

OPTIMAALISESTA VINSSAUSMATKASTA

MATTI KÄRKKÄINEN

SUMMARY:
ON THE OPTIMUM WINCHING DISTANCE

Saapunut toimitukselle 1. 10. 1970

Tutkimus kuuluu osana Harvennuspuun korjuun koneellistamistoimikunnan selvityksiin

Tutkimuksessa kehitetään matemaattinen malli, joka kuvaa kustannusten muodostumista vinssauksessa ja sitä seuraavassa palstatiekuljetuksessa. Sen avulla määritetään kustannusten kannalta optimaalinen vinssausmatka 15 muuttujan kuvatessa korjuumenetelmän ja ympäristöolosuhteiden vaihtelua. Tutkimuksessa havaitaan vinssausuran optimaaliseen pituuteen eniten vaikuttaviksi tekijöiksi pinta-alayksiköltä korjattava puumäärä, vinssausaakan koko, vinssausmatkasta riippuvien aikojen regressiokerroin sekä koneiden tuntiveiloitukset ja keskeytysten osuudet. Tutkimuksessa todetaan myös optimaalisuudesta poikkeamisella olevan yleensä vain vähäinen vaikutus muodostuviin kustannuksiin.

1. JOHDANTO

11. PUUNKORJUUN OSAONGELMIEN RATKAISUMALLIEN TARVE

Ennen tietokoneiden kehittymistä ja käyttöönottoa ei yleensä ollut mahdollista jonkin suuren organisaation sisällä tarkastella kokonaisuuden toimintaa valittujen tavoitteiden saavuttamisen kannalta, vaan täytyi tyytyä pienempien osien toiminnan optimointiin. Tästä voi olla seurauksena, että kokonaisuuden toiminta saattoi muodostua epäoptimaaliseksi huolimatta osatehtävien mahdollisimman hyvästä suorittamisesta. Esimerkiksi jonkin organisaation puunkorjuussa voitiin suunnitella kukin leimikko erikseen mahdollisimman hyväksi, mutta kaikkien leimikoiden muodostama kokonaisuutta ajatellen tulos saattoi olla käytettävissä olevat resurssit huomioon ottaen epäoptimaalinen.

Nykyään, kun laajojenkin toimintakokonaisuuksien hallitseminen on ainakin teoriassa mahdollista, pyritään mm. puunkorjuun suunnittelussa kokonaisuutta koskevien mallien konstruointiin ja vastaavantasoisten ohjaussysteemien luomiseen (Vrt. esim. GRIPENBERG 1968). Tämän vuoksi monet aikaisem-

min kehitetyt, joihinkin systeemin osiin huomiota kiinnittävät mallit ovat osittain käymässä tarpeettomiksi. Erityisesti näin on silloin, kun ao. osien toiminnalla on vaikutusta muun systeemin toimintaan.

Eräissä tapauksissa on kuitenkin ilmeistä, että vain jotakin puunkorjuuketjun osaa koskevien mallien konstruointi on tarkoituksenmukaista myös pyrittäessä koko organisaation huomioon ottamiseen. Puunkorjuussa esim. työmaittainen kuljetusmuotojen niveltäminen voi olla muusta korjuuprosessista erillisenä tarkasteltavissa oleva ilmiö, kun laajemman suunnittelun yhteydessä on määrätyn ko. työmaalla käytettävä kalusto. Muuhun puunkorjuutoimintaan haitallisesti vaikuttamatta voidaan tällöin päättää resurssien edullisimmasta allokoinnista juuri ko. työmaan erikoistapauksessa.

Mitä pienempiä taloudellisia arvoja suunnittelulla on voitettavissa, sitä vähemmän siihen kannattaa ekonomisesti ajatellen sijoittaa. Näin ollen esim. kaukokuljetusten suunnittelussa voidaan kehittää malleja, joissa tehtaiden ja eri liikenneväylien sijainnit heijastuvat hyvin luonnonmukaisesti. Sen sijaan mm. optimaalista palstatietiheyttä analysoitaessa tyydytään yleensä karkeisiin approksimaatioihin, koska ei kannata tarkastella kunkin työmaan muodostamaa erikoistapausta erikseen ja kehittää sille optimiratkaisua. Sen sijaan pyritään luomaan malleja, jotka ovat laajalti yleistettävissä ja helposti sovellettavissa mitä erilaisimpiin olosuhteisiin, ja kuitenkin tuottavat likimääräisesti mahdollisimman hyvän tuloksen.

Edellä olevan perusteella lienee ilmeistä, että huolimatta kokonaissuunnittelun ideaalista tarvitaan edelleen usein toistuvien osaongelmien ratkaisumalleja, jotka ovat helposti myös vähän koulutetun puunkorjuusta vastaavan henkilöstön sovellettavissa. Esimerkkinä mainittakoon vain SILVENNOISEN (1969) ohjeet työnjohtajistolle.

Käsikirjoituksen ovat hyväntahtoisesti lukeneet prof. KALLE PUTKISTO, vt. apul.prof. PEKKA KILKKI, MMK RIIKKO HAARLAA, MH HEIKKI JUSLIN ja MH LASSE PÄIVÄTIE. Kiitän saamastani tuesta.

12. TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA AIKAISEMPIA TUTKIMUKSIA

Harvennuspuun korjuussa usein toistuva ongelma on määrittää puiden ensimmäisen siirtelyn ja palstatiellä tapahtuvan kuljetuksen raja, ts. määrittää sopiva palstatietiheys. Mikäli raivattuja ajouria on harvassa, puutavaraa kuljettava kone voi toimia tehokkaasti, mutta yleensä ihmisvoimin tai vintturein suoritettuna ensimmäisen kuljetuksen matkat ovat pitkiä. Mikäli palstateitä on tiheässä, siirtelymatkat ovat lyhyitä, mutta puutavaraa ajouralla kuljettava kone joutuu toimimaan epäedullisissa olosuhteissa pitkän kuormausajomatkan ja pienen metsävarastomuodostelmien koon vuoksi.

Tämä tutkimus käsittelee harvennuspuun korjuumenetelmää, jossa puiden ensimmäistä siirtelyä on pyritty keventämään suorittamalla se vintturilla. Puut

on kaadettu suunnatusti vinssausuralle, joka on kohtisuorassa palstatietä vas-
ten. Rungot on suunnattu siten, että niiden latvapäästä saadaan helposti sido-
tuksi muutaman rungon muodostama taakka. Rungot voi olla valmistettu myös
puutavaralajeiksi, jotka on koottu vinssausuralle taakoiksi. Oleellista on aino-
astaan se, että ennen vinssausta seuraavaa kuljetusvaihetta puut on katkottava
lyhyemmiksi, koska palstatien suuntaiseksi kääntämistä ei ole tyydyttävästi
ratkaistu runkojen ollessa täysimittaisia. Vinssauksen jälkeen kuljetuksen suo-
rittava kuormaa kantava traktori, tai puutavara juonnetaan puolilaahuskuor-
mana väliavarastolle. *Ongelmana on määrittää optimaalinen palstatieväli (tai
vinssausurien pituus¹⁾ korjuumenetelmän yksityiskohtien vaihdellessa²⁾.*

Vastaavanlaista problemaa on käsitelty kirjallisuudessa varsin laajalti,
joskin useimmat tutkimukset koskevat varsin korkealuokkaisten teiden tihey-
den optimointia (Esim. DANELL 1939). Kaikissa on kuitenkin periaatteena se,
että muodostetaan sellainen maasto- ja tiekuljetuksen kombinaatio, jolla kulje-
tuskustannukset saadaan minimoiduiksi.

Em. DANELLIN (1939) yksinkertaisesta päättelystä poiketen useimmat tut-
kimukset perustuvat kustannusten matemaattisen mallin konstruointiin ja sen
analyttiseen ratkaisuun (Esim. MATTHEWS 1942, SUNDBERG 1953, STREHLKE
1957, LARSSON 1959, LARSSON 1962). Itse asiassa, kysymyksessä on varsin ylei-
sen operaatioanalyttisen menetelmän soveltaminen metsälliseen ongelmaan.
(Ks. LUSSIER 1961, RÖNNBO 1963). Etenkin Ruotsissa aikaisemmin varsin yk-
sinkertaisia malleja on kehitetty ja sovellettu erilaisiin tiestön optimoinnin
ongelmiin ja erikoistapauksiin (Esim. ANDERSSON 1960, LARSSON ja RYDSTERN
1968, GRINELL ja SUNDBERG 1970). Myös suomalaisessa kirjallisuudessa meto-
din perusteita on esitetty (Mm. KLEMENČIČ 1964).

2. MATEMAATTISEN MALLIN KONSTRUOIMINEN

Mallissa tarkastellaan harvennustyömaalla olevaa tyypillistä vinssauspals-
taa, jollaisia kuuluu suuri määrä samaan leimikkoon. Juontokustannusten muo-
dostuminen lasketaan vain yhtä palstaa kohti, koska se on ongelman ratkaisun
kannalta riittävää. Myöskään ei ole tarpeellista tarkastella kaikkia käytän-
nössä muodostuvia kustannuksia, koska ne eivät vaikuta optimaalisen vinssaus-
uran pituuteen.

Kun pinta-alayksiköltä poistettava puumäärä on $v \text{ m}^3/\text{m}^2$, vinssauspalstan
leveys on w metriä ja pituus l metriä, saadaan kunkin vinssauspalstan puu-

¹⁾ Tässä tutkimuksessa tarkoitetaan vinssausurien pituudella ja (maksimaalisella) vinssausmatkalla sa-
maa asiaa. Palstatieväli on kaksi kertaa vinssausmatka lisättynä mm. suunnatun kaadon matkaa lyhentävällä
vaikutuksella.

²⁾ Korjuumenetelmän kuvaus on jätetty väljäksi, jotta voitaisiin saada mahdollisimman yleinen malli.
Näin ollen tämän tutkimuksen piiriin kuuluvat esim. sekä kevyet yksirumpuiset vintturit että järeät palau-
tusvaijeria käyttävät laitteistot.

määräksi $vlw \text{ m}^3$). Leveys w riippuu ennen kaikkea puiden koosta ja metsän
tiheydestä, koska harvennusmetsässä puut täytyy saada kaadetuksi vinssaus-
uralle varsin vinosti kasvavan puuston vaurioitumisen välttämiseksi²⁾. Vins-
saustaakaan i juontoon kuluvan ajan t_i oletetaan olevan muotoa

$$(1) \quad t_i = a_1 + b_1 l_i, \text{ jossa}$$

a_1 koostuu vinssausetäisyydestä l_i riippumattomista erilaisista valmisteluajoista
sekä taakan kiinnittämisestä ja irroittamisesta, ts. vakioajoista. Kerroin b_1
on matkan pituudesta riippuvien aikojen regressiokerroin.

Kun taakan koko on $M \text{ m}^3$, on kullakin palstalla taakkoja $\frac{vlw}{M}$ kappalet-

ta. Suunnatun kaadon matkaa lyhentävän vaikutuksen ollessa n metriä on
kaikkien taakkojen vinssausaika kuutioyksikköä kohti T_1 .

$$(2) \quad T_1 = \frac{vlw}{M} \cdot \frac{a_1}{vlw} + \frac{\sum_{i=1}^q b_1 l_i}{vlw} = \frac{a_1}{M} + \frac{b_1 (l-n)}{2M}, \text{ jossa}$$

$$q = \frac{vlw}{M} = \text{taakkojen lukumäärä.}$$

Vinssaavan koneen siirtelyaika vinssausuralta toiselle on kuutioyksikköä
kohti

$$(3) \quad T_2 = \frac{a_2 + b_2 w}{vlw}, \text{ jossa}$$

a_2 on siirtelymatkasta riippumattomien aikojen summa ja b_2 on siirtelymat-
kasta riippuvien aikojen regressiokerroin min/m.

Lisäksi voidaan olettaa, että vinssaustyön ajanmerkki yksikköä kohti kas-
vaa palstalta poistettavan puumäärän lisääntyessä, koska samaan kasaan juon-
nettaessa työn suoritus vaikeutuu. Approksimaationa voidaan arvioida ajan

¹⁾ Merkintä vlw tarkoittaa v kertaa w .

²⁾ Avohakkuualueilla olisi realistisessa mallissa myös vinssauspalstan leveys muutettavissa oleva tekijä.
Harvennuspun korjuussa tähän ei ole yleensä mahdollisuuksia.

kasvavan suhteessa puumäärän neliöön¹⁾. Näin ollen kuutioyksikköä kohti laskettu aika on

$$(4) \quad T_3 = \frac{b_5 v^2 l^2 w^2}{v l w} = b_5 v l w, \text{ kun } b_5 \text{ on ko. regressiokerroin } \text{min}/(\text{m}^3)^2.$$

Kun otetaan huomioon keskeytyslisäkerroin Z_w , jolla kertomalla saadaan teholliseen työskentelyyn ja keskeytyksiin yhteensä kulunut aika, saadaan seuraava vinssausuuden kustannus m^3 kohti K_w .

$$(5) \quad K_w = W Z_w \left(\frac{a_1}{M} + \frac{b_1 (1-n)}{2M} + \frac{a_2 + b_2 w}{v l w} + b_5 v l w \right), \text{ jossa}$$

W = vinssaavan koneen ja työntekijöiden veloittama minuuttihinta.

Palstatiellä puutavaraa kuljettavan traktorin siirtymisaika kuormattavalta kasalta toiselle kuutioyksikköä kohti T_4 on

$$(6) \quad T_4 = \frac{a_3 + b_3 w}{v l w}, \text{ jossa } a_3 \text{ on siirtelymatkasta riippumattomien aikojen}$$

summa ja b_3 on siirtelymatkasta riippuvien aikojen regressiokerroin min/m .

Kuormausaika on kullakin vinssauspalstalla kuutioyksikköä kohti

$$(7) \quad T_5 = \frac{a_4 + b_4 v l w}{v l w} = \frac{a_4}{v l w} + b_4, \text{ jossa } a_4 \text{ on kuormattavasta puumää-}$$

rästä (kasan koosta) riippumattomien aikojen summa, b_4 on kasan koosta riippuvien aikojen regressiokerroin min/m^3 .

Kun keskeytykset otetaan huomioon samalla tavoin kuin kaavassa (5) keskeytyslisäkertoimella Z_F , saadaan puutavaraa palstatiellä kuljettavan koneen kustannus m^3 kohti K_F

$$(8) \quad K_F = F Z_F \left(\frac{a_3 + b_3 w}{v l w} + \frac{a_4}{v l w} + b_4 \right), \text{ jossa } F = \text{puutavaraa palsta-}$$

tiellä kuljettavan koneen ja työntekijöiden veloittama minuuttihinta.

Vinssauksen ja palstatiellä kuljettamisen kustannuksien lisäksi on otettava huomioon palstatiien raivauskustannukset. Kun b_6 on raivaustyön hinta juoksumetriä kohti, saadaan raivauskustannukseksi m^3 kohti K_r .

¹⁾ Olettamuksella ei ole empiiristä pohjaa. Mallin analyttinen ratkaistavuus säilyy, vaikka oletettaisiin ainoastaan rajoittamaton potenssifunktio. Tällöin jouduttaisiin kuitenkin käyttämään iteratiivisia menetelmiä optimimatkan määrittämisessä.

$$(9) \quad K_r = \frac{b_6 w}{v l w}$$

Koko puunkorjuun kustannukset K_T ovat analysoitavalta osalta näin ollen

$$(10) \quad K_T = K_w + K_F + K_r \\ = W Z_w \left(\frac{a_1}{M} + \frac{b_1 (1-n)}{2M} + \frac{a_2 + b_2 w}{v l w} + b_5 v l w \right) + \\ F Z_F \left(\frac{a_3 + b_3 w}{v l w} + \frac{a_4}{v l w} + b_4 \right) + \frac{b_6 w}{v l w}$$

Kun K_T derivoidaan vinssausuran pituuden l suhteen, saadaan *minimikustannuksia* vastaava vinssausuran pituus merkitsemällä derivaatta nolaksi, koska toinen derivaatta on positiivinen. Sievennysten jälkeen saadaan vinssausuran pituudeksi l metreinä

$$(11) \quad l = \sqrt{\frac{F Z_F (a_3 + b_3 w + a_4) + b_6 w}{W Z_w} + a_2 + b_2 w} \\ \frac{b_1 v w}{2M} + b_5 v^2 w^2$$

Kaavasta (11) voidaan välittömästi tehdä joitakin yleisiä johtopäätöksiä. — Vinssausurien taloudellisesti edullisin pituus on sitä suurempi (*ceteris paribus*),

- mitä suurempi on palstatiellä liikkuvan koneen ja vinssauskoneen tunti-veloitusten suhde,
- mitä hitaampia koneet ovat siirtymään vinssauspalstalta toiselle,
- mitä suuremmat palstatiien raivauskustannukset ovat,
- mitä suurempi on palstatiellä liikkuvan koneen kuormattavan kasan koosta riippumaton kuormausaika,
- mitä vähemmän vinssausmatkan lisääntyminen vaikuttaa vinssausajan menekkiin,
- mitä vähemmän puutavaraa hakataan pinta-alayksiköltä,
- mitä kapeammat vinssauspalstat ovat,
- mitä suurempi on vinssausuuden koko ja
- mitä vähemmän vinssatun kasan koko vaikuttaa vinssausuutta hankaloittavasti.

Eri tekijöiden vaihtelun vaikutusta optimaaliseen vinssausuran pituuteen voidaan analysoida myös tarkemmin, mikäli kaavassa (11) olevat 15 vaikuttavaa muuttujaa saadaan määritellyiksi suuruusluokaltaan esim. empiirisiin tutkimuksiin. Toisin sanoen on mahdollista tehdä johtopäätöksiä siitä, kuinka paljon jokin vaikuttaa.

3. VINSSAUSURIEN EDULLISIN PITUUS KÄYTÄNNÖN PUUNKORJUUSSA

Erilaisten empiiristen vintturikuljetusta koskevien tutkimusten perusteella on vaikeaa selvittää, missä määrin edellä esitetyllä matemaattisella mallilla on mahdollista kuvata vintturijuonnon suorittamista käytännössä. Osittain syynä on se, että tutkimusten tavoitteet ovat olleet erilaiset. Toisaalta aina ei myöskään tutkimustuloksia ole esitetty niin tarkasti, että tässä tutkimuksessa kehitetyn mallin pätevyyttä voisi kontrolloida. Varsin huomattavaa apua on ideoinnissa kuitenkin ollut PUTKISTON (1956), KARVOSEN (1961), RINNEMAAN (1964) sekä ALA-HEIKKILÄN ja RUOSTEEN (1970) tutkimuksista. Niiden perusteella näyttää mahdolliselta, että vinssaustyön ja sitä seuraavan kuljetuksen oleellimmat piirteet on saatu säilytetyksi.

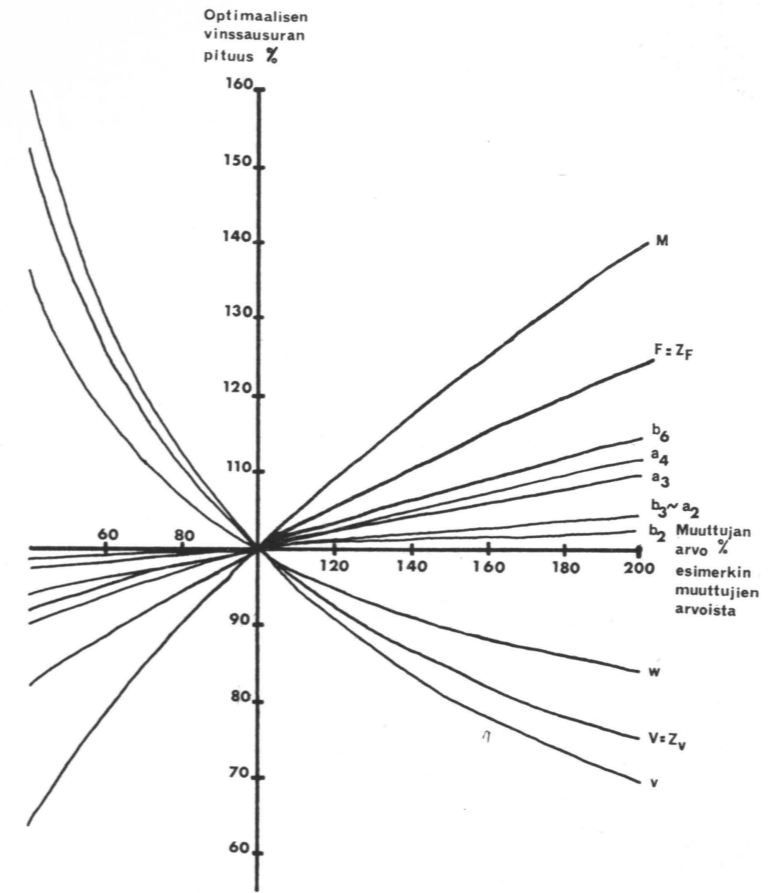
Taulukossa 1 on esitetty optimaalisen vinssausuran pituuden arvoja eräissä olosuhteissa kaavan (11) mukaan laskettuina. Mielikuva eri muuttujien arvojen suuruusluokista on saatu em. tutkimusten perusteella sekä palstatiekuljetuksen osalta PETTERSSONIN (1968) selvityksestä. Taulukko ei läheskään kata kaikkia mahdollisia olosuhteita ja menetelmiä, mutta kaavan (11) avulla voidaan helposti laskea erilaisten muutosten vaikutus vinssausuran edullisimpaan pituuteen.

Jotta voitaisiin saada kuva eri tekijöiden suhteellisesta tärkeydestä, on valittu subjektiivisesti esimerkki vinssaustyötä ja sitä seuraavaa kuljetusta kuvaavien muuttujien saamista arvoista. Tämän jälkeen on laskettu, millainen vaikutus optimaaliseen vinssausuran pituuteen on eri tekijöiden yksinään tapahtuvilla muutoksilla, jotka ovat suuruusluokaltaan $-50 \dots +200\%$. Esimerkissä käytettiin seuraavia arvoja (symbolit on selostettu sivuilla 288–290).

$b_1 = 0.03$	$a_2 = 0.20$	$F = 0.50$
$b_2 = 0.01$	$a_3 = 0.20$	$Z_F = 1.15$
$b_3 = 0.0075$	$a_4 = 0.25$	$w = 12$
$b_5 = 0.03$		$v = 0.004$
$b_6 = 0.015$		$M = 0.3$
		$W = 0.20$
		$Z_w = 1.15$

Saadut tulokset on esitetty kuvassa 1. — Voidaan havaita, että optimaalisen vinssausuran pituuteen vaikuttavat eniten pinta-alayksiköltä korjattava puumäärä, vinssaustaakan koko, vinssausmatkasta riippuvien aikojen regressio-kerroin sekä koneiden tuntiveloitukset ja keskeytyskertoimet. Kuvasta 1 voidaan myös selvittää, kuinka paljon jonkin tekijän muutos vaikuttaa vinssausuran optimaaliseen pituuteen muiden tekijöiden pysyessä muuttumattomina.

Mallin rakenteesta johtuu, että optimi on suhteellisen stabiili.



Kuva 1. Eri tekijöiden muuttumisen vaikutus optimaalisen vinssausuran pituuteen kaavan (11) mukaan laskettuna. Muuttuja b_1 on muuttujien w ja v välissä. Muuttuja b_5 on lähes x -akselilla. — Symbolit ks. s. 288–290.

Picture 1. The effect of different variables on the optimum winching distance according to formula (11). The variable b_1 is between the variable w and v . The variable b_5 is near the x -axis. — Symbols, see p. 288–290.

Optimaalinen vinssausuran pituus =

The optimum winching distance

Muuttujan arvo % esimerkin muuttujien arvoista =

The value of the variable expressed in percentage of the values in the example p. 282.

Taulukko 1. Vinssausurien optimaalinen pituus eri
Table 1. The optimum winching distance in various

olosuhteissa. — Symbolien selitys ks. s. 288—290.
circumstances. — Symbols, see p. 288—290.

a ₁	a ₂	b ₂	Poistettava puutavara Cutting volume				määrä m ³ /ha (v) cu. m./ha							
			20				30				40			
			Vinssaustaakan Size of winching				koko m ² (M) load, cu.m.				uran pituus, m (l) distance, m			
			0.3	0.6	0.9	1.2	0.3	0.6	0.9	1.2	0.3	0.6	0.9	1.2
0.1	0.20	0.01	73	101	121	137	59	81	96	108	50	69	81	90
		0.02	52	73	88	101	42	59	71	81	36	50	60	69
		0.03	43	58	73	83	35	48	59	67	30	42	50	57
		0.04	37	52	63	73	30	42	51	59	26	36	44	50
	0.40	0.01	76	105	126	143	61	84	100	113	53	72	85	94
		0.02	54	76	92	105	44	61	74	84	38	53	63	72
		0.03	44	62	76	87	36	51	61	70	31	44	53	60
		0.04	39	54	66	76	31	44	54	61	27	38	46	53
	0.60	0.01	79	110	131	149	64	88	104	117	55	74	88	98
		0.02	56	79	96	110	46	64	77	88	39	55	66	74
		0.03	46	65	79	91	38	53	64	73	32	45	55	62
		0.04	40	56	69	79	33	46	56	64	28	39	48	55
0.80	0.01	82	114	136	155	66	91	108	122	57	77	91	102	
	0.02	59	82	99	114	48	66	80	91	41	57	68	77	
	0.03	48	67	82	94	39	55	66	76	34	47	57	65	
	0.04	42	59	71	82	34	48	58	66	29	41	50	57	
0.2	0.20	0.01	77	106	128	145	62	85	101	114	53	72	85	95
		0.02	55	77	93	106	44	62	75	85	38	53	64	72
		0.03	45	63	77	88	37	51	62	71	32	44	53	61
		0.04	39	55	67	77	32	44	54	62	27	38	46	53
	0.40	0.01	80	110	133	150	64	88	105	119	55	75	89	99
		0.02	57	80	97	110	46	64	78	88	40	55	66	75
		0.03	47	66	80	91	38	53	64	74	33	46	55	63
		0.04	40	57	69	80	33	46	56	64	28	40	48	55
	0.60	0.01	83	115	138	156	67	92	109	123	57	78	92	103
		0.02	59	83	100	115	48	67	81	92	41	57	69	78
		0.03	48	68	83	95	39	55	67	76	34	47	57	65
		0.04	42	59	72	83	34	48	58	67	30	41	50	57
0.80	0.01	86	119	142	161	69	95	113	127	59	81	95	107	
	0.02	61	86	104	119	50	69	83	95	43	59	71	81	
	0.03	50	70	86	98	41	57	69	79	35	49	59	68	
	0.04	43	61	74	86	35	50	60	69	31	43	52	59	
0.3	0.20	0.01	80	112	134	152	65	89	106	120	56	76	90	100
		0.02	58	80	98	112	47	65	78	89	40	56	67	76
		0.03	47	66	80	92	38	54	65	74	33	46	56	64
		0.04	41	58	70	80	33	47	57	65	29	40	49	56
	0.40	0.01	83	116	139	157	67	93	110	124	58	79	93	104
		0.02	60	83	101	116	48	67	81	93	42	58	69	79
		0.03	49	69	83	96	40	56	67	77	34	48	58	66
		0.04	42	60	73	83	34	48	59	67	30	42	51	58
	0.60	0.01	86	119	144	163	70	96	114	128	60	81	96	107
		0.02	62	86	105	119	50	70	84	96	43	60	72	81
		0.03	50	71	86	99	41	57	70	80	35	49	60	68
		0.04	44	62	75	86	36	50	61	70	31	43	52	60
0.80	0.01	89	123	148	168	72	99	118	132	62	84	99	111	
	0.02	64	89	108	123	52	72	87	99	44	62	74	84	
	0.03	52	73	89	102	42	59	72	82	37	51	62	70	
	0.04	45	64	77	89	37	52	63	72	32	44	54	62	

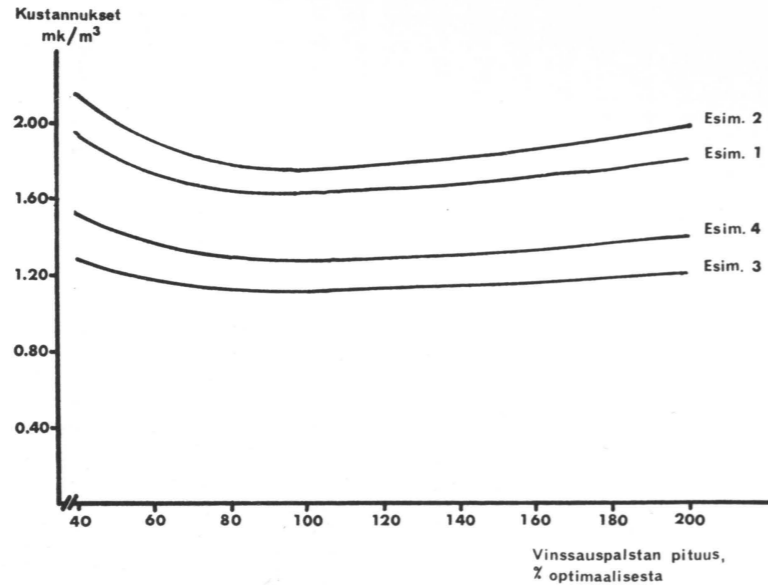
Muiden muuttujien arvot:
Values of other variables:

b₂ = 0.01
b₃ = 0.0075
b₅ = 0.03
b₆ = 0.015

a₄ = 0.25
F = 0.50
Z_F = 1.15
V = 12
W = 0.20
Z_W = 1.15

4. OPTIMIPITUUDESTA POIKKEAMISEN VAIKUTUS KUSTANNUKSIIN

Jotta voitaisiin selvittää, kuinka paljon vaikuttaa analysoituihin kokonaiskustannuksiin optimaalisesta vinssauspalstan pituudesta poikkeaminen, on laskettu joitakin esimerkkitapauksia käyttäen kaavaa (10) (s. 281). Esimerkiksi käytettyjen muuttujien arvot on esitetty taulukossa 2 ja saadut tulokset ku-



Kuva 2. Vinssauspalstan optimipituudesta poikkeamisen vaikutus kustannuksiin neljässä esimerkkitapauksessa. Esimerkit ks. taulukko 2.

Picture 2. The effect of the deviation from the optimum winching distance on the cost in four examples. The examples, see table 2.

Kustannukset, $\text{mk}/\text{m}^3 =$

The cost, mk per cu.m.

Vinssauspalstan pituus, % optimaalisesta =

The winching distance expressed in percentage of the optimum.

Esim. = Example.

vassa 2. — Voidaan havaita, että optimipituudesta poikkeamisella on kehityksen mallin mukaan varsin vähäinen vaikutus analysoitaviin kokonaiskustannuksiin. Etenkin vinssausuran liiallinen pituus lisää kustannuksia vain vähän. Käytännön puunkorjuun kannalta tämä merkitsee sitä, että voidaan tyytyä varsin likimääräisiin menetelmiin vinssausuran sopivaa pituutta määritettäessä, koska lievästi virheellisellä arvioinnilla ei ole oleellista merkitystä kustannusten muodostumisessa. Voidaan menetellä esim. siten, että kutakin vintturityyppiä ja työmenetelmää varten annetaan ohjeet vinssausurien pituudesta erilaisissa olosuhteissa, koska useat vinssausuran optimipituuteen vaikuttavat tekijät kaavassa (10) riippuvat niistä. — Käytännössä lienee näin meneteltykin.

Taulukko 2. Kustannuslaskentaesimerkeissä käytetyt muuttujien arvot.

Symbolit ks. s. 288—290.

Table 2. The values of the variables in four cost examples.

Symbols, see page 288—290.

Muuttuja Variable	Esimerkki Example			
	1	2	3	4
b_1	0.03	0.020	0.03	0.03
b_2	0.01	0.01	0.01	0.02
b_3	0.0075	0.0075	0.0075	0.01
b_4	1.0	1.0	1.0	1.0
b_5	0.03	0.03	0.02	0.02
b_6	0.015	0.015	0.015	0.015
a_1	0.50	0.50	0.70	0.70
a_2	0.20	0.20	0.25	0.60
a_3	0.20	0.20	0.25	0.25
a_4	0.25	0.25	0.25	0.25
F	0.50	0.50	0.50	0.50
Z_F	1.15	1.15	1.15	1.15
w	12.00	12.00	16.00	16.00
v	0.004	0.002	0.004	0.003
M	0.30	0.30	0.80	0.30
W	0.20	0.20	0.20	0.20
Z_w	1.15	1.15	1.15	1.30
l	31.57	54.781	58.358	71.498
n	7	7	10	10

KIRJALLISUUSLUETTELO

- ALA-HEIKKILÄ, ESKO ja RUOSTE, TEEMU 1970. Kokeita harvennuspuun esikasauksesta maataloustraktorisoivitteilla juontovarusteilla. Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian tutkimusosasto. Moniste. Helsinki.
- ANDERSSON, STIG 1960. Några kalkylmodeller för bilbasvägar och permanenta bilvägar. Statens skogsforskningsinstitut. Avdelning för arbetslära. Rapporter Nr. 11. Stockholm.
- DANELL, CLAES 1939. Undersökning rörande den rationella tätheten hos ett bilvägnät för transport av skogsprodukter på syd- och mellansvenska skogsbruk. Svenska skogsvårdsföreningens tidskrift 37: 298—307.
- GRINELL, ANDERS ja SUNDBERG, ULF 1970. Mall för planläggning av skogsbilvägarnas ytterförgreningar. Institutionen för skogsteknik. Rapporter och uppsatser Nr. 36. Skogshögskolan. Stockholm.
- GRIPENBERG, NILS B. 1968. Totalkalkylen -ett problem såväl för skogssidan som för industrin. Puun korjuun mekanisointipäivät. Insinöörijärjestöjen Koulutuskeskus, julk. 17—68. Helsinki.
- KARVONEN, LEO 1961. Tutkimus pinotavaran ja tukkien vinssauksesta 2-rumpuisella Isachsen-vintturilla. Metsähallinnon hankintateknillinen toimisto. Tutkimuslaskelma N:o 13.
- KLEMENČIČ, IVAN 1964. Metsäteiden optimaalinen tiheys. Metsätaloudellinen Aikakauslehti 81 (11): 406—408, 435.

- LARSSON, GERHARD 1959. Studies on forest road planning. Kungl. tekniska högskolans handlingar Nr. 147. Stockholm.
- LARSSON, GERHARD 1962. Skogsbilvägnätets planläggning. Teknik i skogsbruket, s. 55–62. Forskningsstiftelsen SDA. Meddelande Nr. 76. Stockholm.
- LARSSON, GERHARD ja RYDSTERN, OLOF 1968. Economic design of motor truck haul road systems in forest areas. Acta Polytechnica Scandinavica. Civil Engineering and Building Construction Series No. 52. Stockholm.
- LUSSIER, L.J. 1961. Planning and control of logging operations. Université Laval. Québec.
- MATTHEWS, DONALD MAXWELL 1942. Cost control in the logging industry. New York—London.
- PETTERSSON, BO 1968. Terrängtransport av massaved med griplastarutrustad traktor. Forskningsstiftelsen Skogsarbeten, Redogörelse Nr. 1 (1968).
- PUTKISTO, KALLE 1956. Hinausvastus juonettaessa puutavaraa traktorivintturilla. Metsätehon tiedotuksia 121.
- RINNEMAA, JUHANI 1964. Tutkimus kokorunkoina vinssauksesta 2-rumpuisella Joutsa-vintturilla. Metsähallinnon hankintateknillinen toimisto. Tutkimusselostus N:o 60.
- RÖNNBO, C.-A. 1963. Vägplanering — operationsanalytisk lagerbestämning? Svenska Skogsårdsföreningens Tidskrift 61 (4): 383–389.
- SILVENNOINEN, UNTO 1969. Maastokuljetusmatkan ja tieverkoston tiheyden optimointi. Metsähallinnon teknillisiä tiedotuksia N:o 68.
- STREHLKE, E.G. 1957. Holzbringung und Wegebau. Gedanken zu neuen Büchern. Forstarchiv 28 (4): 73–78.
- SUNDBERG, ULF 1953. Studier i skogsbrukets transporter. Föreningen Skogsarbetens och Kungl. Domänstyrelsens Arbetsstudieavdelning. Meddelande n:r 48.

SYMBOLIT
SYMBOLS

- v = hakattava puumäärä, m^3/m^2
cutting volume, cu.m. per sq.m.
- w = vinssauspalstan leveys, m
width of the winching strip, meters
- l = (maksimaalinen) vinssausmatka = vinssausuran pituus
(maximum) winching distance
- t_i = vinssaustaakan i juontoon kuluva aika, min
winching time of load i in minutes
- a_1 = vinssauksen vakioaika, min
winching time in minutes, independent of the winching distance
- b_1 = vinssausmatkasta riippuvien aikojen regressiokerroin
regression coefficient of the times depending on the winching distance
- M = vinssaustaakan koko, m^3
size of the winching load, cu.m.
- T_1 = kaikkien taakkojen vinssausaika palstalla, min/m^3
winching time of all the loads in one strip, minutes per cu.m.
- q = taakkojen lukumäärä palstalla, kpl
number of loads in one strip

- T_2 = vinssaavan koneen siirtelyaika palstalta toiselle, min/m^3
moving time of the winching machine from one strip to another in minutes per cu.m.
- a_2 = siirtelymatkasta riippumaton siirtelyaika, min
moving time in minutes, independent of the moving distance
- b_2 = siirtelymatkasta riippuvien siirtoaikojen regressiokerroin
regression coefficient of the moving times depending on the moving distance
- n = suunnatun kaadon matkaa lyhentävä vaikutus, m
shortening of the winching distance due to directed felling, meters
- T_3 = vinssaustyön hankaloitumisesta johtuva aika, min
time due to difficulties in winching, in minutes
- b_5 = vinssaustyötä hidastavien palstan hakattavasta puumäärästä riippuvien aikojen regressiokerroin
regression coefficient of the times depending on the cutting volume of the strip
- Z_w = vinssauksen keskeytyslisäkerroin
coefficient due to delay times in winching
- K_w = vinssaustyön kokonaiskustannus, mk/m^3
cost of all the winching work in mk per cu.m
- W = vinssaavan koneen ja työmiesten minuuttikustannus, mk
cost of the winching machine and crew per minute, mk
- T_4 = palstatiellä kulkevan traktorin siirtymisaika vinssausuralta toiselle, min/m^3
moving time of forwarder from one strip to another in minutes per cu.m.
- a_3 = siirtymismatkasta riippumaton palstatietraktorin siirtymisaika, min
moving time of the forwarder in minutes, independent of the moving distance
- b_3 = siirtymismatkasta riippuvien siirtoaikojen regressiokerroin
regression coefficient of the moving times depending on the moving distance of the forwarder
- T_5 = kuormausaika kullakin vinssauspalstalla, min/m^3
loading time in one strip in minutes per cu.m.
- a_4 = kuormausmäärästä riippumaton kuormausaika
loading time in minutes, independent of the amount to be loaded
- b_4 = kuormausmäärästä riippuvien kuormausaikojen regressiokerroin
regression coefficient of the loading times depending on the amount to be loaded
- Z_F = palstatiellä kulkevan traktorin keskeytyslisäkerroin
coefficient due to delay times in forwarding
- F = palstatiellä kulkevan koneen ja työmiesten minuuttikustannus, mk
cost of forwarder and crew per minute, mk
- K_r = palstatien raivauskustannukset, mk/m^3
cost of road-making mk per cu.m
- b_6 = palstatien raivauskustannusregressiokerroin

regression coefficient of the road-making costs depending on the length of the road

K_F = palstatiellä kulkevan traktorin kokonaiskustannus, mk/m³
total forwarding costs of the forwarder in mk per cu.m.

K_T = analysoidut puunkorjuun kokonaiskussannukset, mk
total analyzed cost of harvesting, mk

SUMMARY:

ON THE OPTIMUM WINCHING DISTANCE

The goal of this study was to develop a mathematical model for determination of the optimum winching distance in different conditions as based on harvesting costs. As a starting point there is a thinned forest where the strip roads are parallel and the winching routes perpendicularly to them. A directed felling of trees is used so that it is easy to make loads to be winched. The stems can also be prepared to timber assortments on the stump area and gathered to loads for skidding alongside the winching routes.

After winching the timber is transported using a forwarder moving on the strip roads. If the stems have not been bucked in the forest, they are to be prepared to timber assortments before the following transportation, because the problem of turning whole stems in a thinned forest has not yet been solved.

In the mathematical model the formation of the costs was described using 18 variables (formula (10), p. 281) of which 15 had an effect on the optimum winching distance (formula (11), p. 281). Some semiempirical values were estimated concerning these variables, and the corresponding optimum winching distance were computed (table 1, p. 284). It was observed that the optimum was mainly determined by the quantity of timber harvested per unit area, the size of the winching load, the regression coefficient of the times which were dependent on the winching distance, and the hourly costs of the machines and the share of delay times (picture 1, p. 283).

According to the constructed model the deviation from the optimum winching distance does not cause a very great change in the analyzed total costs. When the winching distance is longer, the increase of the costs is smaller than if it is shorter than optimum. In general, the increase of the costs was so small that in practice one obviously can be satisfied with rather approximate methods in determining the suitable winching distance.