

Teijo Palander, Jaska Salonen ja Heikki Ovaskainen

Kanto- ja juuripuun kaukokuljetuksen kustannusrakenne

Johdanto

Suomen energia- ja metsäsektori elää murrosvaihetta. Euroopan komission päätös nostaa bioenergian käyttötavoite 6%:sta 20%:iin vuoteen 2020 mennessä asettaa toiveita myös juuri- ja kanto-puuraaka-aineen käytön lisäämiselle. VTT-energian tekemä pioneeriselvitys kantojen noston ja energiankäytön edellytyksistä Etelä-Suomen metsämailla paljasti, että kantoenergian käyttömahdollisuudet olisivat 4,2 Twh:sta 7,3 Twh:iin.

Suomessa kanto- ja juuripuun energiakäytön ja kuljetuksen tutkimus alkoi vuonna 1970. Kaukokuljetuksen osalta Markku Mäkelän tutkimus oli ainutlaatuinen, sillä sen lisäksi ainoastaan Yhtyneet Paperitehtaat Oy tutki tuohon aikaan kantojen uittamista tehtaalle. Hieman myöhemmin 1970-luvun puolessa välissä myös Pentti Hakkila tutki kantojen mahdollista teollista käyttöä. Tätä ennen 1960-luvun puolessa välissä löytyy puolalainen tutkimus kokonaisten ja pilkottujen kantojen autokuljetuksesta. Myöhemmin 1970- ja 1980-luvun vaihteessa tehtiin Ruotsissa tutkimusta kantojen, puun, osapuun ja hakkuutähteiden kaukokuljetuksesta. Tehdyissä tutkimuksissa esitettiin autokuljetuksen kehittämis-

mahdollisuuksina mm. kuormauksen ja purkamisen nopeuttamista, pinotiheyden parantamista, kantoaineen puhdistamista sekä kuorma-autojen kuljetustilan suurentamista. Näiden tutkimusten tulokset ovat kuitenkin osin vanhentuneet eikä niitä voi suoraan soveltaa nykyiseen käytäntöön. Tuohon aikaan kuormatilat olivat n. 65 m³ nykyisen 150 m³ asemesta. Myös autojen kantavuus, tieliikennelaki ja teiden kunto ovat muuttuneet huomattavasti. Lisäksi kuorma-autot ovat kehittyneet ja tehtaiden vastaanottoasemat ovat tulleet joustavimmiksi.

Itse asiassa kanto- ja juuripuun kustannusrakenteen selvitys aloitettiin Itä-Suomen yliopistossa vuonna 2002 laatimalla tutkimuksen toteutuskaavio. Tutkimusta jatkettiin 2003 osana Tekesin ”Puuenergian teknologiaohjelmaan” sisältyvää UPM-Kymmene Oyj:n hanketta ”Uuden kantopolttoaineen tuotantoketjun pilotointi”. Siinä selvitettiin kanto- ja juuripuun korjuun ja kuljetuksen kustannuksia sekä sen vaikutuksia metsänhoitoon. Viimeksi mainitun suhteen kantojen korjuulla on merkittäviä hyötynäkökohtia mm. maannousemasienen ja tukkimiehen-täin torjunnassa, maanmuokkauksessa sekä uudistamisessa. Vuonna 2002 aloitetun työn ensisijaisena tavoitteena oli selvittää kustannusrakennetta isolla kuorma-autolla (kuva 1). Tuloksia verrattiin kantoautoon, jonka kuormatila oli pienempi kuin kuvan 1 Scanian kuormatila.

Tämän kirjoituksen alkuperäislähde on Jaska Salosen Itä-Suomen yliopistossa vuonna 2008 tekemä metsäteknologian pro gradu -opinnäyte

Kuljetuskaluston suunnittelu ja kokeen suoritus

Kantokuljetuskokeita varten suunniteltiin vuonna 2002 uusi kuorma-auto, Scania 460G, käyttäen alustana vanhan puuauton alustaa. Auton tyhjäpaino oli 29 tonnia. Kuorma-auton pituudeksi tuli 25,25 m ja kuormaimeksi valittiin hyillinen Log-Lift 105S. Auton suunnittelun tavoitteena oli maksimoida kuormatila mahdollisimman suureksi, 153 m³. Kuormatila rakennettiin kokonaan uudestaan siten, että etu- ja takaylityksiä kasvatettiin, lattiaa madallettiin sekä seiniä ohennettiin. Auton renkaita myös pienennettiin ja kärryn kuormatilan takaosa tehtiin liukuvaksi erillisellä kelkalla. Lain salliman suurimman mahdollisen kärryn etuylityksen maksimoimiseksi etuylityksestä tehtiin kaareva. Tällöin myös painopiste siirtyi edemmäksi, joka mahdollisti mahdollisimman pitkän takaylityksen. Liikennöint ominaisuuksien takia takaylityksen pituutta ei tehty maksimaaliseksi. Puuautoon verrattuna se oli kuitenkin yli kaksi metriä.

Kokeen suunnittelussa huomioitiin koko kuljetusketju tienvarsivarastolta tehtaalle. Kantokuljetuksen eri osavaiheet mitattiin 19.5.2003–25.7.2003 välisenä aikana UPM-Kymmene Metsän Keski-Suomen hankinta-alueella. Scanialla kertyi kuormia 59 kappaletta, joista kuorman purkuja mitattiin 58 kappaletta, kuormauksia 40 kappaletta, tyhjänä ajoja 43 kappaletta ja kuormattuna ajoja 42 kappaletta. Lisäksi aineistoon sisältyi 11 siirtymistä vaa’alta erilliseen terminaaliin. Kokonaisia kuormia, joissa oli kaikki työvaiheet mukana, mitattiin 39 kappaletta.

Vertailtavassa autossa (Volvo) oli kiinteä kontti, jonka kuormatila oli 97 m³. Tälle autolle kanto- ja juuripuukuormia kertyi 11 kappaletta. Nämä jakaantuivat siten, että kuorman purkuja mitattiin 11 kappaletta, kuormauksia 8 kappaletta, tyhjänä ajoja 9 kappaletta ja kuormattuna ajoja 9 kappaletta. Lisäksi tähän aineistoon sisältyi yksi siirtyminen vaa’alta erilliseen terminaaliin. Kokonaisia kuormia, joissa oli kaikki työvaiheet mukana, mitattiin 8 kappaletta.



Kuva 1. Kanto- ja juuripuun kuljetusta Scania 460G:lla.

Kustannuslaskenta

Aikatutkimuksen tuloksia

Scanian kuormauksen suurimmat ajanmenekit mitattiin aloituksen ja lopetuksen yhteydessä. Taulukossa 1. esitetyn kuorman tekoon käytettiin keskimäärin 58 minuuttia. Kuormauksen valmisteluun kului keskimäärin 171 cmin ja lopettamiseen 283 cmin (1 tunti = 100 cmin). Kun tehotyöaikaan (305,1 cmin/tn) lisättiin keskeytykset (8,9 %), saatiin käyttöajaksi 335,1 cmin/tn. Kuormauksessa keskimääräinen taakan koko oli Scanialla 196kg/taakka ja Volvolla 220 kg/taakka. Taakkakoon kasvaessa kuormaukseen käytetty aika väheni selvästi.

Tyhjänä ajoon käytettiin keskimäärin 361,8 cmin/tn ja terminaalista vaa’alle ajoon 44,1 cmin/tn. Kun huomioitiin keskeytykset, käyttöajaksi saatiin 447,8 cmin/tn. Kuormattuna ajoon käytettiin keskimäärin 328 cmin/tn ja vaa’alta terminaaliin ajoon 50,7 cmin/tn. Kun keskeytykset laskettiin mukaan, käyttöajaksi saatiin 414,5 cmin/tn. Tehtaan vaa’alla kulunut aika mitattiin ja eroteltiin omaksi työvaiheeksi.

Taulukko 1. Kuormauksen ajanmenekki, cmin/tn.

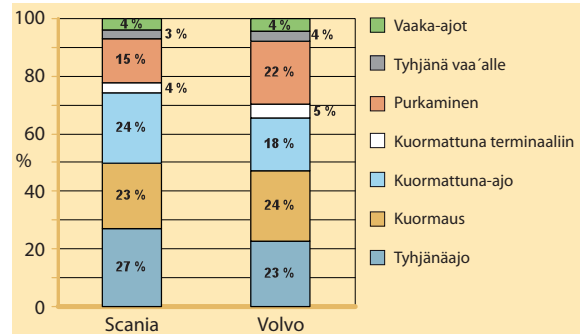
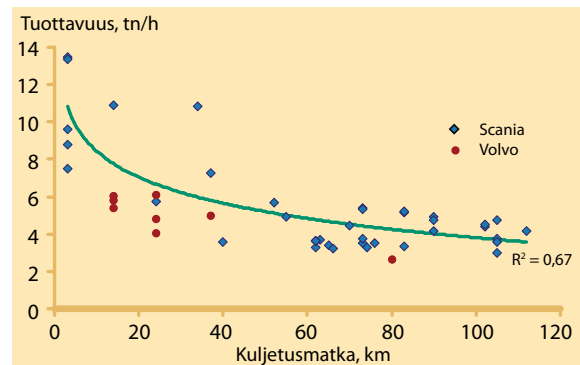
Työvaihe	cmin/tn	%
Kuormauksen valmistelu	13,1	4,3
Kouran siirto tyhjänä	63,7	20,9
Kantoihin tarttuminen	53,3	17,5
Taakan siirto kuormaan	73,9	24,2
Kuorman järjestely	73,1	23,9
Kelkan siirto	6,5	2,1
Kuormauksen lopetus	21,5	7,0
Tehotyöaika	305,1	100,0

Taulukko 2. Kuorman purkamisen ajanmenekki, cmin/tn.

Työvaihe	cmin/tn	%
Purkamisen valmistelu	9,5	4,7
Taakan nosto kuormasta	70,6	34,8
Kouran siirto tyhjänä	46,6	23,0
Kelkan siirto	4,7	2,3
Auton siivous	48,1	23,7
Purkamisen lopetus	23,3	11,5
Tehotyöaika	202,8	100,0

Vaa'alla käynnin ajoaika oli keskimäärin 50 cmin/tn. Bioenergiamurskasta aiheutuva keskeytys oli keskimäärin 1500 cmin. Punnitustuloksista saatiin selville kuljetettu kanto- ja juuripuumäärä sisältäen myös kuorman epäpuhtaudet. Scanian kuormien keskipaino vaihteli välillä 14,5–25 tn. Keskimäärin se oli 19,0 tn, josta lian osuus oli 2,2 tn. Volvon kuormien keskipaino oli 12,6 tn.

Taulukossa 2 esitetyn kuorman purku kesti keskimäärin 39 minuuttia. Kuorman purkamisen työvaiheista eniten aikaa kului aloitukseen ja lopetukseen. Lisäksi huomattavan paljon aikaa kului auton kuormatilan siivoukseen. Keskimäärin purkamisen valmistelu kesti 162 cmin, kuormatilan siivous 253 cmin ja purkamisen lopetus 381 cmin. Purkamisen tehotyöajaksi saatiin 202,8 cmin/tn. Kun siihen lisättiin keskeytykset 15,8 %, käyttöajaksi laskettiin 240,8 cmin/tn. Kuormaa purettaessa taakkakoot olivat kuorman tekoa suurempia. Keskimäärin Scanian taakkakoko oli 233 kg ja Volvon 241 kg.

**Kuva 2.** Scanian ja Volvon tehotyöajan jakaumat kanto- ja juuripuukuljetuksessa, %.**Kuva 3.** Kanto- ja juuripuukuljetusten tuottavuus, tn/h/km.

Tuottavuuslaskelmien tuloksia

Kuormien työvaiheet yhdistettiin kantokuljetuksen tehotyöajan laskemista varten (kuva 2). Scanian kuormakohtainen tehotyöajanmenekki tyhjänä sekä kuormattuna ajettaessa kasvoi lähes lineaarisesti kuljetusmatkan kasvaessa ($R^2 = 0,93$ ja $R^2 = 0,94$). Volvon kuormakohtainen ajanmenekki tyhjänä sekä kuormattuna ajettaessa kasvoi vastaavasti ($R^2 = 0,91$ ja $R^2 = 0,98$). Kun tehotyöaikaan lisättiin alle 15 minuutin keskeytykset (10,7 %), saatiin kuljetuksen käyttöaika. Keskimääräiseksi käyttöajaksi saatiin 1550,9 cmin/tn.

Scanialla tehotuntituottavuus oli korkeimmillaan terminaalista ajettaessa (13,7 tn/h). Alimmilleen se putosi alle neljän tonnin, kun ajomatka ylitti 60 km (kuva 3). Keskimäärin tehotuntituottavuus oli Scanialla 5,4 tn/h ja Volvolla 5,0 tn/h. Scanian tuottavuus oli siis suurempi, jos autojen kuljetusmatka oli sama (kuva 3).

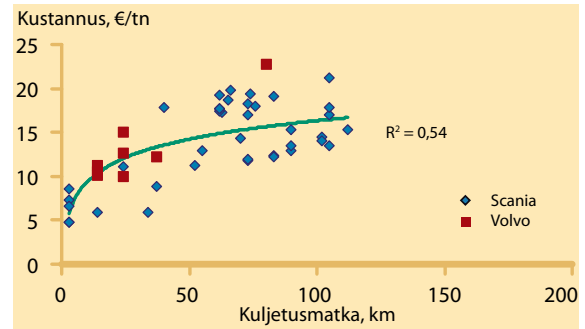
Taulukko 3. Kanto- ja juuripuukuljetuksen tunnusluvut: ↑ = ajetun matkan lineaarikombinaatiot, ↓ = tuottavuuden kombinaatiot.

		tn/h	km							
		↑	↑	↓	↑	↓	↑	↓	↑	
			Paino	Ajomatka kuormattuna	Ajomatka tyhjänä	Kosteus	Energia/kuorma	Ajonepeus kuormattuna	Ajonepeus Tyhjänä	Varisut lika ajon aikana
		tn	km	km	%	Mwh	km/h	km/h	tn	
Scania: kanto	Keskiarvo	19,0	63,8	67,4	32,9	69,5	53,7	53,8	2,2	
	Hajonta	5,1	33,2	36,8	5,1	19,3	14,8	14,0		
	Havainnot	59	59	59	59	59	42	43	4	
Volvo: kanto	Keskiarvo	12,6	34,0	34,0	26,5	50,1	45,3	37,5	1,5	
	Hajonta	1,7	26,8	26,8	11,5	12,4	15,3	14,9		
	Havainnot	11	11	11	11	11	9	9	1	

Kanto- ja juuripuukuljetusten kustannusrakenne

Taulukossa 3. ovat kustannusrakenteen keskeisimmät tunnusluvut. Kuormien paino, lika, energiasisältö sekä kanto- ja juuripuun kosteus selvitettiin UPM-Kymmene:n tietojärjestelmän avulla. Tutkimuksen perusteella energian muutoksen (Mwh) suhde kosteuden muutokseen (%) oli 1/21. Scanian kuormien keskimääräinen energiasaanto oli 7 % pienempi kuin Volvolla ollen vastaavasti 3,7 Mwh/tn ja 4 Mwh/tn. Koska energian kuljetus maksoi keskimäärin 3,22 €/Mwh, Scanialla energian kuljettaminen oli 1€/Mwh kalliimpaa kuin Volvolla.

Kustannusrakennelaskelmassa yhdistettiin puutarvan pääoma-, käyttö- ja ylläpitokustannukset sekä kuljettajista aiheutuneet työkustannukset. Työkustannukset laskettiin urakka- ja tuntipalkkakustannusten, lisien sekä välillisten kustannuksien summaksi. Mahdolliset työnjohtokustannukset eivät olleet mukana laskelmassa. Muuttuvat käyttökustannukset eriteltiin polttoaine-, moottoriöljy-, vaihteistoöljy-, hydraulikkaöljy- ja rengaskustannuksiin. Mukana olivat myös korjaus- ja huoltokustannukset sekä korvauksettoman ajon kustannukset. Pääomakustannukset koostuivat kuorma-auton ja kuormaimen vuotuisista poistoista ja koroista. Myös vakuutus- yms. kustannukset sisällytettiin kiinteisiin kustannuksiin. Käyttökustannukset esitetään tuottavuuslaskelmista saadun tehotyöajan ja käyttöaikaprocentin tulo suhteen. Kun kokonaistyöajasta vähennettiin



Kuva 4. Kanto- ja juuripuun kuljetuskustannukset, €/tn/km.

käyttöaika, saatiin tuntityöaika, joihin sisältyi mm. korjaukset, huollot, keskeytykset tms.

Kuljetuskustannukset (€/tn) muodostuivat kustannusrakenteen, kuljetetun kanto- ja juuripuun määrän sekä kuljetusmatkan suhteessa. Ne perustuivat myös työaikaan ja käyttöasteeseen. Kun vuorossa tehtiin työtä 8 h, tuntikustannus oli 61 €/h. Jos vuorossa tehtiin työtä 10 h, tuntikustannus oli 52 €/h. Kun laskelmassa huomioitiin Scanian toteutunut käyttöaste 86,6 % (2979 h/v), 8 h:n työvuorolla tuntikustannus oli 63,7 € (kuva 4). Volvon käyttöaste oli 92,6 %. Scanian kuljetuskustannus voidaan laskea seuraavalla yhtälöllä:

$$y = 2,9087 \ln(x) + 2,3164 \quad R^2 = 0,54$$

missä: y = €/tn, x = varaston ja tehtaan välimatka, km

Lopuksi

Aikatutkimuksen mittausten luotettavuutta voidaan pitää hyvänä. Kerätyn aineiston luotettavuutta kuitenkin heikensi kehitetyn kuljetuskaluston uutuus. Kalusto saatiin käyttöön juuri ennen mittausten aloittamista. Pitkäaikaisia keskeytyksiä oli useita, joista osa aiheutui kuljettajien ammattitaidosta, mutta myös auton osien kestävyyydestä (Scanian käytöaste 86,6%). Maksimimittaisen täysperävaunun kuljettaminen metsäautoteillä ei myöskään sujunut puuautoa vastaavalla tavalla. Tämä näkyi auton kiinni jäämisessä sekä muuna ajanhukkana.

Tuloksien vertailtavuus aiempiin tutkimuksiin on hankalaa, koska vastaavat tutkimukset ovat vähäisiä. Myös kanto- ja juuripuuaine on nykyisin laadultaan parempaa. Aiemmin tehtyjen tutkimusten kuljetuskustannukset ja -maksut perustuivat puun kiintotilavuuteen. Tässä tutkimuksessa ne perustuivat painon mukaan laskettuihin tuotoksiin. Tämän tutkimuksen aineistolla on myös laadittu irtokannoille energiasaantoon perustuva kuljetuskustannusfunktio. Esimerkiksi, 50 km:n kuljetusmatkalla kustannus on 4,39 €/Mwh.

Kanto- ja juuripuukuljetuksen kannattavuuden lisäämiseksi tulisi kuljettajien tekemien kuormien olla mahdollisimman suuria. Nyt Scanian keskimääräinen kuorma painoi 19 tn, kun se maksimissaan voisi painaa 30,5 tn. Tutkimus- ja kehitystyötä tulisi jatkaa, jotta auton kokonaispaino (60 tn) kokonaan hyödynnettäisiin. Tämän tavoitteen saavuttaminen edellyttää taitavia kuljettajia, joilta onnistuu kuorman teko hyvin. Kuljettajien taidon vaikutus paljastui, kun kosteuden ja kannon ominaispainon vaikutus poistettiin ajattamalla raaka-ainetta samasta kasasta käyttöpaikkamurskalle. Lisäksi huolellisen kuorman lastauksen ja pakkaamisen merkitys korostui Scanian suuressa kuormatilassa. Erityisesti hydraulisesti jatkettavan peräosan käyttö toi kuljettajien ammattitaidon esille. Pitkän auton (25,25 m) kuormaukseen vaikuttivat myös kantokasojen oikea sijainti sekä tilava kuormauspaikka ja tieyhteys.

Kuljetusmatka vaikutti lineaarisesti kuorman kuljetusaikaan sekä tyhjänä että täytenä ajettaessa. Tehotuntituottavuuteen se vaikutti siten, että tuotavuuden aleneminen hidastui matkan suhteen 40 km:n kohdalla. Lyhyillä kuljetusmatkoilla korostuivat satunnaistekijöiden ja painoon vaikuttavien

tekijöiden osuudet. Siksi yhden selittävän muuttujan regressiomalleja voi suositella taksan laadintaan vain yli 40 km:n ajomatkoilla. Lyhyilläkin ajomatkoilla tuntituotokset toki yleensä olivat isommalla autolla suurempia, mutta vaihteluväli kasvoi. Tämä vaihtelu johtui kuljettajien ammattitaidosta, ajettavasta kanto- ja juuripuuaineesta sekä keliolosuhteista. Huomiointavaa on, että Volvon hakemat kuormat sijaitsivat lähempänä käyttöpaikkaa kuin Scanian hakemat kuormat. Tämä itse asiassa aiheutui kuormatilan pienuudesta. Siksi tämän tutkimuksen perusteella on vaikea tehdä yleistettäviä johtopäätöksiä siitä, että voiko isommalla autolla ajaa kauempaa kannattavammin kuin pienellä autolla. Tässä suhteessa tätä työtä pitäisi jatkaa keräämällä lisää aineistoa etenkin pienemmästä autosta. Lisäksi purkamisen yhteydessä tapahtuneita viivytyksiä ja odottelua sattui enemmän Volvolle. Nämä aiheutuivat joko biomurskan ongelmista tai muusta ruuhkasta.

Kanto- ja juuripuun kaukokuljetuksen kannattavuuslaskelmien pitäisi perustua energiasaantoon. Koska tämä lähestymistapa ei ole vielä käytännössä mahdollista, tulisi kustannusrakenteen kehittämisessä ensisijaisesti kiinnittää huomiota seuraaviin yleisiin seikkoihin.

1. Kanto- ja juuripuuvarastoista tulisi tehdä riittävän suuria ja niihin tuotavan raaka-aineen tulisi olla mahdollisimman puhdasta humuksesta ja kivennäisaineesta sekä hyvin paloiteltua jo nostovaiheessa.
2. Kuljettajien valinnassa tulee käyttää suurta harkintaa ja kouluttaa heidät hyvin.
3. Käyttöpaikkamurskauksen yhteyteen tulisi varata riittävästi varastotilaa, jolloin murskasta johtuvat ruuhkat eivät aiheuttaisi odotuskustannuksia. Lisäksi varastolta murskalle kuljetus voisi tapahtua jo olemassa olevalla kalustolla.

Kirjallisuutta

- Halonen, P., Lipponen, K., Aarnio, J., Erkkilä, A. 2001. Esiselvitys kantojen noston ja energiakäytön edellytyksistä Etelä-Suomen metsämailla. VTT energian tutkimusraportti ENE3/T0103/2001. 40 s.
- Hakkila, P. 1976. Kantopuu metsäteollisuuden raaka-aineena. *Folia Forestalia* 292. 39 s.
- Kuitto, P.-J. 1984. Kantopuun korjuu kivennäismailla. *Metsätehon Tiedotus* 385. 16 s.

Mäkelä, M. 1972. Kanto- ja juuripuun kuljetus. Folia Forestalia 146. 23 s.

Salonen, J. 2008. Kanto- ja juuripuun kaukokuljetuksen kustannusrakenne. Metsäteknologian pro gradu. Itä-Suomen yliopisto. 40 s.

■ Prof. Teijo Palander, Itä-Suomen yliopisto, metsätieteiden osasto, Joensuu; Jaska Salonen, Metsästäjäliitto; Heikki Ovaskainen, Metsäteho
Sähköposti teijo.s.palander@uef.fi