

Kuormatraktorin massan hallinta kuormaimen avulla turvemaiden puunkorjuuta varten

Controlling the wheel weights of forwarders by loading and boom moving in timber harvestings on peatlands

Teijo Palander, Timo Punttila & Arto Kariniemi

Teijo Palander, Timo Punttila, Itä-Suomen yliopisto, Metsätieteiden osasto, PL 111, 80101 Joensuu, email: teijo.s.palander@uef.fi
Arto Kariniemi, Metsäteho Oy, PL 101, Snellmaninkatu 13, 00171 Helsinki

Tässä kokeellisessa tutkimuksessa selvitettiin kuormatraktorin kuormauksen ja kuormaimella keventämisen vaikutusta pyörien painon jakaumiin punnitsemalla koneet ennen koetta ja sen jälkeen. Mittaustuloksista laskettiin kuormaimen taakan vaikutuspotentiaali, joka kuvaa kuormatraktorin pyörän painon muutoksen vaihtelua, kun eripainoisia taakkoja siirretään etuviistosta takaviistoon. Kuormaimen taakan vaikutuspotentiaali oli suurin 6-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyöriin (2–24 %). Tulosten perusteella kuormatraktorin etupyörien keventäminen on mahdollista kuormaimen avulla, jos kuormain on takaviistossa 45° kulmassa. Tässä asennossa kuormain ja taakka vähensivät (keventäminen) kuormaimen vastakkaisen puolen etupyörien painoa 0–8 %. Keventäminen vähensi takapyörien painoa 19–38 %. Kahdeksanpyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla ”keventäminen” lisäsi etupyörien painoa 6–9 % ja vähensi takapyörien painoa 13–32 %. Yleisen käsityksen mukaan kuormatraktori on kuormattava tasaisesti asettamalla puunttyvet vuorotellen eteenpäin ja taaksepäin, jotta kuormatraktorin kuorma olisi hyvä. Tämän kokeen tulokset osoittivat, että kuormatraktori on kuormattava tyvet taaksepäin, jos tavoitteena on vähentää etupyörillä kyntämistä. Tutkimuksen perusteella kuormaimella voi vaikuttaa kuormatraktorin massan jakautumiseen pyörille. Siksi kuormatraktorin kuljettajan tilannereaktiot ja kuormaimen käyttö voivat vähentää raiteen muodostumista sulan turvemaan ajotilanteissa.

Asiasanat: Ajoura, kuormain, kuormatraktori, puunkorjuu, raiteistuminen, suo

Johdanto

Turvemaiden puunkorjuun erityispiirteet

Soiden ja samalla turvemaiden merkitys on puunkorjuussa merkittävä, koska niiden osuus metsätalousmaasta on noin 34 % ja puustosta 23 % (Metsätilastollinen vuosikirja 2008). Valtakun-

nan metsien kymmenennen inventoinnin mukaan harvennushakkuualaa pitäisi lisätä vuodessa 61 000 hehtaaria 208 000 hehtaariin, mikä olisi 24 % hakkuuehdotuksen kokonaispinta-alasta. Ehdotuksessa on ensiharvennuksia 97 000 hehtaaria, muita harvennuksia 49 000 hehtaaria ja päätehakkuita 63 000 hehtaaria. Turvemaille esitetyistä harvennushakkuista on myöhässä 24 %,

joista yhdeksän inventoinnin mukaan on ensiharvennuksia 200 000 hehtaaria (Heikkilä 2007, Metsätalastollinen vuosikirja 2008). Jos edellä esitetyt tilastot muunnetaan metsäteollisuuden käyttämäksi raaka-aineeksi, turvemaiden puunkorjuuta pitäisi lisätä 15–20 milj. m³ vuodessa.

Turvemaiden kantavuuden ennustamista ja kantavuusluokitusten kehittämistä pidetään tärkeinä puunkorjuun edistämistoimenpiteinä (Heikkilä 2007). Vuonna 2006 Metsähallituksen ja Itä-Suomen yliopiston yhteistyönä aloitettiin tutkimus, jossa selvitettiin ojitusaluiden puunkorjuun parhaat käytännöt (Ojasalo 2007). Vuonna 2007 Metsähallituksen, Ponsse Oyj:n ja Metsätutkimuslaitoksen yhteistyöprojektissa laadittiin turvemaiden kantavuusluokitus (Airaavaara ym. 2008). Samasta aineistosta tehtiin Itä-Suomen yliopistossa pro gradu -tutkimus turvemaiden kantavuuden ennustamista varten (Lamminen 2008).

Turvemaiden kantavuusluokituksen kehittämistä jatkettiin Metsäteho Oy:n projektissa ”Turvemaiden puunkorjuun kehittäminen”. Syyskuussa 2009 Metsäteho Oy julkaisi tulokset turvemaaharvennusten kantavuusluokituksesta (Högnäs ym. 2009). Luokitus perustui laajaan käytännön puunkorjuuaineistoon, josta julkaistiin kandidaatin ja maisterin tutkimus Itä-Suomen yliopistossa. Tutkimuksissa selvitettiin tärkeimmät raiteen muodostumista aiheuttavat tekijät (faktorit) ja laadittiin turvemaiden raiteen muodostumista ennustavat regressiomallit (Lindeman 2010).

Yleisesti arvioidaan, että korjattavasta puusta voisi 2020 -luvulla tulla 30 % turvemailta. Turvemaiden tuotto-odotusten täysimittainen toteuttaminen edellyttää kuitenkin turvemaiden erityispiirteiden huomioimista hakkuiden toteutuksessa ja kuljettajien koulutuksessa. Nykyinen turvemaiden puunkorjuuongelma on ensisijaisesti taloudellinen. Toisaalta pyörätraktorit ovat pyöräkoneita ja niillä tapahtuva lähikuljetus ajoittuu talvikaudelle, koska kalusto soveltuu heikosti turvemaiden sulan maan puunkorjuuseen (Ojasalo 2007). Toistaiseksi pyöräkoneiden aiheuttamia ongelmia on vähennetty erilaisilla telaratkaisilla tavoitellen telakoneen hyviä oman massan kantavuusominaisuuksia (Bergroth ym. 2007).

Puunkorjuussa maan kantavuudella tarkoitetaan maaperän kykyä vastustaa ulkoista kuormaa ja pystysuoraa kuormitusta. Sulan turvemaan kantavuus muodostuu pääosin pinnan juurikerroksesta. Kuormituksen kasvaessa maaperän pintakerroksen kasvuston kyky vastustaa ulkoista kuormitusta voi pettää. Tätä korjuuongelmaa lisää myös turvemaan runsas ja vaihteleva kosteus. Turvemaalla saattaa olla lähekkäin kantavia ja heikosti kantavia kohtia, jotka hankaloittavat puunkorjuuta tai tekevät sen kannattamattomaksi.

Turvemaan ominaisuuksia voidaan jossain laajuudessa käyttää määrittävinä tekijöitä puunkorjuun onnistumisen ennustamisessa. Turpeen laatu ja maatumaisuus, turpeen paksuus ja kerroksellisuus sekä puiden juuriston ja pintakasvillisuuden muodostama tukiverkko vaikuttavat turpeen kantavuuteen. Kantavuus vaikuttaa ajoneuvon aiheuttamaan raiteen muodostumiseen. Siihen vaikuttaa myös maan leikkauslujuus, kun ajoneuvon pyörä tai tela kohdistaa maahan vaakasuuntaisia voimia. Anttilan (1999) mukaan turvemaat ovat rakenteellisesti kerrostuneita ja turpeen ominaisuudet vaihtelevat paljon. Edellisten lisäksi myös puuston pohjapinta-ala ja turvemaan vetisyys korreloivat turvemaan leikkauslujuuden kanssa. Saarilahden (1991) mukaan turvemaan kantavuus ja tunkeutumisvastus ovat pieniä, mutta turpeen leikkauslujuus on suuri. Siksi käytännön puunkorjuukelpoisuuden luokittelussa otetaan huomioon turvemaan leikkauslujuus.

Korjuukelpoisuuden luokittelu auttaa kuormatraktorin suokelpoisuustason määrittämisessä. Vaikka turvemaan kantavuus sallisi sulan maan aikaisen korjuun, osa turvemaista saatetaan varmuuden vuoksi korjata talvella (Ojasalo 2007). Tätä tulisi välttää, koska maan routa-aika on lyhentynyt kasvattaen puunkorjuutarvetta sulan maan aikana (Venäläinen ym. 2000).

Pitkän aikavälin keskiarvojen mukaan turvemaiden puun lähikuljetus onnistuu Etelä-Suomessa vain paksun lumen aikana. Korjuun keskittyminen lyhytaikaiseen talveen aiheuttaa kuitenkin resurssiongelman ja lisää varastointikustannuksia (Palander ym. 2012). Korjuukauden pidentäminen ja puuvarojen hyödyntäminen vaatisi lähikuljetuksen kehittämistä. Nykyisin lähikuljetus perustuu pitkälti samoihin menetelmiin kuin kangasmailla niin koneiden kuin mene-

telmienkin osalta. Eräänä ratkaisuna ongelmaan on esitetty yleiskoneiden varustelun parantamista sekä korjuumenetelmien ja koulutuksen kehittämistä (Airavaara ym. 2008). Nämä vaihtoehdot aiheuttavat korjuulle pienehköjä suoria lisäkustannuksia, mutta samalla ne aiheuttavat välillisiä kustannuksia, jotka ovat kansantaloudellemme huomattavasti suuremmat kuin tehokkaan erikoiskoneen hankintakustannukset.

Turvemaiden kantavuus ja korjuumenetelmät vaikuttavat välillisesti myös korjuujälkeen. Pintakerroksen leikkauslujuuden rikkouduttua muodostuu raiteita, joiden seurauksena metsäkoneen pyörät katkovat uran varressa olevien puiden juuret. Puuston juuristovauriot voivat ulottua noin 40–80 cm:n syvyyteen. Juuristovauriot muodostuvat yleensä lähikuljetuksen aikana, koska kuormatraktori painaa kuormattuna useita tuhansia kiloja enemmän kuin hakkuukone.

Raiteen muodostuminen turvemaiden puunkorjuussa

Metsälain (1093/1996) 5 §:ssä määrätään vältettäväksi kasvamaan jätettävän puuston vahingoittaminen ja puuston kasvuolosuhteita heikentävät maastovauriot. Maastovaurioiden aiheuttaminen voidaan tulkita metsälain 18 §:n mukaiseksi metsärikkomukseksi, mikäli vauriot on aiheutettu tahallaan tai huolimattomalla toiminnalla. Suomalaisen metsäsertifoinnin FFCS (Finnish Forest Certification System 2003) standardin mukaan urapainaumien osuus saa olla enintään neljä prosenttia ajourien pituudesta. Urapainauksiksi on mittauksissa tulkittu yli kymmenen senttimetriä syvät ja yli 50 senttimetriä pidemmät raiteet (Korjuujälki harvennushakkuussa 2003).

Saarilahden (1991) mukaan maaperän raiteen muodostumisella tarkoitetaan ajoneuvon pyörien maaperälle aiheuttamia muodonmuutoksia eli maaperähiukkasten siirtymistä pyörän sivulle. Maan murtolujuuden ylittyessä plastisten muodonmuutosten osuus verrattuna kokoonpuristumisesta aiheutuviin muodonmuutoksiin alkaa kasvaa. Turvemaan raiteen muodostus aiheutuu kuormatraktorin pyörän painuman ja tartunnan aiheuttamista jännityksistä turvemaassa. Jos turvemaan pintakerroksen leikkauslujuus ylittyy, pyörä painuu turpeeseen.

Turvemaaleimikon raiteen muodostumisen tarkka ennustaminen on mahdotonta, koska havaintoihin vaikuttaa toistaiseksi mittaamaton määrä selittämätöntä satunnaisvaihtelua. Lindemanin (2010) mukaan raiteen muodostumista kuvaavat empiiriset mallit eivät pystyneet kuvaamaan todella syviä raiteita. Hänen mukaansa näyttää vahvasti siltä, että syvien raiteiden syynä ovat suon ominaisuuksien pienialaiset vaihtelut ja puiden juuriston pettäminen. Tämän syy-seuraus ilmiön ennustaminen vaatisi lähes reaaliaikaista (ajon aikaista) adaptiivista ohjausjärjestelmää ja siihen liittyvien mittausten kehittämistä.

Tutkimusten mukaan lähikuljetuksen keruuran raiteen muodostumista selittävät parhaiten hakkuutähteen määrä, turpeen paksuus, kuormatraktorin pintapaine, kuormatraktorin massa, pohjaveden pinnan syvyys, hakkuukertymä sataa metriä kohden sekä keruu-uran määrä kohteella. Kokoajauran raiteen muodostumista selittävät parhaiten hakkuutähteen määrä, hakkuukertymä sataa metriä kohden, pohjaveden pinnan keskisyvyys, kokonaispuusto ja hakkuuta edeltäneen neljän viikon sadekertymä. Varastouran raiteen muodostumista selittävät parhaiten hakkuutähteen määrä, hakkuukoneen kokonaismassa ja uran määrä leimikolla. (Lindeman 2010)

Puutavaran hakkuukertymä vaikuttaa raiteen muodostumiseen monella tavalla. Suuri hakkuukertymä aiheuttaa suuren kuljetustarpeen, mikä lisää raiteen muodostumista. Suuresta kertymästä saadaan myös runsaasti hakkuutähdettä, mikä uralle sijoitettuna vähentää raiteen muodostumista merkittävästi. Puutavaran kertymä korreloi voimakkaasti ja positiivisesti leimikon kokonaispuuston kanssa. Tästä syystä leimikon puuston määrää käytetään korjuun suunnittelussa ja turvemaiden kantavuusluokittelussa (Kärhä ym. 2010). Toisaalta Lammisen (2008) ja Lindemanin (2010) mukaan puustoon perustuvat raiteen muodostumisen ennusteet olisivat tarkempia ja luotettavampia, jos leimikon luokittelun yhteydessä olisi mahdollista huomioida leimikon sisäinen vaihtelu puustoa ja kertymää arvioitaessa.

Taulukossa 1. esitetään raiteen syvyydet leimikon mutkissa ja risteyksissä. Risteyksissä raiteen keskisyvyys oli 6 cm suurempi kuin muualla ja mutkissa se oli 3 cm suurempi kuin suorilla. Näiden luokkien jakaumat erosivat tilastollisesti

erittäin merkitsevästi (T-testin p-arvo = 0,000) keskenään. Tutkimus osoittaa, että kuormatraktorin kuljettajan pitää kiinnittää huomiota raiteen muodostumiseen ajaessaan tai kuormatessaan mutkissa ja risteyksissä (Lindeman 2010).

Kuormatraktorin rakenne ja varustaminen turvemaille

Viime vuosikymmeninä on kuormatraktoreita kehitetty keskiraskaiksi yleiskoneiksi, jotka soveltuvat harvennushakkuusta päätehakkuuseen. Turvemaiden puunkorjuussa yleiskoneilla on enemmän ongelmia kuin kevyillä koneilla, jos niitä verrataan toisiinsa raiteen muodostumisen perusteella (Lindeman 2010). Kuormatraktoreiden kokonaismassaluokkien perusteella kevyet koneet muodostavat vähiten raidetta, mutta keskiraskaan ja raskaan koneen välillä on epävarmaa tehdä johtopäätöksiä (Taulukko 2).

Kuormatraktoria on yleisesti saatavilla joko 6-pyöräisenä tai 8-pyöräisenä sen käyttötarkoituksen mukaan. Kuormatraktorin runko jakautuu kahteen osaan, eturunkoon ja takarunkoon, jotka ovat liitetty toisiinsa keskinivelen välityksellä. Koneen ohjaaminen tapahtuu keskinivelen liitoskohdasta ohjaussylintereiden avulla ja ohjauskulma on $\pm 42^\circ$. Ajon aikana keskinivel pyörii pitkittäissuunnassa vapaana mahdollistaen koneen kallistuksen maaston myötäisesti. Keskinivel on mahdollista lukita, jolloin etu- ja takarunko ovat jäykkänä vakauttaen konetta kuormauksen aikana. Kes-

kinivelen sijoittaminen taka-akseliston suhteen määrää pitkälle koneen massan jakaantumisen pyörille. Kuormatraktorin telin tehtävä on jakaa painoa useammalle kuin yhdelle pyöräparille. Teli on laakeroitu keskeltä, mikä mahdollistaa esteiden yli kiipeämisen.

Tutkimusten mukaan kuormatraktorin suurimmalla pintapaineella on vaikutusta raiteen muodostumiseen (Lindeman 2010). Kuormatraktorin pintapaineen kasvaessa näyttää raiteen muodostuminen lisääntyvän (Taulukko 3).

Turvemaiden puunkorjuussa helpoin ja tehokkain tapa vähentää koneiden pintapaineita on laittaa koneisiin telat. Kone- ja telavalmistajilla on olemassa erilaisia telaratkaisuja eri korjuukohteille. Erikoistelat lisäävät kosketuspinta-alaa ja tasapainottavat kuormattua konetta. Pyörien vierintävastus pienenee ja parempi pito parantaa maastoliikkuvuutta. Useampien telamallien pitäminen varastossa on kuitenkin harvoin koneyrittäjän kannalta järkevää teloista aiheutuvien lisäkustannusten takia. Siksi on olemassa yleistelamalleja erilaisiin korjuuolosuhteisiin, mutta ne saattavat soveltua huonosti turvemaille. Toisaalta kuormatraktorin painuminen lisää polttoainekustannuksia, koska kone joutuu jatkuvasti käyttämään enemmän tehoa noustakseen raiteen reunan yli. Voimakkaan raiteen muodostumisen aikana on myös suuri kiinnijuttumisen riski (Anttila 1999).

Taulukossa 4 esitetään tulokset aineistosta, jolla selvitettiin kuormatraktoreiden pyörien luku-

Taulukko 1. Kuormatraktorin aikaansaama raiteensyvyys korjuu-uralla turvemaan puunkorjuukohteilla (Lindeman 2010). P-arvo kuvaa jakaumien normaalisuustestin (Kolmogorov-Smirnov) tilastollista merkitsevyyttä.

Table 1. The depth of forwarder ruts in strip road's bends and crossings in given peatland timber harvesting areas according to Lindeman (2010). Statistical normality of strip-road variables was analyzed using Kolmogorov-Smirnov test's p-values.

| Raiteen syvyys <i>Depth of rut</i> | Mutkassa <i>in bend</i> | Suoralla <i>in straight</i> | Risteyksessä <i>in crossing</i> | Muualla <i>elsewhere</i> |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| Havaintoja / <i>observations</i> | 109 | 1214 | 52 | 1271 |
| Pienin / <i>smallest, cm</i> | 0,0 | 0,0 | 3,5 | 0,0 |
| Suurin / <i>largest, cm</i> | 72,5 | 65,0 | 65,0 | 72,5 |
| Keskiarvo / <i>Mean, cm</i> | 15,13 | 11,84 | 18,06 | 11,87 |
| Keskihajonta / <i>Stdev, cm</i> | 10,78 | 8,35 | 13,76 | 8,26 |
| p-arvo/ <i>p-value</i> | 0,032 | 0,000 | 0,014 | 0,000 |

määrän vaikutusta raiteen muodostumiseen. Kuusi- ja kahdeksanpyöräisten kuormatraktoreiden ero raiteen keskisyvytydessä oli 5,7 cm. Luokkien jakaumat erosivat tilastollisesti erittäin merkitsevästi (Mann-Whitneyn U-testi; $p = 0,000$). Kuusi- ja kymmenenpyöräisten kuormatraktoreiden ero raiteen keskisyvytydessä oli 6,0 cm. Luokkien jakaumat erosivat toisistaan tilastollisesti erittäin merkitsevästi (Mann-Whitneyn U-testi; $p = 0,000$). Kahdeksan- ja kymmenenpyöräisten kuormatraktoreiden ero raiteen keskisyvytydessä oli 0,3 cm. Näiden luokkien jakaumat eivät eronneet tilastollisesti merkitsevästi (Mann-Whitneyn U-testi; $p = 0,763$).

Kuormatraktorin pyörien lukumäärällä näyt-

tää olevan kiistaton vaikutus raiteen muodostumiseen (Lindeman 2010). Hänen keräämänsä laajan empiirisen aineiston perusteella kuusi- ja kahdeksanpyöräiset aiheuttivat syvemmät raiteet kuin kahdeksan- ja kymmenenpyöräiset. Myös vanhanaikaisilla konemalleilla tehdyissä kokeissa kahdeksanpyöräiset kuormatraktorit ovat osoittautuneet pääsääntöisesti paremmiksi kuin kuusi- ja kahdeksanpyöräiset (Sirén ym. 1987). He havaitsivat raiteen muodostumisessa suuria eroja myös saman kokoluokan kuormatraktoreissa. Heidän tekemissä kokeissa parhaiten menestyivät kahdeksanpyöräiset kuormatraktorit, mutta yksittäisistä koneista paras oli kuusi- ja kahdeksanpyöräinen kuormatraktori, jonka etupäättä oli kevennetty.

Taulukko 2. Kuormatraktorin kokonaismassaluokkien (t) vertailu raiteen (cm) muodostumisen suhteen turvemaiden puunkorjuukohteilla (Lindeman 2010). Eri kirjaimella merkityt (a,b) keskiarvot erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (Mann-Whitneyn U-testin p -arvo $> 0,05$).

Table 2. Comparison of forwarders' weight groups (1000 kg) in respect to rut (cm) formation in given peatland timber harvesting areas according to Lindeman (2010). Statistically meaningful differences (Mann-Whitney U-test's p -value > 0.05) were marked with different letters (a,b).

| Kuormatraktorin paino <i>Weight group</i> 1000 kg | Raiteen keskisyvyys <i>Mean depth of rut</i> cm |
|---|---|
| 9,0–23,2 | 11,2 (a) |
| 23,3–27,0 | 14,0 (b) |
| 27,1–30,0 | 12,4 (a) |

Taulukko 3. Kuormatraktorin pintapaineluokkien (kPa) vertailu raiteen (cm) muodostumisen suhteen turvemaiden puunkorjuukohteilla (Lindeman 2010). Eri kirjaimella merkityt (a,b) keskiarvot erosivat tilastollisesti merkitsevästi toisistaan (Mann-Whitneyn U-testin p -arvo $> 0,05$).

Table 3. Comparison of forwarders' ground pressure groups (kPa) in respect to rut (cm) formation in given peatland timber harvesting areas according to Lindeman (2010). Statistically meaningful differences (Mann-Whitney U-test's p -value > 0.05) were marked with different letters (a,b).

| Kuormatraktorin pintapaine <i>Ground pressure group</i> kPa | Raiteen keskisyvyys <i>Mean depth of rut</i> cm |
|---|---|
| 30–38 | 11,1 (a) |
| 39–46 | 11,8 (a) |
| 47–107 | 13,7 (b) |

Taulukko 4. Kuormatraktorin pyörien lukumäärän vaikutus raiteen muodostumiseen turvemaiden puunkorjuukohteilla (Lindeman 2010).

Table 4. The effect of forwarders' wheel numbers for rut formation in given peatland timber harvesting areas according to Lindeman (2010).

| Pyöriä <i>Wheels</i> lkm/number | Raiteen syvyys <i>Depth of rut</i> cm | Havaintoja <i>Observations</i> lkm/number | Keskihajonta <i>St. deviation</i> cm |
|---------------------------------------|---|---|--|
| 6 | 17.2 | 94 | 12.5 |
| 8 | 11.5 | 907 | 8.3 |
| 10 | 11.2 | 322 | 7.5 |

Turvemaiden puunkorjuuta koskevan tutkimustiedon perusteella kuusipyöräisen kuormatraktorin etupään pintapaineen muutokset ovat kahdeksanpyöräistä kuormatraktoria suuremmat. Tähän pitäisi kiinnittää erityistä huomiota ajon aikana. Tässä tutkimuksessa selvitettiin näiden kuormatraktoriyppien massan jakautuminen koneen pyörille ja kuljettajan mahdollisuudet vaikuttaa siihen kuormaimella eri työasennoissa. Tutkimuksen tavoitteet olivat seuraavat:

1. Selvitetään kuormaustavan, pölkkyjen tyvien ja latvojen suunnan vaikutus massan jakaumiin.

2. Selvitetään taakan sijainnin ja koon vaikutus kuormatraktorin massan jakaumiin tasamaalla.

3. Selvitetään taakan sijainnin ja koon vaikutus massan jakaumiin, kun kuormatraktori on kallistunut toiselle puolelle voimakkaasti.

Tutkimuksen tuloksia tarkastellaan ottaen huomioon kuormatraktorilla ajaminen, koneen rakenteelliset ratkaisut ja turvemaiden korjuukäytännöt.

Aineisto ja menetelmät

Kenttäkoe

Tutkimus toteutettiin kokeellisena tutkimuksena Jämsän metsäkonekoululla Keski-Suomessa. Tutkimuspaikkana oli konehallin asfalttikenttä ja tutkimuskoneiksi valittiin telattomat 6- ja 8-pyöräiset Valmet 840S-2 kuormatraktorit. Koulun konemerkeistä valittiin sopivin ja valintaperusteena oli sama kuormatraktorin runkorakenne

molemmissa pyöräversioissa. Tutkimuksessa oletetaan, että pyörien lisääntyminen aiheuttaa kaikki tekniset muutokset, jotka vaikuttavat koneen massaan ja maahan kohdistuviin pintapaineisiin. Taulukossa 5 on näille kuormatraktoreille tehdyt massan mittaukset tasaisella maalla. Tyhjän 6-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin massan mittauksissa etupyörien välillä oli 20 kg:n painoero. Vastaavasti tyhjän 8-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin massan mittauksissa etuteliin etupyörien välillä oli 190 kg:n painoero. Teliit aiheuttivat muitakin painoeroja vastakkaisen pyörien välille.

Kuormatraktorit punnittiin tyhjänä ja kuormattuna Evocar2000-ajoneuvovaaioilla. Punnitus toteutettiin ajamalla kuormatraktori pyörien eteen asetettujen vaakojen päälle ja kirjaamalla kunkin vaa'an lukema muistiin (Kuva 1). Punnituksen lukema kuvaa pyörän painoa, joka kohdistuu maahan. Tarkempia maahan kohdistuvia pintapaineita ei laskettu, koska oletettiin, että vaa'an lukema kuvaa riittävällä tarkkuudella metsätraktorin massan jakautumisen suhteita pyörille. Kuormaimen taakan käytön vaikutus kuormatraktorin massan jakaumiin selvitettiin kuormaimen vastapainojen avulla. Vastapainot (taakat) olivat betonilla täytettyjä tynnyreitä, joissa oli ripa kuormaimen kouralle. Taakkoja käytetään virallisina painoina metsäkoneiden kuormainten määräaikaistarkastuksissa. Kuormatraktorin kuorma oli määrämittaista (520 cm) kuusisorvitukkaa, jonka massa oli 9 545 kg.

Taulukko 5. Tutkimuksessa käytettyjen kuusi- ja kahdeksanpyöräisten Valmet 840S-2 kuormatraktoriain painojakaumat, kg: EA = Etutelin etupyörät, EB = Etutelin takapyörät, TA = Takatelin etupyörät, TB = Takatelin takapyörät.

Table 5. *Wheels' weight distributions (kg) for 6-wheels and 8-wheels forwarders used in the study: Oikea = Forwarder's right hand side, Vasen = Forwarder's left hand side: EA = Front wheels of front bogey, EB = Rear wheels of front bogey, TA = Front wheels of rear bogey, TB = Rear wheels of rear bogey.*

| Pyörät/wheels | Vasen-6 | Oikea-6 | Yht./Tot.-6 | Vasen-8 | Oikea-8 | Yht./Tot.-8 |
|---------------|---------|---------|-------------|---------|---------|-------------|
| EA | 3380 | 3360 | 6740 | 1560 | 1750 | 3310 |
| EB | | | | 2620 | 2480 | 5100 |
| TA | 1560 | 1560 | 3120 | 1750 | 1600 | 3350 |
| TB | 1300 | 1300 | 2600 | 1150 | 1250 | 2400 |
| Yht./Tot. | 6240 | 6220 | 12460 | 7080 | 7080 | 14160 |



Kuva 1. Kuormatraktorin pyörien eteen asetetut vaa'at ja kuormaimen vastapainot (Kuva: Timo Punttila).

Figure 1. Truck weight scales are located in front of the wheels and an experiment in which effects of boom moving in wheel's weights were measured (Photo: Timo Punttila).

Mittausten toteutus

Tutkimuksen mittausasetelma kuvataan kokeittain. Kuormatraktorien massan jakaantumista pyörille verrattiin toisiinsa sekä tyhjänä että kolmella kuormaustavalla. Ensimmäisessä kokeessa selvitettiin 6- ja 8-pyöraisien Valmet 840S-2 kuormatraktorien pyörien painojen eroja. Pyörien painojen jakaumat saatiin suoraan pyörien punnitustuloksista. Samalla tavalla selvitettiin myös kuormauksen vaikutus kuormatraktorien massan jakaantumiseen. Kuormatraktorit punnittiin asfalttikentällä ilman kuormaa ja kolmella tavalla kuormattuna (tyvet eteen, taakse ja sekaisin). Näitä kuormaustapoja kutsutaan etutyvisiksi, takatyvisiksi ja tasaiseksi kuormaksi,

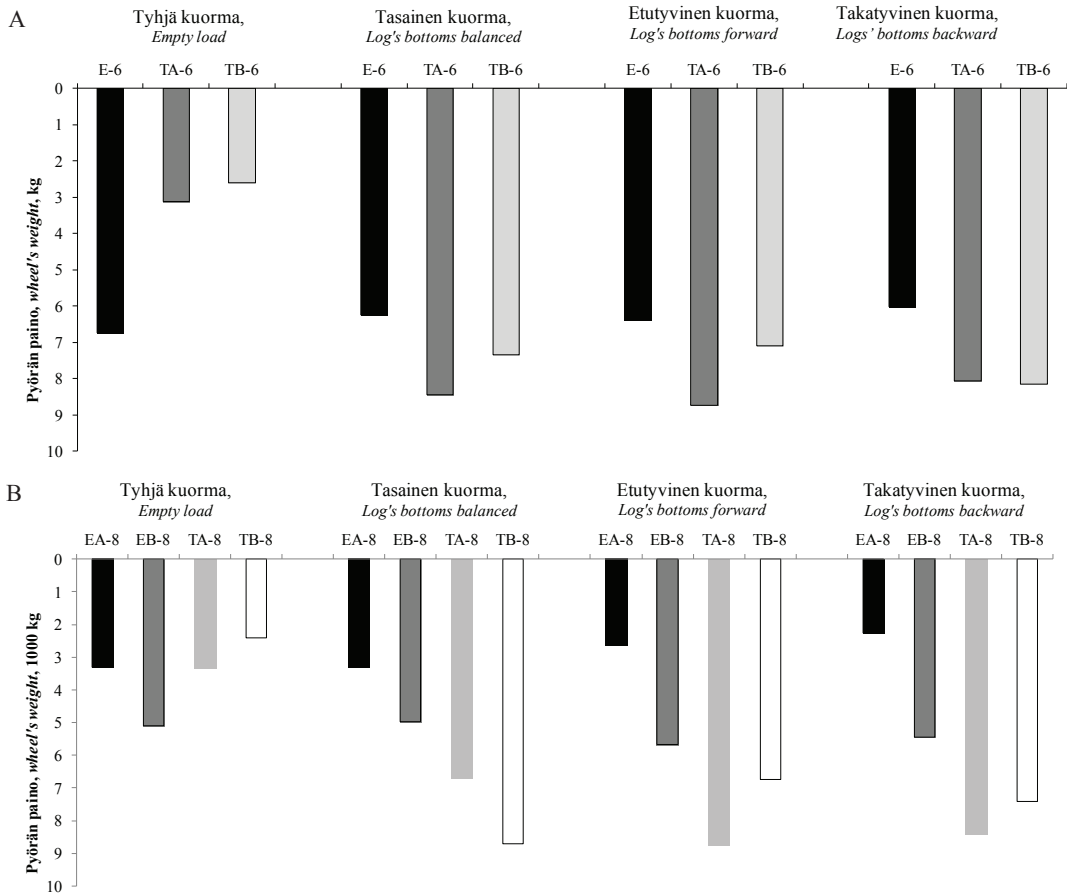
Toisessa ja kolmannessa kokeessa selvitettiin kuormaimen käytön vaikutus kuormatraktorin massan jakaantumiseen kolmella eri suunnasta tulevalle mittauksella. Toisessa kokeessa selvitettiin kuinka kuormaimella voidaan vaikuttaa kuormatraktorin pyöristä maahan kohdistuviin painoihin koneen seistessä tasamaalla. Tässä kokeessa 6- ja 8-pyöraiset kuormatraktorit punnittiin kuormaimen vakioitaakoilla (390 ja 590 kg) siten, että taakkaa siirrettiin kohtisuoraan kuormatilan puolivälistä ulospäin sekä 45 asteen linjassa etu- ja takaviistoon. Pyörien painot olisi mitattu molemmilla vakioitaakoilla kahden metrin siirtovälein kahdeksaan metriin saakka, mutta tällä menetelmällä mittaaminen onnistui vain

pienemmällä vakioitaakalla. Tehdyissä mittauksissa vakioitaakan pohjan korkeus maanpinnasta oli vakio (1 m).

Kolmannessa kokeessa selvitettiin kuinka paljon kuormaimella voidaan vaikuttaa kuormatraktorin pyöristä maahan kohdistuviin painoihin koneen ollessa kallistuneena. Kuusi- ja kahdeksanpyöraiset kuormatraktorit kuormattiin tasaisesti ja punnittiin asfalttikentällä kuten kokeessa kaksi, mutta koneen toinen puoli ajettiin ajosillan (40 cm) päälle (Kuva 1). Vaa'at sijoitettiin kallistuksen alapuolelle. Kokeiden mittauksien ajaksi koneiden jarrut vapautettiin, jotta ne eivät aiheuttaneet punnitustuloksiin harhaa.

Aineiston analysointi

Aineiston analysoinnissa ja tulosten yleistämisessä käytettiin apuna aikaisempia tutkimustuloksia. Tulosten pääsääntöinen tarkastelutapa oli kuitenkin tulosten tulkintaan perustuva päättely. Tulkinassa käytettiin vertailua, jota varten molemmat kuormatraktorit punnittiin asfalttikentällä ennen kokeita ja kokeiden jälkeen. Kuormaimen käytön vaikutusta selvitettiin laskemalla mittaustuloksista pyörien painon muutosta kuvaavia suhdelukuja. Uutena suhdelukuna laskettiin kuormaimen taakan vaikutuspotentiaali, jolla selvitettiin pyörän painon muutosten vaihtelua. Tätä kutsutaan vaikutuspotentiaaliansalyysiksi. Vaikutuspotentiaali kuvaa muutoksen vaihtelun suuruutta, kun



Kuva 2. Kolmen kuormaustavan pyörien painon jakaumat 6-pyöräisellä Valmet 840S-2 (A) ja 8-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla (B): E-6 = Etupyörät, TA-6 = Takatelin etupyörät, TB-6 = Takatelin takapyörät; EA-8 = Etutelin etupyörät, EB-8 = Etutelin takapyörät, TA-8 = Takatelin etupyörät, TB-8 = Takatelin takapyörät.

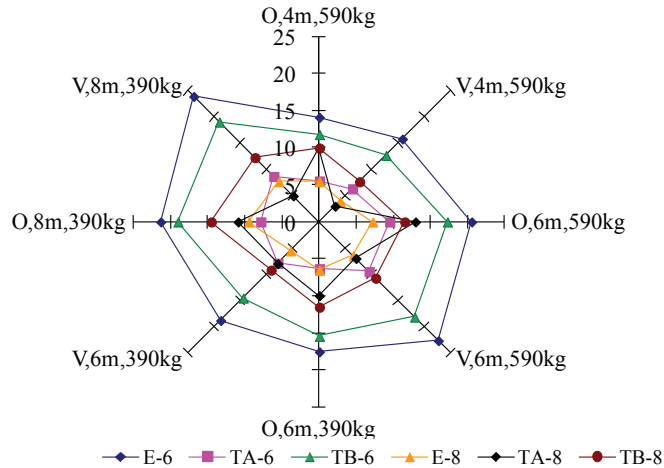
Figure 2. Wheels' weight distributions of three loading methods for 6-wheels Valmet 840S-2 (A) and 8-wheels Valmet 840S-2 forwarders (B): E-6 = Front wheels of 6-wheels forwarder, TA-6 = Front wheels of rear bogey, TB-6 = Rear wheels of rear bogey; EA-8 = Front wheels of front bogey of 8-wheels forwarder, EB-8 = Rear wheels of rear bogey, TA-8 = Front wheels of rear bogey, TB-8 = Rear wheels of rear bogey.

taakkoja siirretään koneen sivulla etuviistosta takaviistoon. Laskennallisesti vaikutuspotentiaali on pyörän painon prosentuaalinen itseisarvojen muutos suhteutettuna vertailukuorman saman pyörän painoon. Laskentamenetelmä kehitettiin Itä-Suomen yliopistossa heikosti kantavien maiden hakkuukohteiden puunkorjuun toteutuksen käytäntöjen kehittämistä varten.

Tulokset

Kuormauksen vaikutus kuormatraktorin massan jakautumiseen pyörille

Kuvan 2 perusteella kuormattujen kuormatraktori- etuakselin etupyörien painot olivat pienempiä kuin kuormaamattomien kuormatraktori- etupyörien painot. Takatyvisesti kuormatulla 6-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla



Kuva 3. Kuormaimen taakan (kg) ja etäisyyden (m) vaikutuspotentiaali kuormatraktorin pyörien painoihin (%) tasamaalla: O = kuormatraktorin oikea puoli, V = kuormatraktorin vasen puoli: E-6 = 6-pyöräisen etupyörät, TA-6 = 6-pyöräisen takatelin etupyörät, TB-6 = 6-pyöräisen takatelin takapyörät, E-8 = 8-pyöräisen eteteliakselisto, TA-8 = 8-pyöräisen takatelin etupyörät, TB-8 = 8-pyöräisen takatelin takapyörät.

Figure 3. The potential effect of the boom's grapple loads (kg) and the distances to forwarder (m) on forwarder's wheel weights (%) on flatland: O = Forwarder's right hand side, V = Forwarder's left hand side: E-6 = Front wheels of 6-wheels forwarder, TA-6 = Front wheels of rear bogey, TB-6 = Rear wheels of rear bogey, E-8 = Wheels of front bogey of 8-wheels forwarder, TA-8 = Front wheels of rear bogey, TB-8 = Rear wheels of rear bogey.

etu- ja taka-akselien etupyörien painot olivat pienemmät kuin muilla kuormaustavoilla kuormatuilla koneilla (Kuva 2A). Lisäksi takatyvisesti kuormatun kuormatraktorin pyörien maksimipaino oli pienempi kuin muilla kuormaustavoilla kuormatuilla koneilla.

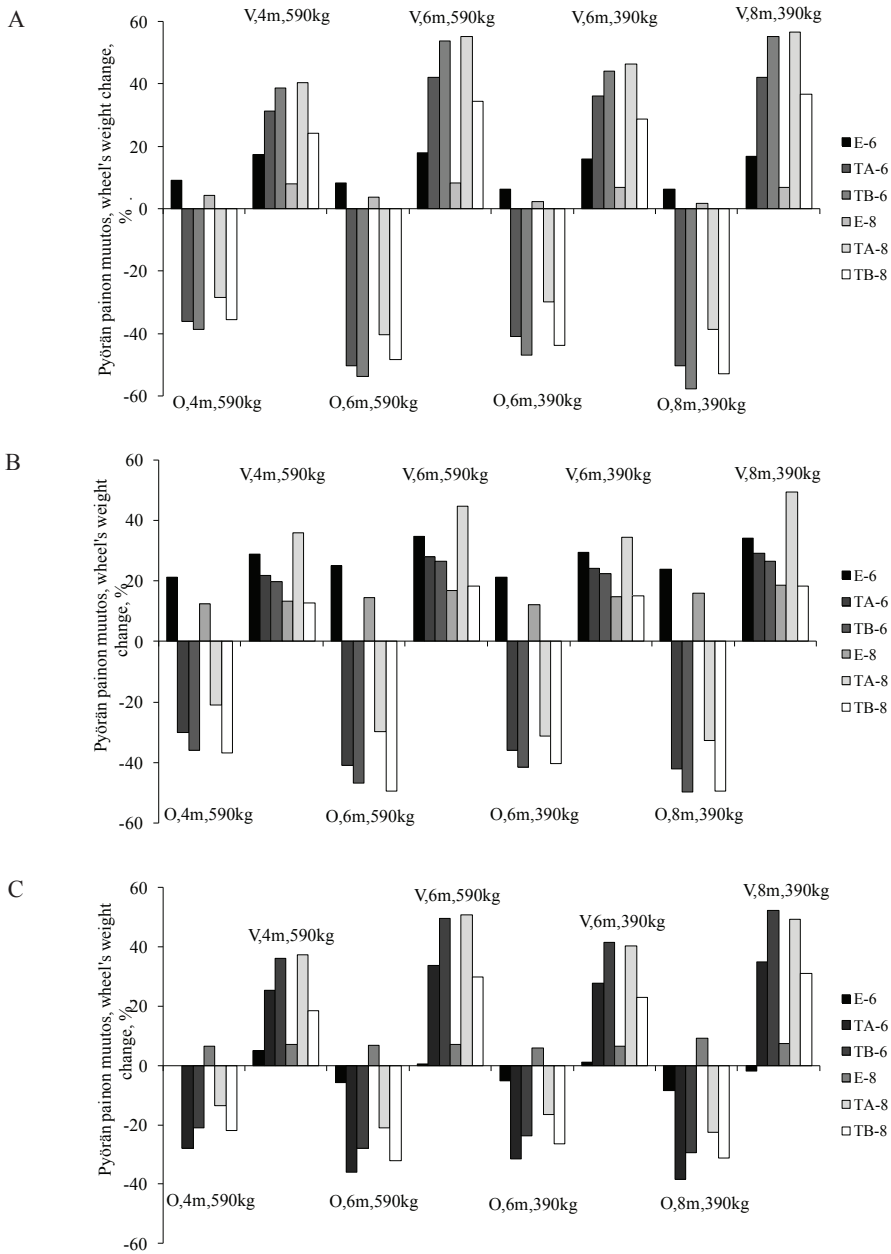
Takatyvisesti kuormatulla 8-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla suurin pyörästä maahan kohdistuva paino oli pienempi kuin muilla kuormaustavoilla kuormatuilla koneilla (Kuva 2B). Tällä kuormaustavalla kuormatulla koneella myös etuakselin etupyörien painot olivat pienemmät kuin muilla kuormaustavoilla kuormatuilla koneilla.

Tasaisesti kuormatun kuormatraktorin etu- ja taka-akselien etupyörien painot olivat pienemmät kuin takapyörien painot toisin kuin etutyvisesti ja takatyvisesti kuormatuissa kuormatraktoreissa. Näillä kuormaustavoilla taka-akselien etupyörät painoivat enemmän kuin takapyörät.

Kuormaimen vaikutus massan jakautumiseen tasamaalla

Kuormaimen taakan vaikutuspotentiaali oli suurin 6-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyöriin (14–24 %) ja pienin 8-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyöriin (4–9 %) (kuva 3). Suurin vaikutusmahdollisuus oli 6-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin vasempaan etupyörään, kun kuormaimen ulottuvuus oli 8 metriä ja vastapaino oli 390 kg. Tässä yhteydessä pitää muistaa, että kuormainta liikutettiin koneen vasemmalla puolella. Kuormaimen vaikutusmahdollisuus oikeaan etupyörään (keventäminen) oli suurimmillaan 21 %. Kuormaimen vaikutuspotentiaali oli merkittävä myös 6-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin taka-akselin takapyöriin (12–19 %).

Kuormaimella suoraan sivulle 90°:n kulmassa ”keventäminen” lisäsi molemmilla kuormatraktorin malleilla etupyörien painoa 1–18 % (Kuva 4A). Samanaikaisesti kuormaimen vastakkaisen puolen takapyörien paino keventyi 6-pyöräisellä



Kuva 4. Kuormaimen taakan (kg) sijainnin (suoraan sivulla A, etuviistossa B, takaviistossa C, m) vaikutus kuormatruktorin pyörien painoihin (%) tasamaalla: O = kuormatruktorin oikea puoli, V = kuormatruktorin vasen puoli. E-6 = 6-pyöräisen etupyörät, TA-6 = 6-pyöräisen takatelin etupyörät, TB-6 = 6-pyöräisen takatelin takapyörät, E-8 = 8-pyöräisen etuteliakselisto, TA-8 = 8-pyöräisen takatelin etupyörät, TB-8 = 8-pyöräisen takatelin takapyörät.

Figure 4. The effect of the boom's grapple loads (kg) and the distances to forwarder (90°, frontside 45°, backside 45°, m) on forwarder's wheel weights (%) on flatland: O = Forwarder's right hand side, V = Forwarder's left hand side: E-6 = Front wheels of 6-wheels forwarder, TA-6 = Front wheels of rear bogey, TB-6 = Rear wheels of rear bogey, E-8 = Wheels of front bogey of 8-wheels forwarder, TA-8 = Front wheels of rear bogey, TB-8 = Rear wheels of rear bogey.

Valmet 840S-2 kuormatraktorilla 36–58 % ja 8-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla 28–52 %. Kuormatraktoreiden kuormaimen puoleisten takapyörien paino lisääntyi suurimmillaan n. 60 %.

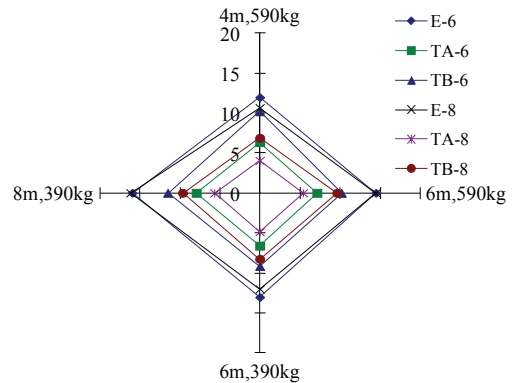
Kuormaimella etuviistoon 45° kulmassa keventäminen lisäsi 6-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyörien painoa 21–34 % (Kuva 4B). Kuormaimen vastakkaisella puolella takapyörien paino keveni 30–50 %. Sama keventäminen lisäsi 8-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyörien painoa 12–18 % ja vähensi takapyörien painoa 21–49 %. Kuormatraktoreiden kuormaimen puoleisten takapyörien paino lisääntyi suurimmillaan n. 50 %.

Kuormaimella takaviistoon 45° kulmassa keventäminen vähensi 6-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla kuormaimen vastakkaisen puolen etupyörien painoa 0–8 % ja takapyörien painoa 21–38 % (Kuva 4C). Sama keventäminen lisäsi 8-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla kuormaimen vastakkaisen puolen etupyörien painoa 6–9 % ja vähensi takapyörien painoa 13–32 %. Kuormatraktoreiden kuormaimen puoleisten takapyörien paino lisääntyi suurimmillaan n. 52 %. Tässä suhteessa kuormatraktoreiden välillä oli havaittavissa merkittävä ero. Sama keventäminen lisäsi 6-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla takapyörien painoa suurimmillaan vain n. 27 %.

Kuormaimen vaikutus kallistuneen kuormatraktorin massan jakautumiseen

Oikealle kallistuneen kuormatraktorin kuormaimen taakan vaikutuspotentiaali oli suurin kuormatraktoreiden etupyöriin (kuva 5). Kuusipyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyöriin se oli 12–16 % ja 8-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyöriin se oli 11–16 %. Vaikutuspotentiaali oli pienin 8-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin taka-akselin etupyöriin (4–6 %).

Kuormaimella kevennettiin kallistuksen alapuolella olevien pyörien painoja. Kuormaimella suoraan sivulle 90°:n kulmassa keventäminen, jossa kevennettiin kallistuksen alapuolella olevien pyörien painoja, lisäsi kuormatraktoreiden etupyö-



Kuva 5. Kuormaimen taakan (kg) sijainnin (m) vaikutuspotentiaali (%) kuormatraktorin alempana olevien pyörien painoihin kallistuneessa kuormatraktorissa: E-6 = 6-pyöräisen etupyörät, TA-6 = 6-pyöräisen takatelin etupyörät, TB-6 = 6-pyöräisen takatelin takapyörät, E-8 = 8-pyöräisen etuteliakselisto, TA-8 = 8-pyöräisen takatelin etupyörät, TB-8 = 8-pyöräisen takatelin takapyörät.

Figure 5. The potential effect of the boom's grapple loads (kg) and the distances to forwarder (m) on prone forwarder's underside wheel weights (%): E-6 = Front wheels of 6-wheels forwarder, TA-6 = Front wheels of rear bogey, TB-6 = Rear wheels of rear bogey, E-8 = Wheels of 8-wheels forwarder, TA-8 = Front wheels of rear bogey, TB-8 = Rear wheels of rear bogey.

rien painoa 8–11 % (Kuva 6A). Samanaikaisesti takapyörien paino keventyi 6-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla 29–45 % ja 8-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla 28–43 %.

Kuormaimella etuviistoon 45° kulmassa keventäminen lisäsi kuormatraktoreiden etupyörien painoa 17–21 % (Kuva 6B). Samanaikaisesti takapyörien paino keventyi 6-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla 27–43 % ja 8-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla 26–43 %. Kuormaimella takaviistoon 45° kulmassa keventäminen pääsääntöisesti vähensi kuormatraktoreiden etupyörien painoa 0–6 % (Kuva 6C). Samanaikaisesti takapyörien paino keventyi 6-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla 19–28 % ja 8-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla 22–29 %.

Tulosten tarkastelu

Tulosten luotettavuus

Tyhjän kuormatraktorin massan mittauksissa oli telien etu- ja takapyörien välillä 100–200 kg:n painoeroja (Taulukko 5). Uusissa koneissa ei yleensä ole telin pyörien välillä painoeroja. Tämä painoero todennäköisesti johtui satunnaisvaihtelusta, koska mittausero oli 1–2 % telin massasta. Toisaalta kuormatraktorit olivat käytettyjä, joten telin laakereiden ja käyttöjarrujen toiminta tuskin on uuden koneen tasolla. On mahdollista, että laakerikitkat ja käyttöjarrujen laahaus aiheuttavat massan vaihtelua telin pyörien välillä. Näillä painoeroilla on kuitenkin vain vähän merkitystä tulosten luotettavuuteen.

Tulosten perusteella kuormatraktorin tasaisella kuormauksella ei ollut koneen massan jakautumiseen niin suurta merkitystä kuin käytännön kokemukset antavat olettaa. Tuloksia tarkasteltaessa pitää kuitenkin muistaa, että käytännön työssä painon jakautumiseen pyörille vaikuttaa koneen malli ja rungon keskinivelen suhde takatelin kiinnityskohtaan. Tässä tutkimuksessa käytettiin tarkoituksellisesti kokeellista tutkimusasetelmaa, jossa vakioitiin tämä vaikuttava tekijä käyttämällä samaa konemerkkiä. Lisäksi kuorman tukkien pituus oli 520 cm, joten kuormatilan ulkopuolelle jäävä kuorman osuus vaikutti painon jakautumiseen kaikilla kuormaustavoilla. Kuorma oli keskimääräistä kuormaa takapainoisempi. Kokemuksen mukaan kuormatraktorin kuormaaminen vuorotellen joko tyvi tai latvapää edellä on järkevää kantavilla mailla, koska kuorman painopiste jakautuu tasaisesti ja kuormasta saadaan helpommin purettava. Lisäksi kuormatila saadaan paremmin hyödynnettyä, kun kuorma on tasaisesti kuormattu.

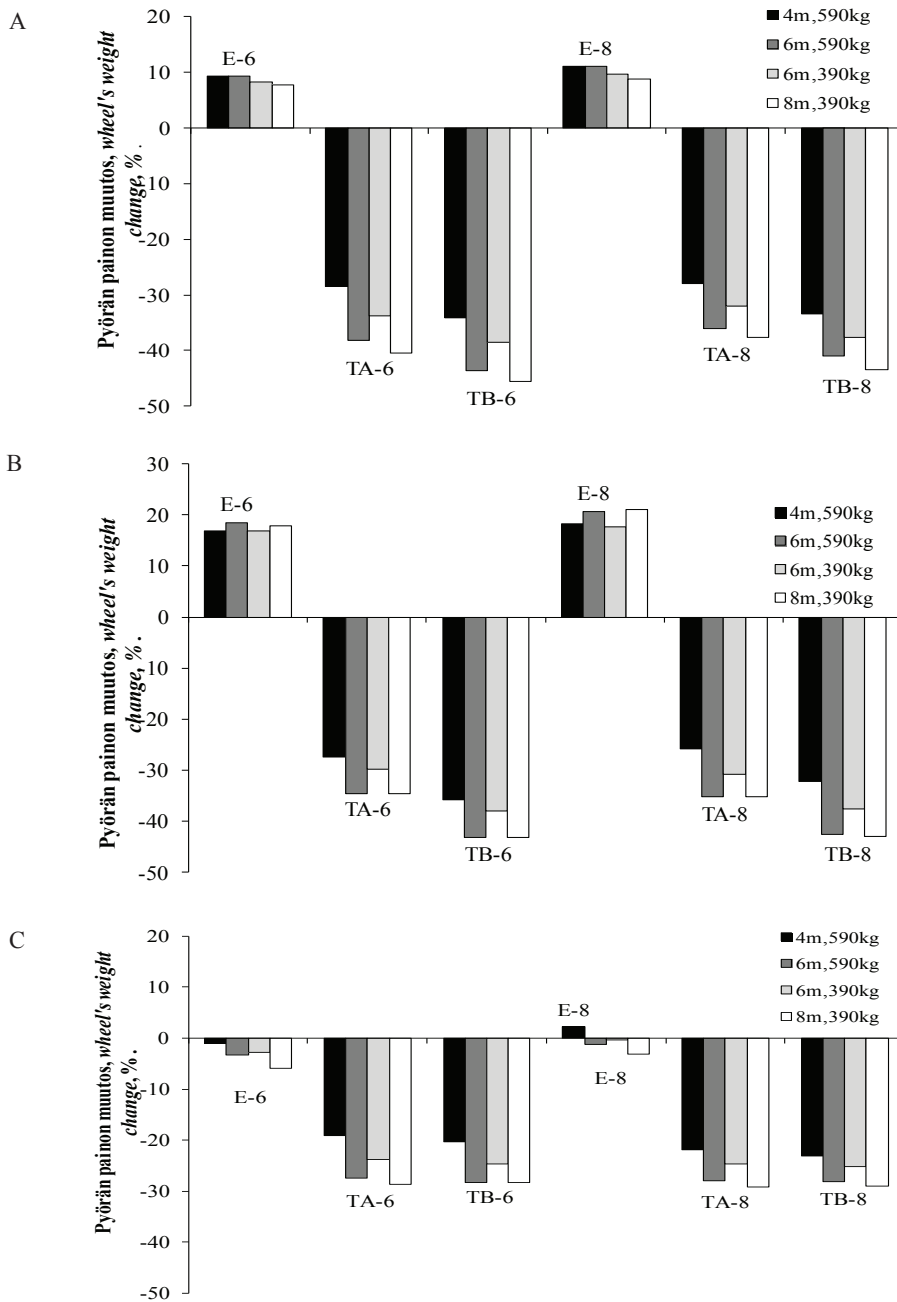
Tässä tutkimuksessa kehitettiin kuormaimen taakan vaikutuspotentiaaliansalyysi, jolla saadaan selville kuormaimen käytön mahdollisuudet vaikuttaa kuormatraktorin massan jakautumiseen pyörille. Vaikutuspotentiaali kuvaa pyörän painon muutoksen vaihtelun suuruutta, kun kuormaimen taakkaa siirretään koneen sivulla etuviistosta takaviiston. Kuormaimen taakan vaikutuspotentiaali laskettiin mittaustuloksista jokaiselle pyörälle erikseen. Vaikutuspotentiaali

on pyörän painon prosentuaalinen itseisarvojen muutos suhteutettuna vertailukuorman saman pyörän painoon. Prosentuaalinen muutos voidaan laskea erikseen kuormaimen taakan liikkeelle kasalta kuormaan tai yhdessä niiden kombinaatioille. Valittu tarkastelunäkökulma ei vaikuta tulosten luotettavuuteen, mutta tulkinta on tehtävä jälkimmäisessä tapauksessa huolellisesti, koska kuormaimen vaikutus voi olla pyörän painoa vähentävä tai lisäävä. Tässä tutkimuksessa tehtiin erikseen lisäanalyysit, joilla selvitettiin lisääkö vai vähentääkö kuormaimen taakan sijainnin muutos pyörän painoa. Vaikutuspotentiaalain suuruuden merkityksestä ei ole käytännön tutkimuksia, joita ilman pystyttiin vain selvittämään voiko pyörää esim. keventää tai mihin pyörään kuormaimen taakka vaikuttaa eniten.

Kuormatraktorin kuormaaminen turve- mailla

Verrattaessa kuormaamattomien kuormatraktoriin painon jakaumia kuormattuihin huomataan, että kaikilla kolmella kuormaustavalla etuakselin etummaisen pyörän painot olivat pienemmät kuin kuormaamattomien koneiden etupyörien painot. Näin ollen lähdeettäessä varastolta leimikolle puun hakuun tulisi varoa kuormaamattoman koneen etupyörillä kyntämistä ja raiteen muodostamista hiljentämällä tarvittaessa kuormatraktorin ajonopeutta. Tämä raiteen muodostuminen on suhteellisesti pienempi ongelma ajettaessa 8-pyöräisellä kuormatraktorilla kuin 6-pyöräisellä kuormatraktorilla, koska edellisessä koneessa etupyörien paino on pienempi.

Kuormatraktoria käännettäessä ja yleisimmin raiteen muodostumisen aikana tai sen välttämiseksi kuljettajan pitäisi huomioida koneen eturungon painopisteen muutokset. Etupyörien kyntäessä muodostuu raidetta, joka saattaa olla seuraus mutkan ulomman pyörän painon ajonaikaisesta lisääntymisestä. Etupään painon lisääntymiseen saattaa vaikuttaa myös kuorman painopisteen sijoitus. Tulosten perusteella kuljettaja voi vaikuttaa kuormatraktorin massan jakautumiseen pyörille päättäessään kuorman tukkien tyvien ja latvojen suunnan. Huolellisella kuormaamisella saavutetaan etuja etenkin 6-pyöräisellä kuormatraktorilla. Jos konetta jou-



Kuva 6. Kuormaimen taakan (kg) sijainnin (suoraan sivulla A, etuviistossa B, takaviistossa C, m) vaikutus alempana olevien pyörien painoihin kallistuneessa kuormatraktorissa (%): E-6 = 6-pyöräisen etupyörät, TA-6 = 6-pyöräisen takatelin etupyörät, TB-6 = 6-pyöräisen takatelin takapyörät, E-8 = 8-pyöräisen etuteliakselisto, TA-8 = 8-pyöräisen takatelin etupyörät, TB-8 = 8-pyöräisen takatelin takapyörät.

Figure 6. The effect of the boom's grapple loads (kg) and the distances to forwarder (90°, frontside 45°, backside 45°, m) on prone forwarder's underside wheel weights (%): E-6 = Front wheels of 6-wheels forwarder, TA-6 = Front wheels of rear bogey, TB-6 = Rear wheels of rear bogey, E-8 = Wheels of front bogey of 8-wheels forwarder, TA-8 = Front wheels of rear bogey, TB-8 = Rear wheels of rear bogey.

dutaan leimikolla esimerkiksi tavallista enemmän kääntämään, kuormatraktori kannattaa kuormata takatyviseksi. Takatyvisesti kuormattu kuormatraktori jakoi painoa hieman enemmän koneen kantaville telipyörille kuin muut kuormaustavat. Takatyvinen kuormaustapa siis osaltaan estää käännöksen aikana etupyörien aiheuttamaa raiteen muodostumista.

Yleisen käsityksen mukaan kuormatraktori on kuormattava tasaisesti välillä puuntyvet eteenpäin ja välillä puuntyvet taaksepäin, jolloin kuormatraktorin pyörien painojakauma olisi mahdollisimman tasainen. Tämän tutkimuksen mittausten perusteella kuormatraktori on kuormattava takatyvisesti, jos halutaan jakaa kuormatraktorin massa keventämällä etupyörien painoa. Tällä tavalla kuormattuna paino siirtyy etuakselilta telipyörille ja paino jakautuu myös telipyörien välillä tasaisesti. Tasaisella ja etutyvisellä kuormaustavalla telin etupyörän paino oli samalla myös koneen pyörien maksimipaino. Tässä suhteessa tasaisella kuormaamisella saavutetaan samat edut kuin takatyvisellä kuormaustavalla, jos käytettävissä on 8-pyöräinen kuormatraktori. Muissa tapauksissa myös 8-pyöräinen kuormatraktori kannattaa kuormata takatyviseksi. Takatyvinen kuormaustapa siis estää parhaiten käännöksen aikana etupyörien aiheuttamaa raiteen muodostumista. Lisäksi etutyvisesti kuormatun kuormatraktorin painojakauma on epäedullisempi verrattuna tasaisesti kuormattuun kuormatraktoriin. Etutyvisesti kuormatun kuormatraktorin painuminen ja raiteen muodostuminen ovat todennäköisempiä, koska paino jakautuu muita kuormaustapoja enemmän kuormatraktorin etupyörille ja telien etumaisille pyörille.

Ajouran raiteistumisen vähentäminen kuormaimen avulla

Ajouran raiteistuminen voi alkaa koneen kallistuessa tai ajettaessa kallistumista aiheuttavan esteen päälle. Tässä tilanteessa on kuormaimen ja taakan käyttö vastapainona suositeltavaa, jos taakan liikkeiden hallinta keventää uppoavien pyörien painoa. Kuvien 4 ja 8 perusteella kuormaimella voidaan vaikuttaa kuormatraktorin pyöristä maahan kohdistuviin painoihin koneen seisessa tasamaalla tai sen ollessa kallistuneena.

Kuormaimelle laskettiin mittaustuloksista taakan painon ja sen etäisyyden avulla kuormaimen taakan vaikutuspotentiaali. Se kuvaa hyvin potentiaalista pyörän painon muutoksen vaihtelua. Käytännössä kuormaimen vaikutus voi kuitenkin olla pyörän painoa vähentävää tai lisäävää, joka pitää tietää kuormainta liikuteltaessa. Jos tarkastellaan ensin molempia potentiaalisia vaikutuksia yhdessä, niin tasamaalla kuormaimen taakan vaikutuspotentiaali oli suurin 6-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyöriin (14–24 %) ja pienin 8-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyöriin (4–9 %).

Kuormaustilanteessa edellä kuvatun kaltainen painon vaihtelu kohdistuu myös kuormaimen puolelle ajouraan, joka pitäisi huomioida kuormatraktorin työpisteitä valittaessa. Toisaalta hakkuukoneen kuljettajan tulisi sijoittaa kasat kuormatraktorin kantavuuden suhteen sopivalle etäisyydelle ajourasta ja kuormatraktorin kuljettajan tulisi tiedostaa taakan koko kuormatessaan kaukaa nostettavia kasoja. Kuormaimen taakan vaikutuspotentiaaliansalyysin avulla edellä mainittujen asioiden merkityksen ymmärtäminen on mahdollista. Siksi vaikutuspotentiaaliansalyysi osoittautui hyödylliseksi työkaluksi, jota voi suositella laajempaakin käyttöön metsäkonetyötä analysoidessa.

Tämän tutkimuksen mittausten mukaan kuormatun kuormatraktorin painon lisäys kallistuksen (40 cm) alapuolisille etupyörille oli noin 480 kg ja telipyörille noin 2140 kg. Koneen kallistuneena ollessa kuormaimen taakan vaikutuspotentiaali oli suurin kuormatraktoreiden etupyöriin. Kuusipyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyörän vaikutuspotentiaali oli 12–16 % ja 8-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyörän vaikutuspotentiaali oli 11–16 %. Tässä yhteydessä pitää muistaa, että 8-pyöräisen kuormatraktorin etupyörän paino on noin puolet pienempi kuin 6-pyöräisen kuormatraktorin, joten kevennyksen vaikutus voi raiteen muodostumistilanteessa jäädä pienemmäksi. Näiden ja edellä mainittujen tulosten perusteella kuormaimen käytöllä on merkitystä etenkin 6-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla tehtävässä lähikuljetuksessa ja tähän mahdollisuuteen tulisi kiinnittää erityistä huomiota niin turvemaiden puunkorjuun kouluksessa kuin käytännön puunkorjuussa.

Tulosten perusteella 6-pyöräisen Valmet 840S-2 kuormatraktorin etupyörien painoa voi keventää, kun kuormain on takaviistossa 45° kulmassa. Tasamaalla keventäminen vähensi kuormaimen vastakkaisen puolen etupyörien painoa 0–8 % ja takapyörien painoa 21–38 %. Sama ”keventäminen” lisäsi 8-pyöräisellä Valmet 840S-2 kuormatraktorilla kuormaimen vastakkaisen puolen etupyörien painoa 6–9 % ja vähensi takapyörien painoa 13–32 %. Tässä suhteessa kuormatraktori välillä oli havaittavissa merkittävä ero. Jos kuormatraktori oli kallellaan, kuormaimella takaviistoon 45° kulmassa keventäminen pääsääntöisesti vähensi kuormatraktori etupyörien painoa vain vähän tai ei ollenkaan 0–6 %, ja samanaikaisesti takapyörien paino keventyi vajaalla kolmasosalla. Koneen kallistuessa kuormaimen käyttö vastapainona taakan kanssa on suositeltavaa. Vastapainon käyttö on mittausten mukaan myös järkevää, vaikka kone on jo huomattavasti kallistunut. Vastapainon avulla saadaan samalla myös lisättyä kallistuksen yläpuolella olevien pyörien kitkaa.

Turvemaita koskevan tutkimustiedon perusteella oletettiin, että tärkeä osa kuormatraktorin ajamista on koneen massan jakautumisen hallinta. Lisäksi oletettiin, että kuusipyöräisen kuormatraktorin etupyörien pintapaineet ovat kahdeksanpyöräistä kuormatraktoria niin paljon suuremmat, että siihen pitäisi kiinnittää erityistä huomiota turvemaiden puunkorjuussa lähikuljetuksen aikana. Lindemanin (2010) mukaan kuusipyöräinen kuormatraktori aiheuttaa n. 30 % syvemmät raiteet kuin kahdeksan- ja kymmenpyöräiset kuormatraktorit. Tämän tutkimuksen perusteella kuusi- ja kahdeksanpyöräisten kuormatraktori massa jakautui pyörille eri tavalla erilaisia työtilanteita jäljittelevissä kokeissa. Näyttäisi siltä, että kuljettaja voi vaikuttaa kuormaimen taakalla pyörien painojakaumiin ja samalla vähentää raiteen muodostumista etenkin kuusipyöräisellä kuormatraktorilla. Tämän tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää turvemaiden puunkorjuun menetelmien, teknologian ja toteutuksen käytäntöjen kehittämisessä heikosti kantavien maiden hakkuukohteilla.

Viitteet

- Airavaara, H., Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T. & Sirén, M. 2008. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen [Verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.ponsse.com/suomi/tuotteet/kuormatraktorit/10w/Projektin_yhteenveto.pdf. [Viitattu 21.11.2009]
- Anttila, T. 1999. Tela- ja pyöräajoneuvo maastossa. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 19: 1–60.
- Bergroth, J., Kärhä, K. & Palander, T. 2007. Telalustaiset kaivukoneet hakkuilla. Metsätehon katsaus 25.
- Finnish Forest Certification System. 2003, Ryhmäsertifioinnin kriteerit metsäkeskusten toimialueen tasolla. FFCS 1002-1, 2003. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.pefc.fi/pages/fi/asiakirjat/standardit.php>. [Viitattu 21.11.2009].
- Heikkilä, J. 2007. Turvemaiden puun kasvatusta ja korjuu — nykytila ja kehittämistarpeet. Metlan työraportteja 43: 1–29.
- Högnäs, T., Kärhä, K., Lindeman, H. & Palander, T. 2009. Turvemaaharvennusten kantavuusluokitus. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Tulosalvosarja 2009/17. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/asp/system/empty.asp?P=2425&VID=default&SID=343672535176301&A=open:page:detail:2978,title:Alasivu&S=1&C=40770>. [Viitattu 21.11.2009].
- Korjuujälki harvennushakkuussa. 2003. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/asp/system/empty.asp?P=2136&VID=default&SID=475898004124882&A=closeall&S=0&C=27911>. [Viitattu 23.11.2009].
- Kärhä, K., Poikela, A. & Keskinen, S. 2010. Korpikuusikon harvennus sulan maan aikana. [Verkkodokumentti]. Metsäteho Oy. Tulosalvosarja 2010/5. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/tulosalvosarja>. [Viitattu 10.05.2010]
- Lamminen, S. 2008. Raiteistumista selittävät tekijät turvemaiden puunkorjuussa. Itä-Suomen Yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Pro gradu tutkielma. 48 s.

- Lindeman, H. 2010. Raiteistuminen turvemaiden puunkorjuussa. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Pro gradu -tutkielma. 51 s.
- Metsäläki 1093/1996.
- Metsätilastollinen ... 2008. Metsätilastollinen vuosikirja 2008. Metsäntutkimuslaitos. 456 s.
- Ojasalo, J. 2007. Ojitusalueiden puunkorjuu — parhaat käytännöt. Itä-Suomen yliopisto. Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta. Pro gradu -tutkielma. 78 s.
- Palander, T., Bergroth, J. & Kärhä, K. 2012. Excavator technology for increasing the efficiency of energy wood and pulp wood harvesting. *Biomass and Bioenergy* 40: 120–126.
- Saarihahti, M. 1991. Maastoliikkuvuuden perusteet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 390: 1–99.
- Sirén, M., Ala-Ilomäki, J. & Högnäs, T. 1987. Harvennuksiin soveltuvan metsäkulttuurin maastokelpoisuus. *Folia Forestalia* 692: 31–40.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Lahtinen, R. & Heikinheimo, M. 2000. Ilmaston lämpenemisen vaikutus routaan lumettomilla paikoilla Suomessa. *Ilmatieteen laitos. Meteorologia julkaisuja* 43: 1–29.

Summary: Controlling the wheel weights of forwarders by loading and boom moving in timber harvestings on peatlands

In this experimental study, effects of the forwarder loading and boom moving on wheels' weight distributions were investigated by measuring forwarders' wheel weights on the ground scales before and after the experiments. We calculated the potential effects of boom's grapple weight on forwarder's wheels from the measurements, which describe wheels' weight change distribution of a forwarder while different grapple weights are moved by boom beside forwarder's front side to backside direction. The potential effect of booms' grapple weight on the wheels was the largest on the front wheels of 6-wheels Valmet 840S-2 forwarder (2–24%). According to the gained results, to decrease the weight of front wheels is possible by using forwarder's boom, if the boom is in backward direction at 45° angle. In this position, the boom and grapple weight (lightening of weight by boom moving) decreased front wheels' weight by 0–8% at the boom's opposite site. The boom moving decreased rear wheels' weight by 19–38%. The boom moving of 8-wheels Valmet 840S-2 forwarder increased front wheels' weight by 6–9% and decreased rear wheels' weight by 13–32%. According to a generally held view the forwarder should be loaded to balance logs' bottoms both to forward and backward directions for the successful transportation of the forwarder's load. However, the results of this study suggest that if operators' goal is to decrease deep tracks caused by the front wheels in peatlands, forwarder must be loaded by setting logs' bottoms to the backward direction. To conclude, operators can use the forwarder's boom to affect machine's mass distributions for wheels. When forwarding timber in peatland stands during summer, forwarder operator's advance measures and fast reactions to occurring situations may decrease potential wheels' deep tracks and soil damages.

Keywords: track, forwarder, forwarder loading, timber harvesting, peatland

(Received 15.4.2012; Accepted 27.9.2012)