmasta on korjuuolosuhteiden parantaminen ja konetyöskentelyn sopeuttaminen. Näihin liittyen löytyy joukko keinoja, kuten kuorman koon ja ajokertojen säätely sekä erilaiset ajoalustan vahvistamistoimenpiteet. Joukkoon kuuluvat myös leimikon rajausta sekä varastopaikkojen ja ajourien sijoittelu (ks. kohdealue 3, s. 26).

Korjuuolosuhteiden parantaminen ja konetyöskentelyn sopeuttaminen ovat pohjimmiltaan yksinkertaisia asioita, jotka tosin pitää toteuttaa kunnolla. Koulutuksen avulla saadaan huomiota asialle ja sen kautta asennemuutosta aikaiseksi. Kirjoittajat esittävätkin, että yhdessä metsäoppilaitoksen kanssa suunnitellaan ja toteutetaan puunkorjuuryityksille ja niiden kuljettajille tarkoitettu ”turvemaaleimikon toteutus” -kurssi. Koordinaattorina voisi toimia Metsäteho, jolloin samalla uudistettaisiin nykyinen turvemaiden puunkorjuuta koskeva opas (Ojitusalueiden puunkorjuu... 1998).

3.3.2 Tuki- ja pitemmän aikavälin toimenpiteet

Turvemaiden puunkorjuuongelman ratkaiseminen pelkästään konekehittelyn avulla on valitettavan vaivalloinen tie. Nopeammin tuloksiin päästään todennäköisesti konetyöskentelyä sopeuttamalla. Kirjoittajat esittävät erilaisten ajoalustan vahvistamisratkaisujen kokeilua paikallisina hankkeina.

4 Kohdealue 3. Suunnittelun kehittäminen

4.1 Taustaa

Suunnittelu on monitasoista ja se liittyy eri tavalla turvemaiden puunkorjuuseen. Tässä yhteydessä tarkastellaan seuraavat suunnitteluun liittyvät asiat:

- kohteiden korjuukelpoisuus
- leimikko- ja työmaasuunnittelu
- korjuun ajoitus.

Tarkastelu perustetaan pääasiassa Metsähallituksessa olevaan tietoon. Turvemaiden puunkorjuun suunnittelun ja toteutuksen parhaat käytännöt on keskeisiltä osin dokumentoitu vasta valmistuneessa opinnäytetyössä (Ojasalo 2007). Kantavuuden ennustamisesta ja kohteiden luokitukselta saatiin tietoa Asmuntin kokeiden yhteydessä tehdyn toisen opinnäytetyön kautta (Lamminen 2008b).

4.2 Kehittämismuutosten tarkastelu

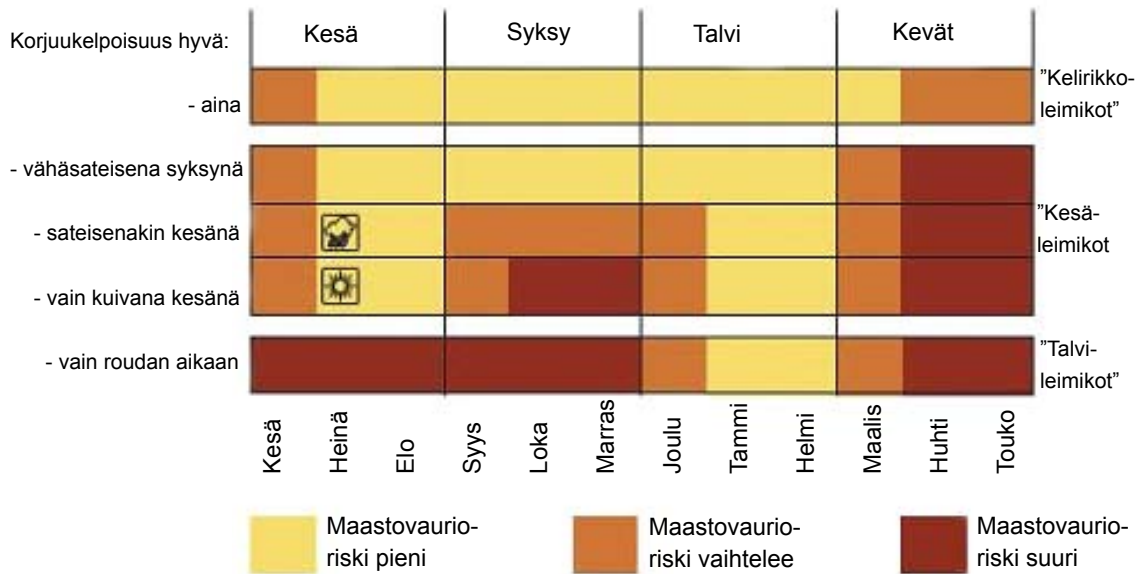
4.2.1 Kohteiden korjuukelpoisuus

Lohkojen korjuukelpoisuuden luokittelun kehittäminen on välttämätöntä, jos sulan maan ajan puunkorjuuta turvemailla halutaan lisätä. Yhdistettynä metsäkoneiden suokelpoisuusluokitteluun se tukee puunkorjuun suunnittelua ja toteutusta, helpottaa urakointia ja antaa eväät konekehittelylle. Luokitus todennäköisesti myös tukee yksityismetsien puukauppaa.

Perinteistä luokitteluakin on yritetty täydentää. Esimerkiksi Metsätehon julkaisemassa Korjuujälki harvennushakkuussa -oppaassa (2003) on esitetty viisiportainen luokittelu, jossa sulan maan aikana korjuukelpoiset leimikot on jaettu kolmeen luokkaan (kuva 18). Kesäleimikoiden luokittelun tarkentajana käytetään sateen määrää.

Turvemaiden sulan maan ajan kantavuuteen vaikuttaa monta osittain toisistaan riippuvaa tekijää (Ala-Ilomäki 2005, Eeronheimo 1991):

- kohteen sijainti, ojen kunto, sademäärää => pohjaveden taso
- puusto, varvut ja pintakasvillisuus => kasvillisuus
- turpeen alkuperä ja maatuneisuus => turpeen laatu



Kuva 18. Maapohjan kantavuuteen perustuva 5-portainen korjuukelpoisuusluokitus, joka vastaa Etelä-Suomen olosuhteita (Korjuujälki harvennushakkuissa 2003).

Asmuntin maastokokeissa testattiin joukko turvemaiden kantavuuden selittäjiä: maan leikkauslujuus ja kimmokerroin, kohteen ruohoisuus, mättäisyys ja varpuisuus, puuston määrä, hakkuutähteen määrä, pohjaveden taso sekä turpeen paksuus. Kovin vahvoja selittäjiä ei kuitenkaan löytynyt kummastakaan kohteesta. Parhaita selittäjiä peltokohteessa olivat leikkauslujuus, turpeen syvyys, varpuisuus ja metsäkohteessa vastaavasti puuston määrä, leikkauslujuus ja pohjaveden taso.

Yleensä sademäärää pidetään hyvänä leimikoiden korjuukelpoisuuden selittäjänä. Turvemaiden sateen vaikutus kantavuuteen ei välttämättä ole kovin jyrkkä. Esimerkiksi Ala-Ilomäen (2006) tutkimuksissa suon pohjavesipinta on pysynyt useimmilla soilla korkealla koko sulan maan ajan, vaikka sademäärissä oli kuukausittaista vaihtelua. Jotta kuivumista tapahtuisi ja korjuukelpoisuus paranisi turvemaiden, saatetaan vaatia hyvinkin pitkä kuiva jakso. Toki ojien kunnolla on tällöin vaikutusta kuivumiseen. Kaiken kaikkiaan turvemaiden korjuukelpoisuuden luokituksen perustaminen pelkästään sateen määrään on arveluttavaa.

Käytännön luokitusjärjestelmän rakentamista ajatellen täytyy kiinnittää huomiota tekijöiden määrityksen operationaalisuuteen. Toivottavaa on, että tieto olisi olemassa tai helposti lisättävissä kuviotietokantaan ilman monimutkaisia ja kalliita määrittämiä. Tällainen tekijä on puuston määrä, joka löytyy suoraan kuviotietokannasta.

Puuston määrä ei ollut metsäkohteessa mikään voimakas raiteensyvyyden selittäjä, mutta kuitenkin merkittävä tekijä ja olosuhtetekijöistä tärkein. Tekijä on myös varsin looginen:

- Runsaan puuston myötä kohteessa on myös vahva ja kantava juuristo.
- Runsas puusto on voinut kasvaa vain, jos kohde on suhteellisen kuiva, mikä yleensä tarkoittaa hyvää kantavuutta.
- Runsas puusto haihduttaa paljon vettä, jolloin kohde pysyy kuivempana.
- Runsaan puuston myötä hakkuukertymä on yleensä suuri, jolloin kertyy enemmän maanpintaa vahvistavia hakkuutähteitä.

Eräs asia, joka voi hiukan vaikeuttaa puuston määrän käyttöä luokittelun perustana on se, että puuston määrällä ja ajourien kuormituksella on yhteys. Runsas puusto merkitsee suurta hakkuupoistumaa, mikä lisää ajokertoja. Asia ei estä puuston käyttöä luokituksessa, mutta se on otettava huomioon luokkien rajoja määritettäessä.

4.2.2 Leimikko- ja työmaasuunnittelu

Suunnitteluvaiheessa leimikon sulan maan puunkorjuun onnistumiseen voidaan vaikuttaa oikean rajauksen avulla. Turvemaaleimikot ovat tähän mennessä olleet pääsääntöisesti talvileimikoita, minkä vuoksi kantavuutta ei ole juuri rajauksessa tarvinnut ottaa huomioon. Sulan maan leimikoiden heikoimmin kantavat kohdat rajataan kokonaan puunkorjuun ulkopuolelle samalla tavalla, kuin erilaiset luontokohteet. Pehmeikköpaikat ovat yleensä vähäpuustoisia, joten suuria menetyksiä ei tästä tule. Lisäksi menettely lisää metsänkäsittelyyn monimuotoisuutta.

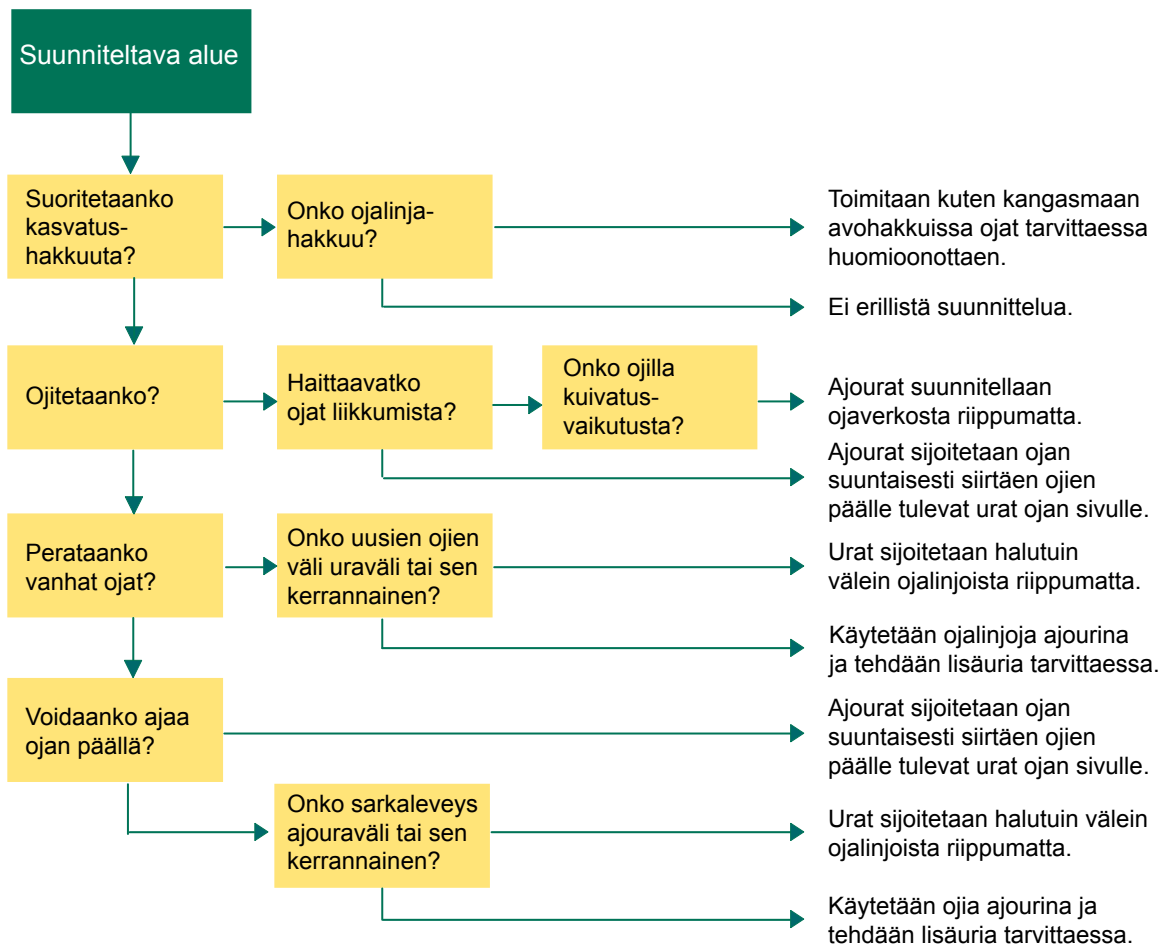
Työmaasuunnitteluun liittyy erityisesti varastopaikkojen ja ajourien sijoittelu. Ajourien sijoittelu on paljon pohdittu aihe. Metsähallituksen kehittämisjaostossa laadittiin asiasta 1980-luvun puolivälissä kuvassa 19 esitetty päätösmalli (Högnäs 1985d). Malli pohjautuu miestyöhakkuun käyttöön. Malliin on sisällytetty hyvin monenlaisia vaihteita. Käytännössä tilanne yleensä on pelkistettympi. Lähinnä arvioitaviksi tulevat seuraavat vaihtoehdot:

- ajourat ojalinjosten suuntaisesti
 - ajo ojalinjosten päällä ja keskisaralla
 - ajo ojalinjosten vieressä ja keskisaralla
 - ajo noin viisi metriä ojalinjosten ulkopuolella ja keskisaralla
 - ajo ojalinjosten päällä ja hakkuu-uran käyttö keskisaralla
- ajourat kohtisuoraan ojalinjastoa vastaan
 - ajouraväli vakiokäytännön mukainen (20 m)

Valintaan vaikuttaa korjuun vuodenajan lisäksi mahdollinen ojien perkaaminen. Lisäksi joudutaan arvioimaan onko oja niin kantava, että sen päällä voidaan ajaa, vai onko järkevää ajaa ojan vieressä tai kokonaan ojalinjan ulkopuolella.

Laajassa toimihenkilöhaastattelussa, jossa kerättiin tietoa ojitusaluiden puunkorjuun suunnittelun ja toteutuksen parhaista käytännöistä, käsiteltiin myös ajourien sijoittelua (Ojasalo 2007). Tilanteessa, jossa tehtiin kunnostusojitusta, nähtiin parhaaksi käytännöksi sekä talvi- että kesäkorjuussa ajourien sijoittaminen ojalinjosten suuntaisesti ja ajo ojalinjosten päällä ja keskisaralla (taulukko 3). Jos kunnostusojitusta ei tehty, parhaaksi käytännöksi nähtiin talvikorjuun osalta ajourien sijoittaminen ojalinjosten suuntaisesti siten, että ajetaan joko ojalinjosten vieressä ja keskisaralla tai viisi metriä ojalinjosten ulkopuolella ja keskisaralla. Kesäkorjuussa suosittiin jälkimmäistä tapaa.

Kesäaikaisessa puunkorjuussa on tärkeää ratkaista, voidaanko ajaa ojan päällä vai onko avattava ura ojien vieressä. Ojan päällä voi olla erittäin hyvä ajaa, jos se on kuiva ja penkat ovat kantavat. Sen sijaan märkä oja vettyneillä penkoilla voi johtaa koneen pahaan kiinnijuttumiseen. Tämä nähtiin muun muassa Asmuntin kokeissa. Erityisen varovainen kannattaa olla ojien risteysten kohdalla.



Kuva 19. Päätösmalli ajourien sijoittelua varten (Högnäs 1985d).

Sirén ja Tantu (2001) vertasivat ojitusalueiden korjuukustannuksia käyttämällä rämemännikön ensiharvennuksessa kahta erilaista menetelmää. Ensimmäisessä menetelmässä käytettiin 20 metrin ajouraväliä siten, että ojavälin ollessa 40 metriä ajourat sijoitettiin ojien päälle ja keskelle sarkaa. Myös hakkuu tehtiin näiltä urilta. Toisessa menetelmässä ajourat olivat myös ojien päällä. Lisäksi keskelle sarkaa sijoitettiin kaksi ojalinjojen suuntaista hakkuu-uraa. Hakkuumenetelmiä vertailtiin yhdistelemällä korjuukustannukset ja korjuujäljen seurauskustannukset. Seurauskustannukset muodostuivat ajourien urapainaumista ja puustovaurioista. Tulosten perusteella hakkuumenetelmien kustannuserot olivat pieniä, 20 metrin ajouravälin kustannusten kuitenkin alittaessa niukasti hakkuu-ura menetelmän kustannukset.

Sulan maan aikaisen puunkorjuun onnistumisen kannalta ajourien sijoittelumallia tärkeämpiä asioita ovat kantavien paikkojen hyödyntämisen maksimointi ja ajouralle tulevien ajokertojen minimointi. Itsestään selvää on, että kivennäismaan saarekkeitä ja suon reunoja kannatta hyödyntää niin paljon kuin mahdollista erityisesti paljon kuormitettujen ajourien osalta (esim. varastoille tulo). Ajokertojen määrä uralla on raiteenmuodostuksen kannalta ratkaisevan tärkeä. Tämän vuoksi varastotila on suunniteltava siten, että pinot voidaan sijoittaa hajautetusti pitkin tienvarsia. Ellei voida nousta tielle, hakataan tieojan viereen kaistat kuorman purkua varten. Ajouraverkosto, jossa on lyhyet ajourat ja paljon yhdysuria vähentää kulkemistarvetta ja auttaa hajauttamaan ajokerrat eri urille.

Taulukko 3. Metsähallituksen toimihenkilöiden näkemykset eri ajourien sijoittelumallien soveltuvuudesta (Ojasalo 2007). Asteikko: 1="täysin eri mieltä"...5="täysin samaa mieltä".

| Ajourien sijoitusmalli | Kunnostusojitus | | Ei kunnostusojitusta | |
|--|-----------------|------|----------------------|------|
| | Talvi | Kesä | Talvi | Kesä |
| Ajourat ojalinjojen suuntaisesti: ajo ojalinjojen päällä ja keskisaralla | 4,4 | 3,2 | 2,4 | 2,1 |
| Ajourat ojalinjojen suuntaisesti: ajo ojalinjojen vieressä ja keskisaralla | 2,7 | 2,8 | 3,2 | 2,8 |
| Ajourat ojalinjojen suuntaisesti: ajo noin viisi metriä ojalinjojen ulkopuolella ja keskisaralla | 2,4 | 3,1 | 3,2 | 3,5 |
| Ajourat ojalinjojen suuntaisesti: ajo ojalinjojen päällä ja hakkuu-uran käyttö keskisaralla | 3,5 | 2,7 | 2,5 | 1,9 |
| Ajourat kohtisuoraan ojalinjastoa vastaan: ajouraväli vakiokäytännön mukainen | 1,8 | 1,8 | 1,8 | 1,8 |

4.2.3 Korjuun ajoitus

Miestyöhakkuukautena hakkuu tehtiin usein syksyllä sulan maan aikana puutavarakasoja liputtuen. Maastokuljetus tapahtui talvella maan jäädyttyä. Onnistuneen talvikorjuun edellytyksenä pidetään joko 20 senttimetrin routakerrosta lumettomassa maassa tai 40 senttimetrin lumipeitettä.

Perinteistä kasojen liputusta ei mielletä sopivaksi konehakkuun aikakauteen. Nykyään on kuitenkin saatavana modernia teknologiaa kasojen paikantamiseksi. Esille on tullut esimerkiksi kasojen merkkäminen RFID-sirulla tai kasojen tarkan sijainnin määrittäminen ja paikantaminen GPS-tekniikkaa hyväksikäyttäen.

Korjuuvaiheiden ajallisen porrastuksen tuomaa etua voidaan myös hyödyntää sulan maan kauden puitteissa. Esimerkiksi erityisen kuivat kesät ja syksyt tekevät maastokuljetuksen ojitusalueilla mahdolliseksi. On havaintoja, että turvemaan pinta voi olla syksyllä sitkeä ja hyvin kuormitusta kestävä, mikäli ei ole satanut runsaasti. Tällöin voidaan ajatella, että hakkuu tehtäisiin alkukesästä ja ajo syksyllä vielä paljaan maan aikana, jolloin kasojen merkkäustarvetta ei ole. Kuivan kesän aikana puutavara lisäksi kuivuu, jolloin kuljetettava massa ja sen myötä myös ajourien rasitus vähenevät.

Yrittäjälähteenä on esitetty kokeiltavaksi menetelmää, jossa hakkuu ja ajo kuormankokoisiin lajittelemattomiin muodostelmiin tehtäisiin syksyllä paljaan maan aikana. Kuljetus muodostelmista tapahtuisi maan jäädyttyä. Muodostelmat merkittäisiin kartalle, jotta ne kuljetuksessa löytyisivät. Kasat esitetään myös maastossa kuitunauhalla merkattaviksi, mutta se voi olla tarpeetonta kasojen suuren koon vuoksi (Turvemaisten puunkorjuu 2006).

Useita korjuun ajalliseen porrastukseen perustuvia korjuumalleja on siis olemassa. Näitä kannattaa varmasti paikallisesti kehittää korjuuryitysten ja puunhankkijoiden kesken käytössä olevien kalusto- ja kuljettajaresurssien mahdollisimman tehokkaan hyödyntämisen näkökulmasta. On kuitenkin jossain määrin kyseenalaista, löytyykö laajemmin ratkaisua pehmeän maan korjuu-ongelmiin ajalliseen porrastukseen perustuvan konseptin pohjalta. Kaksivaiheinen toimintamalli tuo mukanaan ylimääräisiä järjestelyjä ja vaikeuttaa toimitettavan puutavaran laatuun ja varastotasoon liittyvien tavoitteiden saavuttamista.

4.3 Suositukset

4.3.1 Välittömät toimenpiteet

Turvemaiden puunkorjuun kehittämisen avain on todennäköisesti yksinkertaisen kantavuuden arviointi- ja luokitusjärjestelmän luominen luokkakohtaisine kalustovaatimuksineen. Projektissa kehitettiin turvemaiden luokituskonsepti käytettäväksi yhdistettynä aikaisemmin esitettyyn metsäkoneiden suokelpoisuusluokitukseen (taulukko 1, s. 17).

Luokitus perustetaan turvemaakuvion puuston kokonaismäärään hehtaarilla. Puuston määrärajojen asettaminen eri kantavuusluokille on ongelmallista. Periaatteessa ne pitäisi asettaa niin, että ne johtavat eri luokissa käytettävällä kalustolla hyväksyttävään korjuujälkeen. Asuntin kokeiden aineistoa pyrittiin rajojen asettamisessa hyödyntämään. Aineiston koealakohtaisen puuston vaihtelun perusteella lasketut puustorajat eivät kuitenkaan kohdetasolla toimineet. Rajat jouduttiin sen vuoksi paljolti arvioimaan. Arvioinnin tueksi keskusteltiin Metsähallituksen Pohjanmaa-Kainuun alueen korjuun ammattilaisten kanssa ja tehtiin esimerkkikohteissa joitakin koemittauksia. Selvä on, että rajoja tulee tarkentaa kokemuksen myötä.

On myös joukko muita tekijöitä, jotka kertovat suon kantavuudesta, mutta joiden mittaaminen ja vaikutuksen mallintaminen on nykytiedon pohjalta hankalaa. Nämä tulee ottaa arvionvaraisesti huomioon puuston määrään perustuvan luokituksen tarkentajina. Tällaisia tekijöitä ovat havaittava pintavetisyys ja märkyys, oijen kunto, puulajisuhteet, ruohoisuus ja varpuisuus.

Vaikka sateen vaikutus turvemaan kantavuuteen ei välttämättä ole kovin jyrkkä, tiedetään, että pitkä kuiva kausi parantaa selvästi turvemaakohteiden korjuumahdollisuuksia. Ennakkoluokituksessa sateen määrää ei voida ottaa huomioon, mutta se voi olla tekijä, joka nostaa kantavuusluokkaa toteutusvaiheessa.

Kuten aikaisemmin todettiin, turvemaille on tyypillistä, että kantavissakin oloissa on kohtia, jotka muodostuvat korjuujäljen ja konekaluston liikkuvuuden kannalta kriittisiksi. Näiden ottaminen huomioon suoraan luokituksessa ei ole mahdollista. Luokituksessa lähdetään siitä oletuksesta, että ongelmakohtissa panostetaan aikaisempaa enemmän esimerkiksi ajoalustan vahvistamiseen.

Esitys kokeiltavaksi turvemaiden kantavuuden luokitusjärjestelmäksi on esitetty taulukossa 4. Kantavuusluokka kuvaa olosuhdetta, jossa tiettyä suokelpoisuutta omaavalla kalustolla talvileimikko voidaan korjata sulan maan aikana. Kantavuusluokkaa voidaan siten lohkotiedoissa käyttää korjuukelpoisuusluokan lisämääritteenä (esim. 3/2 = talvileimikko/edellyttää sulan maan aikana kantavaa varustusta).

4.3.2 Tuki- ja pitemmän aikavälin toimenpiteet

Kehitely metsäkoneiden suokelpoisuus- ja turvemaiden kantavuusluokituskonsepti esitetään otettavaksi koekäyttöön organisaatiokohtaisilla koehankkeilla. Etenemistapa edellyttää, että koekäytön tueksi asetetaan projekti tai työryhmä, joka koordinoi toimintaa, seuraa tuloksia ja kehittää luokitusta edelleen. Ensimmäinen toimenpide on intressitahojen sitouttamiskierros, jonka perusteella luokituksia voidaan edelleen sovittaa. Tämän jälkeen organisaatiokohtaiset koehankkeet pitäisi saada liikkeelle. Työtä voitaisiin tehdä Metsätehon koordinoimana.

Taulukko 4. Turvemaiden kantavuusluokitus.

| Kantavuusluokka | Turvemaakuvioiden ohjeellinen kokonaispuuston määrä, m ³ /ha | Vaadittava korjuukaluston suokelpoisuustaso |
|-----------------|---|---|
| 0 | yli 220 | Vakio |
| 1 | 220 ... 170 | Parannettu |
| 2 | 170 ... 120 | Kantava |
| 3 | 120 ... 0 | Superkantava |

Korjaustekijät:

- Mikäli esiintyy huomattavaa pintavetisyyttä tai märkyyttä (pohjavesi enintään 25 cm suon pinnasta), käytetään yhtä luokkaa heikompa kantavuutta
- Myös muut tekijät, joilla voidaan arvioida vaikuttavan kantavuuteen voidaan luokituksessa ottaa huomioon (esim. oijen kunto, puulajisuhteet, varpuisuus/ruohoisuus)
- Uudistushakkuissa puuston määrärajoja käytetään soveltaen
- Jos korjuuta on edeltänyt vähintään 1,5 kk kestänyt kuiva kausi, suunnittelutietojen kantavuus nousee toteutuksessa yhdellä luokalla
- Luokituksessa oletetaan, että raskaasti kuormitetut ja/tai pienialaiset upottavat ajouran kohdat vahvistetaan (havutus, kuitupuutela, pitkospuut, kevytsillat tms.) tarpeen mukaan tai että kriittiset kohdat pystytään hyvällä suunnittelulla tai ajotekniikalla muuten hallitsemaan

Lähteet

- Ala-Ilomäki, J. 2005. Metsäisten turvemaiden kulkukelpoisuus. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 98–111.
- Ala-Ilomäki, J. 2006. The effect of weather conditions on the trafficability of unfrozen peatlands. *Metsanduslikud Uurimused - Forestry Studies* 45: 57–66.
- Blinn, C.R., Dahlman, R., Hislop, L. & Thompson, M.A. 1998. Temporary stream and wetland crossing options for forest management. USDA Forest Service. North Central Research Station. General Technical Report NC-202. 61 s.
- Byl, M. & Högnäs, T. 1985. Kokemuksia ylläpidon renkaiden käytöstä metsäkoneissa Pohjois-Amerikassa. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koeselostus 225. 12 s.
- Eeronheimo, O. 1991. Suometsien puunkorjuu. *Folia Forestalia* 779. 29 s.
- Eliasson, L. 2005. Effects of forwarder tyre pressure on rut formation and soil compaction. *Silva Fennica* 39(4): 549–557.
- Harvesting systems. 2007. USDA Forest Service. North Central Region. Forest management guides. http://www.ncrs.fs.fed.us/fmg/nfmg/fm101/silv/p3_harvest.html
- Hultdins Terrängbro 500. 2007. Portabel terrängbro för skogsbruket. Hultdin System AB:n esite.
- Hänninen, T. & Kumpare, T. 1986. Farmi Trac -telamaasturi harvennuspuun kuljetuksessa. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koeselostus 232. 7 s.
- Hänninen, T. & Mustonen, A. 1988. Kokemuksia Meri Trackmo 100 -suotelatraktorista. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Tiedote 3/1988.
- Högnäs, T. 1983. Ponsse S15 -metsätraktorin suokelpoisuus. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koeselostus 186. 8 s.
- Högnäs, T. 1985a. Bruun Twoo Compact -metsätraktori. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koeselostus 220. 11 s.
- Högnäs, T. 1985b. Selvitys ilmanpaineiden vaikutuksesta Parkanossa 25.–27.6.1985 järjestetyssä suokelpoisuuskokeessa. Metsähallitus, kehittämisjaosto. PM 11/85. 6 s.
- Högnäs, T. 1985c. Kuorman koon vaikutus metsätraktorin raidesyvyyteen. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koeselostus 217. 19 s.

- Högnäs, T. 1985d. Ojitusalueiden puunkorjuu. Metsähallitus, kehittämisjaosto. PM 13/85. 12 s.
- Högnäs, T. 1986a. Harvennuspuutavaran kuljetus Jermu-telamaasturilla. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koeselostus 230. 11 s.
- Högnäs, T. 1986b. Havaintoja metsätraktorin telan dynaamisista ominaisuuksista. Metsähallitus, kehittämisjaosto. PM 7/86.
- Högnäs, T. 1986c. Gislaved Moccasin -telasta. Metsähallitus, kehittämisjaosto. PM 9/86. 4 s.
- Högnäs, T. 1997. Puunkorjuu turvemaalla. Metsähallituksen aikaisemman kokeilutoiminnan tuloksia. Metsähallitus. Metsätalouden kehittämissyksikön tiedote 2. 12 s.
- Jonsson, M. 2006. Spår djups mätning efter Valmet 890 med boggieband – Magnum och Ecotrack HS, Arbetsrapport från Skogforsk 613.
- Korjuujälki harvennushakkuissa. 2003. Metsätehon opas. 36 s.
- Kumpuniemi, P. 1985. Metsätraktorin telan vaikutus korjuuvaurioihin. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Tutkimusselostus 143. 57 s.
- Lamminen, S. 2008a. Raiteistumista selittävät tekijät turvemaiden puunkorjuussa. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen -projektin tulosraportti 2. Metsähallitus. 53 s.
- Lamminen, S. 2008b. Raiteistumista selittävät tekijät turvemaiden puunkorjuussa. Pro gradu -työ. Joensuun yliopisto. Käsikirjoitus. 54 s.
- Lassila, K. 2002. Ajouran mekaaninen vahvistaminen puunkorjuussa maaperävaurioiden vähentämiseksi. Pro gradu -tutkielma Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitokselle. 68 s.
- Löfgren, B., Landström, M. & Nordén, B. 1996. CTI för terrängtransporter i skogss bruket. Skogforsk. Resultat 25. 4 s.
- Ojasalo, J. 2007. Ojitusalueiden puunkorjuun suunnittelu ja toteutus. Toimihenkilöhaastattelun tulokset. Eriaikainen puunkorjuu -projektin tulosraportti. Moniste.
- Ojitusalueiden puunkorjuu. 1998. Metsätehon opas. 28 s.
- Owende, P.M.O., Lyons, J. & Ward, S.M. 2002. Operation protocol for eco-efficient wood harvesting on sensitive sites. Ecowood-projekti. Moniste. 74 p.
- Panel Lam skidder mats. 2007. Portable Bridges For Logging Operations. <http://www.wheeler-con.com/1wheelerPages/plskm.html>
- Saunders, C. J. & Ireland D. 2005. Extraction route trials on sensitive sites. Forestry Commission. Technical Note 10. 6 s.
- Sirén, M., Ala-Ilomäki, J. & Högnäs, T. 1987. Harvennuksiin soveltuvan metsäkuljetuskaluston maastokelpoisuus. Summary: Mobility of forwarding vehicles used in thinnings. Folia Forestalia 692. 62 s.
- Sirén, M. & Tantt, V. 2001. Pienet hakkuukoneet ja korjuu rämemännikön talvikorjuussa. Metsätieteen aikakauskirja 4: 599–614.
- Staland, F. & Larsson, K. 2002. Bra planering och rätt teknik minskar risken för markskador. SkogForsk. Resultat 4.
- Temporary stream crossing. 2007. Arch culvert for logging operations -projektin esittely. KWH Pipe (http://www.kwhpipe.ca/pdfs/109_streamcrossing.pdf)
- Thor, M. 2000. Markskonaren ”Alf”. Rapport från studien. SkogForsk.
- Turvemaiden puunkorjuu 2006. Yrittäjän asiakasaloitteena 21.8.2006 Metsähallitukselle annettu esitys. Aloitteen antaja Lasse Haverinen, Kaivu ja Kuljetus Haveriset Oy.
- Turvemailta lisää puuta ympäristöä kuormittamatta – uudet metsänhoitosuosituksset turvemaille. 2007. Tapon tiedote 25.09.2007.
- Vilkko, J. 1986. Metsätraktorin suokelpoisuuden parantaminen. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Koeselostus 237. 27 s.
- Vitikka, J. 2004. Ajourapainuma pehmeällä maaperällä kesäajan puunkorjuussa. Lapin luonto-opistolle tehdyn opinnäytetyön käsikirjoitus.

Liite 1. Selostus Asmuntin maastokokeista

1 Tavoitteet ja koejärjestelyt

Asmuntissa 3–7.9.2007 (Ranua/Pudasjärvi) järjestetyissä maastokokeissa hankittiin tietoa metsäkoneiden eri varustevaihtoehtojen paremmuudesta, kuorman koon säätelyn vaikutuksesta raiteenmuodostukseen sekä turvemaiden kantavuusolosuhteiden ennustamis- ja luokittelumahdollisuuksista. Lisäksi saatiin tietoa nykyisen maastokuljetuskaluston ominaisuuksista 1980-luvun kalustoon verrattuna. Projekti oli Metsähallituksen, Ponsse Oyj:n ja Metlan yhteisprojekti. Kokeiltavat telamallit toimitti Metsätyö Oy, jonka kautta projektiin saadaan myös tarvittava telasiantuntemus.

Tässä selostuksessa raportoidaan varustevaihtoehtojen vertailua ja kuormankoon säätelyä koskevat Asmuntin maastokokeen osiot. Turvemaiden kantavuuden ennustamisesta tehtiin projektin puitteissa Joensuun yliopistolle pro gradu -työ, johon sisällytettiin käytettyjen kantavuuden mitausmenetelmien yksityiskohtainen kuvaus.

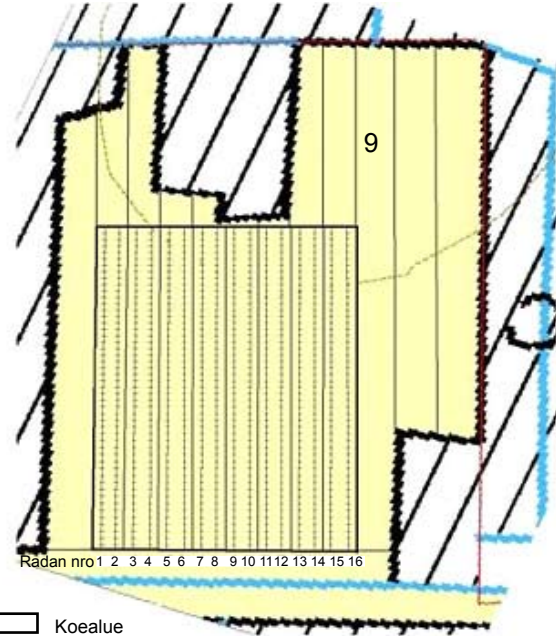
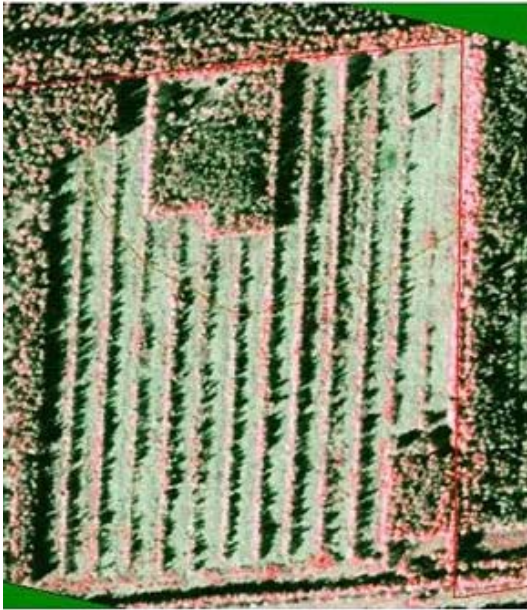
Kokeiden suunnittelu tehtiin 1980-luvun laajojen kokeilujen kautta saatujen kokemusten perusteella. Suurimpana haasteena on kokemuksen mukaan vertailukelpoisten koeolosuhteiden löytäminen. Haku kohdistettiin Pudasjärven ja Ranuan suuntaan eli alueelle, jossa soiden osuus metsätalousmaasta on Suomessa kaikkein suurin.

Asmuntista Ranuan ja Pudasjärven rajalta löydettiin Metsähallituksen mailta vanha turvepelto, joka osoittautui kokeiden kannalta olosuhteiltaan riittävän tasaiseksi. Pelto oli myös koneiden liikuttelua ajatellen sopiva. Lähistöltä löydettiin myös tasainen ojitetun rämeen ensiharvennus, johon päätettiin sijoittaa käytännön metsäajoa sisältävä kokeen osio.

Sekä pellolle että metsäpalstalle suunniteltiin eri kokeita varten koeradastot (kuvat 1 ja 2). Radoille merkittiin raiteiden mittauspisteet 4,0 metrin välein. Radoista määritettiin etukäteen ominaistiedot raiteenmuodostukseen vaikuttavien tekijöiden selvittämiseksi. Tietoja tarvittiin kantavuusolosuhteiden ennustamis- ja luokittelumahdollisuuksien tutkimista varten sekä toisaalta koeratojen olosuhteiden vakiointiin (taulukko 1).

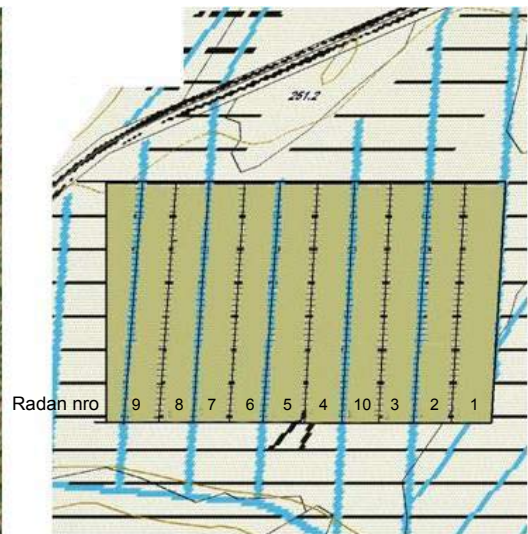
Raiteiden syvyys ja leveys mitattiin ennalta määritellyistä mittapisteistä molemmista raiteista jokaisen ajokerran jälkeen. Raidesyvyyttä oli tarkoitus käyttää selitettävänä muuttuja ja raideleveys tarvittiin raidesyvyyteen todennäköisesti vaikuttavan raidepoikkeaman määrittämiseksi. Raidesyvyyden mittaamista varten suunniteltiin samantapainen väline, mitä käytettiin 1980-luvun kokeissa (kuva 3). Metsäkohteessa luettiin myös vaurioituneet reunapuut.

Koekuormien koko määritettiin tiheysnäytteen ja pölkkyjen nappuloinnin perusteella. Puutavaran tuoretiheys oli peltokohteella 850 kg/m³ ja metsäkohteella 767 kg/m³. Kiinnijuuttumisten yhteydessä kuormaa jouduttiin purkamaan, joten sen koko piti määrittää uudestaan. Tämä tehtiin pölkyn keskikoon koon ja pölkkyjen lukumäärän perusteella. Samaa menettelyä käytettiin myös kuorman koon vaikutuksen tutkimisessa. Silloin kuormana käytettiin puutavaran lisäksi myös teloja, joiden tarkka paino oli tiedossa.



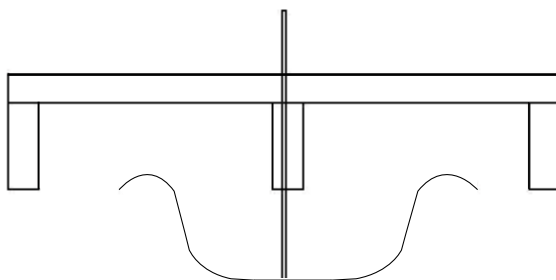
- Koealue
- Oja
- Ajoinrata
- Mittauspiste

Kuva 1. Asmuntin maastokokeiden peltokohde.



- Koealue
- Oja
- Ajoinrata
- Mittauspiste

Kuva 2. Asmuntin maastokokeiden metsäkohde.



Kuva 3. Raiteiden mittauksessa käytetty apuväline. Laitteen pituus on 1950 mm ja korkeus 550 mm. Laite on tehty 100 x 18 mm:n laudasta. Raiteen syvyys luettiin tavallisella pinomittakepillä.

Taulukko 1. Koeradoilta määritetyt ominaistiedot.

| Tekijä | Mitattu tunnus | Mittaustapa- ja väline |
|------------------------------------|---|---|
| Leikkauslujuus (kPa) | Vääntömomentti (Nm) | J. Ala-Ilomäen suunnitteleamalla kairalla. Havainto jokaisesta mittapistestä kummastakin raiteesta. Muunnettu leikkauslujuudeksi (kPa) ratkaisemalla leikkauspinnoilla vallitseva leikkausjännitys resueltoivan vääntömomentin yhtälöstä. |
| Kimmoerotin (E) ¹⁾ | Jännite (mV) | J. Ala-Ilomäen suunnitteleamalla levykuormituslaitteella. Havainto jokaiselta mittapistestä kummastakin raiteesta. Aineisto analysoidaan myöhemmin. |
| Ruohoisuus (%) | Peittävyys (%) | Silmävarainen arviointi prosentteina. Määrittäminen mittapisteessä uraan nähden poikittain olevalla 2 x 7 metrin koealalla. |
| Mättäisyys (kpl/ha) | Mättäitä (kpl) | Silmävarainen arviointi prosentteina. Määrittäminen mittapisteessä uraan nähden poikittain olevalla 2 x 7 metrin koealalla. |
| Varpuisuus (%) | Peittävyys (%) | Silmävarainen arviointi prosentteina. Määrittäminen mittapisteessä uraan nähden poikittain olevalla 2 x 7 metrin koealalla. |
| Puuston määrä (m ³ /ha) | D _{1,3} (cm) (pystypuut) ja D _k (cm) (kannot) | Puiden ja kantojen luku rinnankorkeuslähimittaluokkiin. Määrittäminen mittapisteessä uraan nähden poikittain olevalla 2 x 7 metrin koealalla. Kuutiointi koepalstalta otetun koepuuaineiston perusteella. |
| Hakkuutähteen määrä (kpl/ha) | Yli 3 cm oksat ja latvukset (kpl) | Määrittäminen mittapisteessä uraan nähden poikittain olevalla 2 x 7 metrin koealalla. |
| Pohjaveden taso (cm) | Syvyys maanpinnasta (cm) | Mittaus rautakangella tehdystä reiästä. Pellolla joka yhdeksänneistä mittapistestä ja metsässä kuudesta lohokosta radaston alueelta. |
| Turpeen paksuus (cm) | Syvyys maanpinnasta (cm) | Määrittäminen suorassilla. Yksi havainto jokaisesta mittapistestä. |

¹⁾ Tekijää ei ratojen olosuhdetasoituksessa hyödynnetty

Leikkauslujuuden määrittämiseen käytettiin Jari Ala-Ilomäen Metlassa kehittämää uudentyyppistä piikkisiipikairaa. Kaira on toimintaperiaatteeltaan samanlainen kuin perinteinen ristikkäisten levyjen muodostama siipikaira. Metallilevyjen asemesta turvenäyte lukitaan pyörähdyskappaleeksi pyöreään teräslevyyn sitä vasten kohtisuoraan ristin muotoon kiinnitetyillä päistään suippenevilla halkaisijaltaan 12 mm terästangoilla. Mittalaite isketään turvemaan pintaan niin, että terästangot uppoavat koko pituudeltaan kantavuudelle oleelliseen juurikerrokseen. Muotoilunsa ansiosta tangot asettuvat juurikerroksen osien väliin katkoen niitä mahdollisimman vähän. Tankojen lukitseman pyörähdyskappaleen säde on 0,0515 m ja korkeus 0,15 m.

Ajojärjestelyt on kuvattu yksityiskohtaisesti liitteessä 2. Metsäkohteessa ojien päälle suunnitellut urat olivat niin pehmeitä, ettei niillä pystynyt ajamaan kuormattuna kaikilla vaihtoheitoilla. Raidemittaustulokset laskettiin sen vuoksi pelkästään saran keskellä olevien urien havaintojen perusteella.

Vertailtaville vaihtoehdoille laskettiin keskiarvot ja regressiomallit, joiden avulla olosuhde-eroja pyrittiin tasoittamaan. Regressiomallit laskettiin jokaiselle ajokerralle tarkemman analyysin mahdollistamiseksi. Kuorman koon vaikutuksen selvittämisessä käytettiin yhteistä mallia, jossa kuljetettu puumäärä tonneina oli yhtenä selittävänä muuttujana. Kuorman kokoa käsiteltiin mallissa sekä jatkuvana muuttujana että luokittelumuuttujarakenteena.

Mittaukset ja laskennat on yksityiskohtaisesti kuvattu kantavuuden ennustamista koskevassa opinnäytetyössä.

2 Kokeiltavat vaihtoehdot

2.1 Telat ja ketjut

Kokeiltavat telaratkaisut poimittiin Olofsfors Ab:n valikoimasta teloja Suomessa markkinoivan Metsätyö Oy:n esityksestä siten, että saatiin yhdessä ketjujen ja apupyörästäön kanssa mielekkäitä yhdistelmiä ja toisaalta eri vaihtoehtojen välille tuli riittävästi vaihtelua. Eri telaratkaisut lyhentein on esitetty taulukossa 2. Kokeiltavina olleet telamallit on esitelty kuvassa 4.

Taulukko 2. Kokeilussa testatut telaratkaisut.

| | "magnum apu" | "magnum" | "baltic" | "track" | "seka s15" |
|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|
| Edessä | | | | | |
| • merkki ja malli | Olofsfors Eco Magnum 710-26,5 | Olofsfors Eco Magnum 710-26,5 | Olofsfors Eco Baltic 710-26,5 | Ofa Matti 3T -ketjut | Ofa Matti 2R -ketjut |
| • kok. leveys, mm | 916 | 916 | 850 | - | - |
| • kenkäjako, mm | 195 | 195 | 195 | - | - |
| • kenkäleveys, mm | 150 | 150 | 150 | - | - |
| • massa, kg/pari | 1772 | 1772 | 1622 | 400 | 400 |
| • pintapaine, kPa | 26 | 26 | 28 | 52 | 56 |
| Takana | | | | | |
| • merkki ja malli | Olofsfors Eco Magnum 710-26,5 | Olofsfors Eco Magnum 710-26,5 | Olofsfors Eco Baltic 710-26,5 | Olofsfors Eco Track 710-26,5 | Olofsfors Sekatela 600-26,5 |
| • kok. leveys, mm | 1023 | 1023 | 850 | 850 | 790 |
| • kenkäjako, mm | 195 | 195 | 195 | 183 | 195 |
| • kenkäleveys, mm | 150 | 150 | 150 | 95 | 50/125 |
| • massa, kg/pari | 2614 | 1946 | 1622 | 1778 | 1250 |
| • apupyörästäön paino, kg | 1000 | - | - | - | - |
| • pintapaine, kpa | | | | | |
| - tyhjänä | 13 | 19 | 20 | 20 | 18 |
| - kuorm. pellolla | 21 | 31 | 35 | 35 | 34 |
| - kuorm. metsässä | 23 | 35 | 40 | 40 | 39 |



Kuva 4. Asmuntin kokeen telamallit (Olofsfors Ab/Metsätyö Oy).

2.2 Metsätraktorit

Koetraktorina oli vuoden 2005 mallia oleva Ponsse Wisent -kuormatraktori. Vertailuna oli mukana 1980-luvun tekniikkaa edustava alumiinikeulainen Ponsse S15 (vm. 1985). Koetraktoreiden kokeiden tuloksia ajatellen keskeiset tiedot on esitetty taulukossa 3. Molempia koneita ajoi sama erittäin kokenut ja taitava kuljettaja.

Taulukko 3. Koetraktorit. Tiedot ovat ilman teloja, ketjuja ja apupyörästäjä.

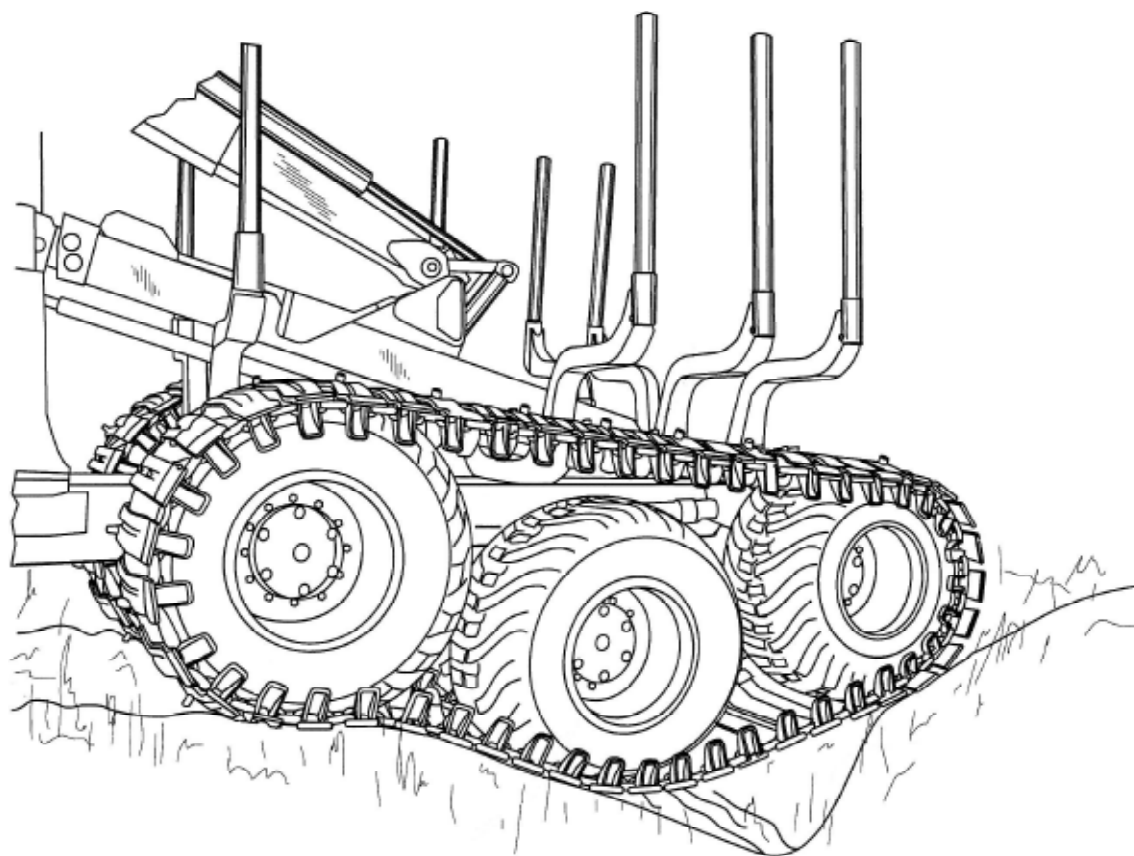
| | Ponsse Wisent (8-pyöräinen) | Ponsse S15 |
|------------------------------|---|---|
| Massa | | |
| • eturungolla, kg | 9 638 | 5 200 |
| • takarungolla, kg | 6 496 | 5 330 |
| • yhteensä, kg | 16 134 | 10 530 |
| • kantavuus, kg | 12 000 | 10 000 |
| • kokonaismassa, kg | 28 134 | 19 960 |
| Mitat | | |
| • suurin pituus, mm | 9 050 | 8 300 |
| • suurin leveys, mm | 2 840 | 2 540 |
| • pienin maavara, mm | 650 | 550 |
| • korkeus, mm | 3 700 | 3 500 |
| Moottori | | |
| • merkki ja malli | Mercedes-Benz OM 904 LA | Valmet 411 DS |
| • teho, kW | 130 | 70 |
| • vääntömomentti, Nm | 675 | 373 |
| Voimansiirto | | |
| • tyyppi | Hydrostaattis-mekaaninen | Hydrodynaamis-mekaaninen |
| • vaihteet, kpl eteen/taakse | portaaton 2/2 aluetta | 2x3/2x3 |
| • ajonopeusalueet, km/h | 0–9 ja 0–28 | 0–32 |
| • suurin vetovoima, kN | 160 | 110 |
| Akselistot | | |
| • edessä | Planeettapyörästäöllä ja tasauspyörästäön lukolla varustettu hammaspyörävälitteinen teliakselisto (NAF), pyörien napaväli 1500 mm | Planeettapyörästäöllä ja tasauspyörästäön lukolla varustettu akselisto (ZF) |
| • takana | Planeettapyörästäöllä ja tasauspyörästäön lukolla varustettu hammaspyörävälitteinen teliakselisto (NAF), pyörien napaväli 1500 mm | Planeettapyörästäöllä ja tasauspyörästäön lukolla varustettu ketjuvälitteinen teliakselisto (NAF), pyörien napaväli 1470 mm |
| • apupyörästäö | Takarunkoon pikakiinnityksellä oleva laakerointiakseli, apupyörän ja telin etupyörän napojen väli 2900 mm | |
| Ohjaus | | |
| • tyyppi | Hydrost. runko-ohjaus | Hydrost. runko-ohjaus |
| • hallinta | Miniohjauspyörä ja portaaton painikeohjaus | Ohjauspyörä ja vipu |
| Jarrut | | |
| • edessä | Hydraulit. monilevyjarru | Paineilmat. levyjarru |
| • takana | Hydraulit. monilevyjarru | Paineilmat. monilevyjarru |
| Renkaat | | |
| • edessä | Nokian Forest King F 710/45x26,5 | Nokian Forest King TRS L-2 600/65-34 |
| • takana | Nokian Forest King F 710/45x26,5 | Nokian Forest King F 600/55-26,5 |
| • apupyörästäö | Nokian Forest King F 710/40-22,5 | - |

2.3 Apupyörärakenne

Projektissa ideoitiin apupyöräratkaisu takatelissä olevalle telalle (kuva 5). Ajatuksena oli, että apupyörä olisi kiinnitetty telin etupuolelle heti keskinivelen jälkeen. Jalostetummassa ideassa apupyörä oli varressa, jonka toisessa päässä oli jousitettu rakenne. Varsirakenteen ansiosta apupyörästä painuu alaspäin telan kiristyessä telin liikkeiden myötä. Tämä olisi johtanut kantopinnan kasvuun rakenteen etupäässä vetotilanteessa, jossa telin takapyörä painuu alas. Ratkaisu olisi voinut toimia hyvin pehmeällä ajettaessa.

Apupyörästäön asentaminen telin eteen on kuitenkin rajoitetun tilan vuoksi hankalaa. Tämän ja projektin tiukan aikataulun vuoksi apupyörästä päätettiin sijoittaa erilliseen, traktorin taakse kiinnitettävään runkoon. Pikakiinnityksen ansiosta lisävarusteajattelu toteutuu ratkaisussa hyvin.

Apupyörästäön toteutus on yksinkertainen, mutta edelleen kehitettävissä. Esimerkiksi apupyörästäön mekaaninen tai hydraulinen korkeuden säätö voi tulla kysymykseen. Apupyörän kulman säätö yhdistettynä hydraulisesti hallittuun teliin mahdollistaisi telarakenteen ominaisuuksien säätelyn maaston mukaan. Rakenteen säätö olisi mahdollista automatisoida.



Kuva 5. Kokeiltu apupyörärakenne (Ponsse Oyj).

3 Tulokset

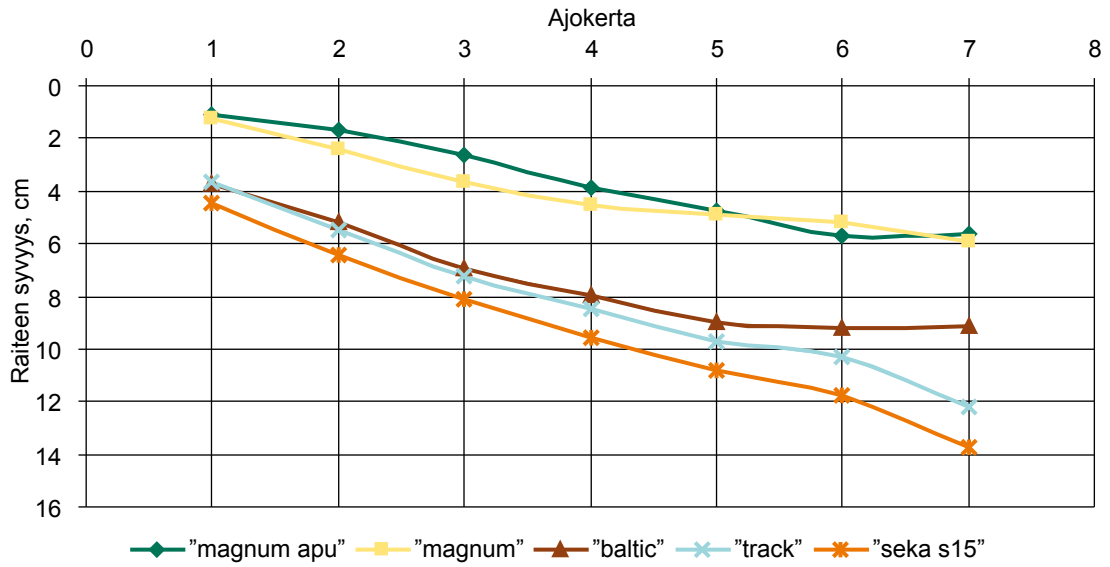
3.1 Telaratkaisujen kokeilu

Pellolla ajettiin kaikilla vaihtoehtoilla 7 ajokertaa kuormattuna. Kuorman koko oli 6 tonnia (7,1 m³). Mittaukset tehtiin jokaisen ajokerran jälkeen. Mittaustulosten ajokerroittaiset keskiarvot on esitetty taulukossa 4 ja kuvassa 6. Kuvassa 7 on esitetty keskimääräisillä olosuhdetekijöillä tasoi-
 tetut tulokset. Tasaisten olosuhteiden vuoksi vakiointi ei juurikaan vaikuttanut tuloksiin.

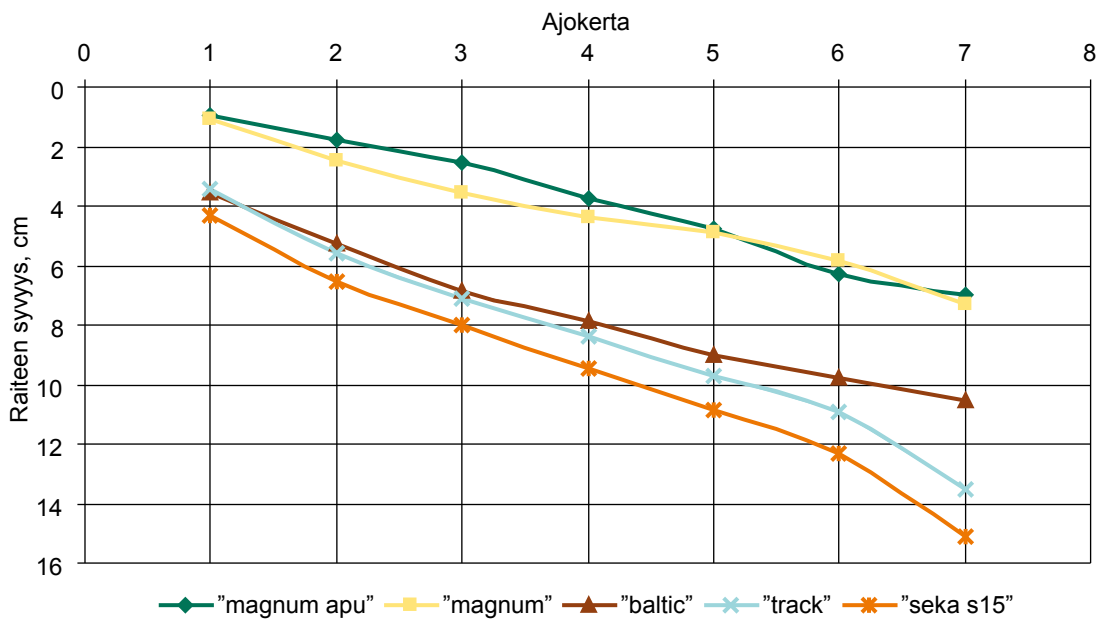
Taulukossa 5 ja kuvissa 8 ja 9 on esitetty vastaavat tulokset metsäkohteen osalta. Metsäkohteessa jäljiteltiin normaalia metsäkuljetusta eli ajokerta muodostui tyhjänä ja kuormattuna ajosta. Kuorman koko oli 8 tonnia (10,4 m³).

Taulukko 4. Telaratkaisun vaikutus raiteistumiseen pellolla. Ajo kuormattuna 6 tonnin kuormalla.

| Yliityksiä, kpl | Kuljetettu puumäärä, t | Tunnus | "magnum apu" | "magnum" | "baltic" | "track" | "seka s15" |
|------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|----------|----------|---------|------------|
| | | keskiarvo, cm | | | | | |
| 1 | 6 | Syvyys | 1,2 | 1,0 | 3,5 | 3,3 | 4,1 |
| | | Leveys | 100 | 100 | 85 | 85 | 80 |
| 2 | 12 | Syvyys | 2,0 | 2,5 | 5,3 | 5,6 | 6,2 |
| | | Leveys | 100 | 100 | 85 | 85 | 80 |
| 3 | 18 | Syvyys | 2,9 | 3,5 | 6,9 | 6,9 | 7,6 |
| | | Leveys | 100 | 100 | 85 | 85 | 80 |
| 4 | 24 | Syvyys | 4,1 | 4,2 | 8,0 | 8,0 | 9,2 |
| | | Leveys | 100 | 100 | 85 | 8,5 | 80 |
| 5 | 30 | Syvyys | 5,2 | 4,7 | 9,4 | 9,5 | 10,7 |
| | | Leveys | 100 | 100 | 90 | 90 | 85 |
| 6 | 36 | Syvyys | 6,2 | 5,2 | 10,7 | 11,0 | 12,1 |
| | | Leveys | 105 | 105 | 90 | 90 | 85 |
| 7 | 42 | Syvyys | 7,3 | 6,4 | 12,5 | 13,5 | 14,1 |
| | | Leveys | 105 | 105 | 95 | 90 | 85 |
| Olosuhdetekijät: | | | | | | | |
| | | • turpeen paksuus, cm | 85 | 83 | 93 | 92 | 99 |
| | | • ruohoisuus, % | 54 | 62 | 53 | 64 | 78 |
| | | • varpaisuus, % | 21 | 40 | 30 | 34 | 35 |
| | | • mättäisyys, kpl/ha | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | | • pohjaveden taso, cm | 35 | 33 | 35 | 41 | 34 |
| | | • leikkauslujuus, kPa | 27 | 27 | 22 | 25 | 22 |
| | | • raidepoikkeama, cm [ka] | 2,9 | 1,3 | 3,0 | 2,9 | 1,7 |



Kuva 6. Eri telaratkaisujen raidesyvyysien keskiarvot pellolla kuormattuna ajettaessa. Kuorma 6 tonnia.



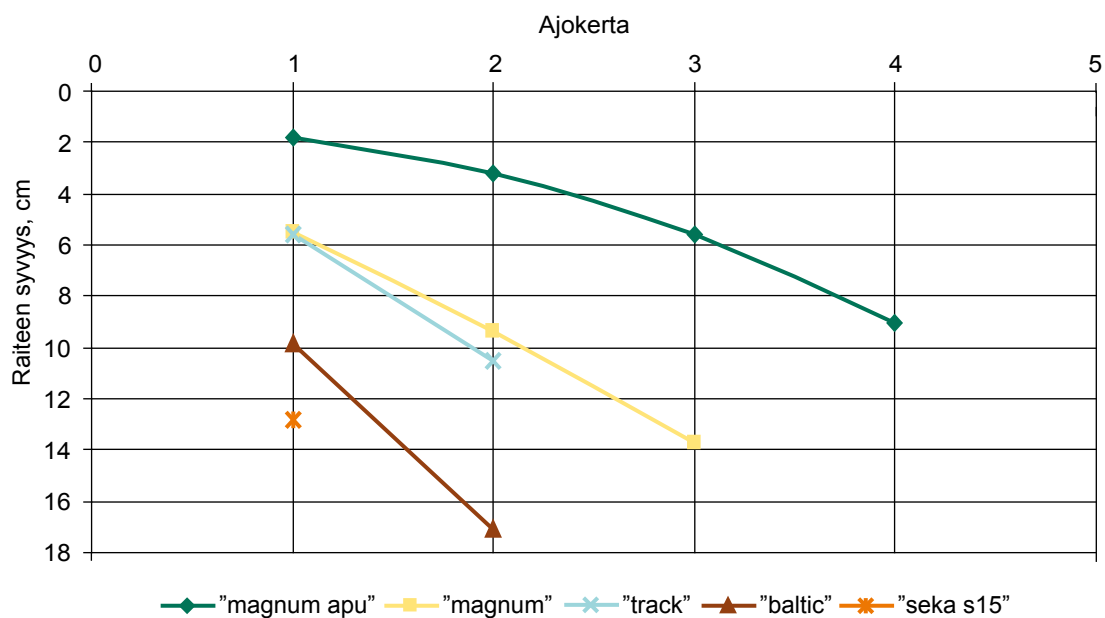
Kuva 7. Eri telaratkaisujen raidesyvyydet pellolla kuormattuna ajettaessa. Kuorma 6 tonnia. Ratojen olosuhteet on tasoitettu ajokertakohtaisilla regressiomalleilla.

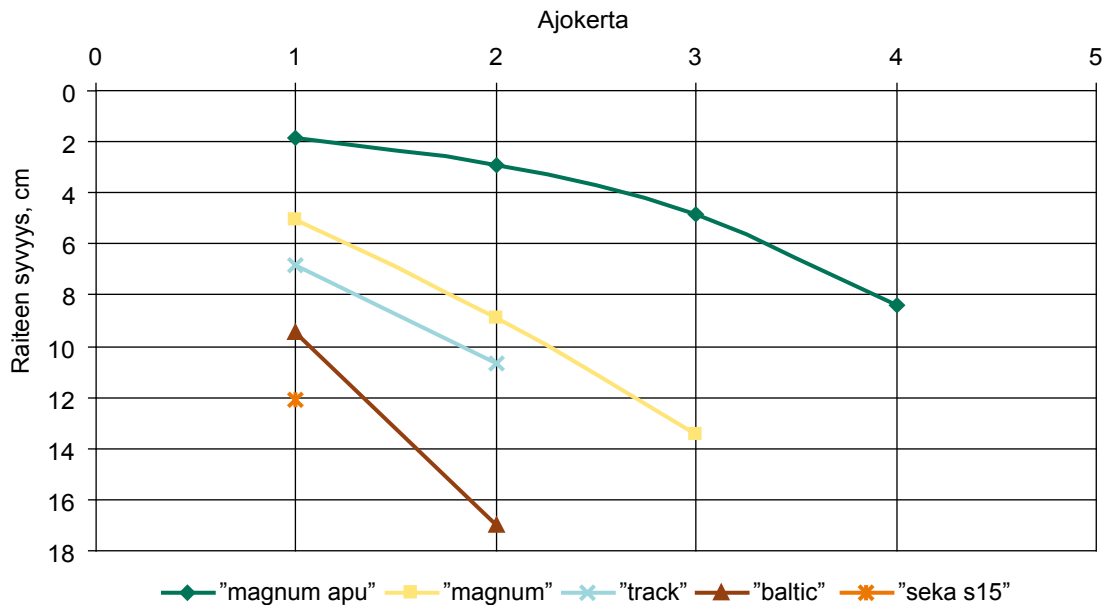
Taulukko 5. Telaratkaisun vaikutus raiteistumiseen metsässä. Ajo tyhjänä ja kuormattuna 8 tonnin kuormalla.

| Kuormia, kpl | Kuljetettu puumäärä, t | Tunnus | "magnum apu" | "magnum" | "baltic" | "track" | "seka s15" |
|--------------|------------------------|--------|---------------|----------|----------|---------|------------|
| | | | keskiarvo, cm | | | | |
| 1 | 8 | Syvyys | 1,8 | 5,5 | 9,9 | 5,6 | 12,8 |
| | | Leveys | 103 | 105 | 92 | 90 | |
| 2 | 16 | Syvyys | 3,2 | 9,4 | 17,1 | 10,5 | |
| | | Leveys | 103 | 105 | 92 | 90 | |
| 3 | 24 | Syvyys | 5,6 | 13,7 | | | |
| | | Leveys | 105 | 105 | | | |
| 4 | 32 | Syvyys | 9,0 | | | | |
| | | Leveys | 105 | | | | |

Olosuhdetekijät:

| | | | | | |
|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| • turpeen paksuus, cm | 98 | 141 | 157 | 120 | 170 |
| • ruohoisuus, % | 2 | 4 | 2 | 5 | 5 |
| • varpuisuus, % | 55 | 68 | 72 | 65 | 71 |
| • mättäisyys, kpl/ha | 0,1 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| • pohjaveden taso, cm | 27 | 25 | 25 | 27 | 25 |
| • leikkauslujuus, kPa | 23 | 25 | 23 | 25 | 24 |
| • hakkuutähde, kpl/m ² | 0,8 | 0,6 | 1,2 | 0,7 | 1,1 |
| • puusto, m ³ /ha | 87 | 45 | 63 | 73 | 71 |
| • raidepoikkeama, cm (ka) | 4,0 | 4,7 | 5,5 | 2,5 | 13 |

**Kuva 8.** Eri telaratkaisujen raidesyvyyksien keskiarvot metsässä tyhjänä ja kuormattuna ajettaessa. Kuorma 8 tonnia.



Kuva 9. Eri telaratkaisujen raidesyvyudet metsässä tyhjänä ja kuormattuna ajettaessa. Kuorma 8 tonnia. Ratojen olosuhteet on tasoitettu ajokertakohtaisilla regressiomalleilla.

Edellä esitetyt metsäkohteen tulokset on mitattu ojien välisiltä urilta. Ojan päällä olevista urista ei niiden pehmeiden vuoksi saatu riittävästi ajokertoja. Ojan, syvien raiteiden ja kiinnijuuttumisten vuoksi raiteiden mittausta oli ojaurilla vaikeaa ja tarkkuudeltaan ojien välisiä uria huonompaa. Ajokertoja kertyi eri ratkaisulla ojaurilla seuraavasti (tyhjänä/kuormattuna, k = keskeytynyt):

| | |
|--------------|-----|
| "magnum apu" | 1/1 |
| "magnum" | 1/k |
| "baltic" | 1/k |
| "track" | 1/- |
| "seka s15" | 1/- |

Ajokertojen lukumäärä perustui kuljettajan harkintaan, eikä välttämättä ollut suurin mahdollinen. Apupyörällisen Magnumin selviytymiskyky ojauralla oli laajan vetopinnan ja telin rajoitetun liikkeen vuoksi selvästi paras.

Metsäkohteessa rekisteröitiin myös reunapuiden vaurioitumista. Vain muutama satunnainen kosketusjälki rekisteröitiin, eivätkä ne olleet yhteydessä tutkitun telavaihtoehdon leveyteen. Laajemmassa tilastollisessa aineistossa eroja olisi saattanut näkyä.

Telaratkaisujen kokeilun tulokset voidaan tiivistää seuraavasti:

- Pellolla parhaita ratkaisuja olivat apupyörällinen ja tavallinen Eco Magnum. Apupyörä ei pellolla juurikaan vaikuttanut raiteen muodostukseen, sillä rakenteen laajempi kantopinta ei pienestä uppoamasta johtuen tullut käyttöön.
- Muiden vaihtoehtojen välillä erot olivat pellolla pienet. Eco Baltic ja Eco Track olivat vanhaa Sekatela/Ponsse S15 -yhdistelmää parempia.
- Metsässä apupyörällinen Eco Magnum oli ratkaisevasti muita parempi. Uppoama kasvoi metsässä pellon vastaavaa suuremmaksi, joten apupyörästä lisäsi telaston kantopintaa. Suu-

rempi kantopinta lisäsi myös vetovoimaa ja vähensi siten kiinnijuuttumisen riskiä. Apupyöräisellä Eco Magnumilla ajettiin 4 kuormaa ja ajoa olisi todennäköisesti voitu vielä jatkaa. Se oli myös ainoa vaihtoehto, joka selvisi kuormattuna ojauralta ilman kiinnijuuttumista. Toiseksi paras oli Eco Magnum ilman apupyörää.

- Yhtä leveiden Eco Baltic ja Eco Track vaihtoehtojen osalta saatiin metsässä hiukan yllättäviä tuloksia. Eco Balticin raiteet olivat Eco Trackin raiteita syvempiä vaikka telat olivat samanleveyiset eikä Eco Trackilla käytetty edessä teloja. Osin tulos saattaa johtua olosuhteista. Raiteen syvyydelle ei löydetty niin vahvoja selittäjiä, että olosuhteiden vaikutusta olisi saatu kokonaan eliminoitua. Radalla oli joitakin suhteellisen suuria painumia, joissa vetävämpi ja puhdistuvampi Eco Track on voinut toimia Eco Balticia paremmin.
- Metsässä 6-akselinen Ponsse S15 muita kapeammalla sekatelalla oli selkeästi huonoin vaihtoehto (1 ajokerta).

3.2 Muita kokemuksia apupyörään perustuvasta telaratkaisusta

Apupyörä on uusi ratkaisu, jonka ominaisuuksia selvitettiin hiukan laajemmin kuin pelkästään raiteita mittaamalla. Metsäkohteessa tutkittiin erikseen apupyöräratkaisun käyttäytymistä ojan ylityksessä verrattuna vastaavanlaiseen telaan ilman apupyörää (kuva 10).

Ojan ylityksessä apupyöräisellä telalla ei ilmennyt varsinaisia ongelmia. Teli keinui voimakkaasti telan sisällä, mutta tela pysyi päällä. Telaston nostetusta takaosasta johtuen kääntyminenkään ei tuottanut vaikeuksia. Laajempi testiajo epätasaisessa maastossa on kuitenkin tarpeen ennen kuin tehdään lopullisia päätelmiä rakenteen ominaisuuksista.



Kuva 10. Apupyörällä pidennetyn telaston käyttäytyminen ojan ylityksessä (otokset eivät samalta ajokerralta).

Vaurioitettuja reunapuita oli kaikissa vaihtoehdoissa vain muutama, eikä niitä apupyörällisellä traktorilla syntynyt muita enempää. Saattaa olla, että pitkän telaston madaltama painopiste rauhoittaa koneen sivuttaisheiluntaa ajon aikana. Kuormauksessa taas alentunut painopiste tukevoittaa kuormaimen liikkeitä ja vähentää koneen kallistumista.

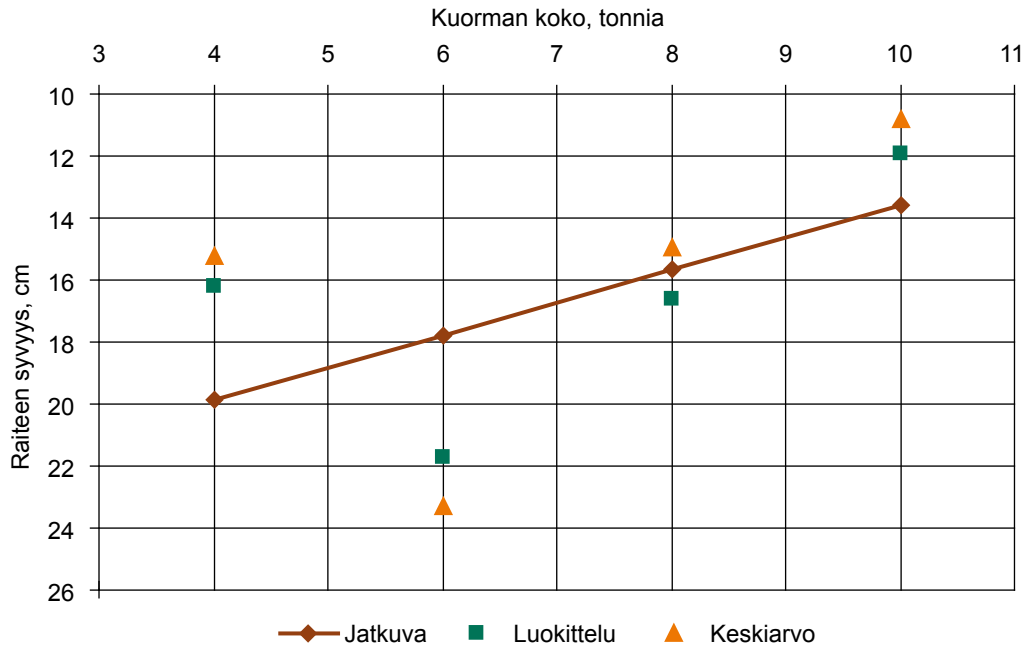
3.3 Kuorman koon vaikutus

Kuorman koon vaikutusta raiteenmuodostukseen tutkittiin pellolla omalla lohkoltaan. Radoilla ajettiin tyhjänä ja kuormattuna noin 30 tonnia puuta. Kuormien koot olivat 4 tonnia, 6 tonnia, 8 tonnia ja 10 tonnia. Suurimmissa kuormakokoluokissa painona käytettiin puutavaran lisäksi mäsältäan tunnettuja teloja. Mittaukset tehtiin jokaisen ajokerran jälkeen.

Ajokertakohtaiset keskiarvot on esitetty taulukossa 6. Kuvassa 11 on esitetty kuormakoon vaikutus raiteenmuodostukseen kuljetetun puumäärän ollessa 30 tonnia. ”Jatkuva”-vaihtoehdossa kuorman kokoa on regressiomallissa käsitelty jatkuvana muuttujana ja ”Luokittelu”-vaihtoehdossa luokittelumuuttujana. Keskiarvojen laskennassa tasan 30 tonnin puumäärä on interpoloitu kuormakohtaisilla funktioilla.

Taulukko 6. Kuorman koon vaikutus raiteistumiseen pellolla ajettaessa. Ajo tyhjänä ja kuormattuna. Kaikissa vaihtoehdoissa on kuljetettu noin 30 tonnia.

| Kuormia, kpl | Tunnus | Keskiarvo, cm | | | |
|------------------|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| | | Kuorma 4 tonnia | Kuorma 6 tonnia | Kuorma 8 tonnia | Kuorma 10 tonnia |
| 1 | Syvyys | 4,4 | 5,2 | 4,5 | 3,1 |
| | Leveys | 85 | 85 | 85 | 85 |
| 2 | Syvyys | 6,1 | 8,7 | 8,9 | 6,2 |
| | Leveys | 85 | 85 | 85 | 85 |
| 3 | Syvyys | 8,2 | 13,0 | 10,6 | 10 |
| | Leveys | 86 | 90 | 87 | 90 |
| 4 | Syvyys | 9,4 | 17,8 | 16,7 | |
| | Leveys | 88 | 93 | 95 | |
| 5 | Syvyys | 11,1 | 23,8 | | |
| | Leveys | 90 | 96 | | |
| 6 | Syvyys | 12,5 | | | |
| | Leveys | 93 | | | |
| 7 | Syvyys | 14,6 | | | |
| | Leveys | 94 | | | |
| Olosuhdetekijät: | | | | | |
| | • ruohoisuus, % | 64 | 82 | 65 | 86 |
| | • varpuisuus, % | 45 | 39 | 39 | 36 |
| | • mättäisyys, kpl/ha | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| | • pohjaveden taso, cm | 39 | 39 | 45 | 35 |
| | • leikkauslujuus, kPa | 26 | 19 | 20 | 23 |
| | • raidepoikkeama, cm [ka] | 3,7 | 4,8 | 3,0 | 1,7 |
| | • turpeen syvyys, cm | 89 | 96 | 98 | 93 |



Kuva 11. Kuorman koon vaikutus raidesyvyteen. Kuljetettu puumäärä on 30 tonnia. ”Jatkuva”-vaihtoehdossa kuorman kokoa on laskennassa käsitelty jatkuvana muuttujana ja ”Luokittelu”-vaihtoehdossa luokittelu-muuttujana. Keskiarvo tarkoittaa kuormakoon mittaushavaintojen keskiarvoa.

Tulosten mukaan kuorman koon suurentaminen on kyseisissä olosuhteissa keskimäärin pienentänyt raiteenmuodostusta kuljetetun puumäärän ollessa vakio. Kuormankokokokeilun koelohko oli siinä mielessä ongelmallinen, että eri ratojen leikkauslujuus vaihteli jonkin verran. Kuuden tonnin kuorman radan kantavuus oli niukasti heikoin. Kuuden tonnin kuorma johti varsin suureen raidesyvyteen ja jopa koneen kiinnijuttumiseen. Ratojen olosuhde-eroja pyrittiin ilman toivottua tulosta tasoittamaan regressiolaskennan keinoin.

Kuorman koon vaikutuksen osalta teoriana on ollut, että raiteet madaltuvat kuorman koon lisääntyessä tiettyyn pisteeseen asti, jossa yksikön massa muodostuu niin suureksi, että pinta murtuu. Jatkovana muuttujana käsitellyn kuormakoon kuvaajaa tarkasteltaessa vaikuttaa mahdolliselta, että raidesyvyys olisi alkanut kasvaa, jos kuorman kokoa olisi edelleen kasvatettu.

4 Johtopäätökset

Tulosten pohjalta voidaan tehdä mm. seuraavia johtopäätöksiä:

- Leveillä, oikein muotoiluilla teloilla voidaan merkittävästi parantaa nykyisin käytettävien metsätraktoreiden suokelpoisuutta. Telojen leventäminen leventää konetta, mutta ei kuitenkaan puustovaurioita ajatellen kohtuuttomasti.
- Koetta varten kehitellyn apupyöräratkaisun avulla saatiin yksikkö, jolla pystyttiin kuljettamaan puutavara kokeen pehmeiltä kohteilta sulan maan aikana ilman ylisuuria raiteita ja kiinnijuuttumisia. Konseptia voidaan edelleen kehittää.
- Tela-/pyörävarustuksen painoa pitäisi saada huomattavasti pienemmäksi. Raiteenmuodostusta ajatellen kantopinnan ääriimitat ovat ilmeisesti telan tiheyden asemesta ratkaisevassa asemassa. Telan tiheyden alentaminen on siten yksi keino sen keventämiseksi. Turvemaalla joudutaan pääsääntöisesti käyttämään teloja, jolloin pyörän kokoa on periaatteessa mahdollista pienentää painon säästämiseksi. Renkaan kaventaminen saattaa myös parantaa koneen lumessakulkuominaisuuksia.
- Sopiva kuorman koko riippune kuorman koon lisäämisen vaikutuksesta koneen akseli-massoihin ja pintapaineisiin sekä toisaalta maaperän rakenteesta. Turvemaalla pintakerroksen lujuus on ratkaisevassa asemassa. Asmuntin kokeiden tulostenkaan perusteella vanhaa sääntöä kuorman koon pienentämisestä kantavan pinnan murtumisen ja voimakkaan raiteenmuodostuksen uhatessa ei ole syytä kumota. Muutoin on syytä minimoida ajokertojen määrää ajamalla reilunkokoisilla kuormilla.

Taulukko 7. Kokeen toteutus.

1. Peltokohde

| Rata | Tutkittava asia | Kone | Varustus | Kuorman koko, t | Ajotapa | Ajokertoja |
|------|---------------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|------------|
| 1 | Telaratkaisun vaikutus | Ponsse Wisent | "magnum apu" | 6,0 | Kuormattuna | 5 |
| 2 | -"- | -"- | "magnum" | " | -"- | " |
| 3 | -"- | -"- | "track" | " | -"- | " |
| 4 | -"- | -"- | "baltic" | " | -"- | " |
| 5 | -"- | -"- | "magnum" | " | -"- | " |
| 6 | -"- | -"- | "magnum apu" | " | -"- | " |
| 7 | Ei ajoa | | | | | |
| 8 | Telaratkaisun vaikutus | Ponsse Wisent | "track" | 6,0 | Kuormattuna | 5 |
| 9 | KytKentä aikaisempiin kokeisiin | Ponsse S15 | "seka s15" | 6,0 | Kuormattuna | 5 |
| 10 | -"- | -"- | -"- | " | -"- | " |
| 11 | Telaratkaisun vaikutus | Ponsse Wisent | "baltic" | 6,0 | Kuormattuna | 5 |
| 12 | Kuorman koon vaikutus | Ponsse Wisent | "track" | 4,0 | Tyhjänä ja kuormattuna | 7 |
| 13 | -"- | -"- | -"- | 6,0 | -"- | 5 |
| 14 | -"- | -"- | -"- | 8,0 | -"- | 4 |
| 15 | -"- | -"- | -"- | 10,0 | -"- | 3 |
| 16 | Ei ajoa | | | | | |

2. Metsäkohde

| Rata | Tutkittava asia | Kone | Varustus | Kuorman koko, t | Ajotapa | Ajokertoja (kuorm./ tyhj.) |
|------|---|---------------|--------------|-----------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Telaratkaisun vaikutus | Ponsse Wisent | "magnum apu" | 8,0 | Tyhjänä ja kuormattuna | 4/4 |
| 2 | -"- | -"- | "magnum" | " | -"- | 1/k |
| 3 | -"- | -"- | "track" | " | -"- | 2/2 |
| 4 | -"- | -"- | "baltic" | " | -"- | 1/k |
| 5 | -"- | -"- | "magnum" | " | -"- | 3/3 |
| 6 | -"- | -"- | "magnum apu" | " | -"- | 1/1 |
| 7 | -"- | -"- | "baltic" | " | -"- | 2/2 |
| 8 | -"- | -"- | "track" | " | -"- | 1/- |
| 9 | KytKentä aikaisempiin kokeisiin | Ponsse S15 | "seka s15" | 8,0 | Tyhjänä ja kuormattuna | 1/1 |
| 10 | -"- | -"- | -"- | " | -"- | 1/- |
| Oja | Telaratkaisun käyttäytyminen ojan ylityksessä | Ponsse Wisent | "magnum apu" | 8,0 | Kuormattuna eteenpäin ja peruuttaen | useita |
| -"- | -"- | -"- | "magnum" | " | -"- | useita |