

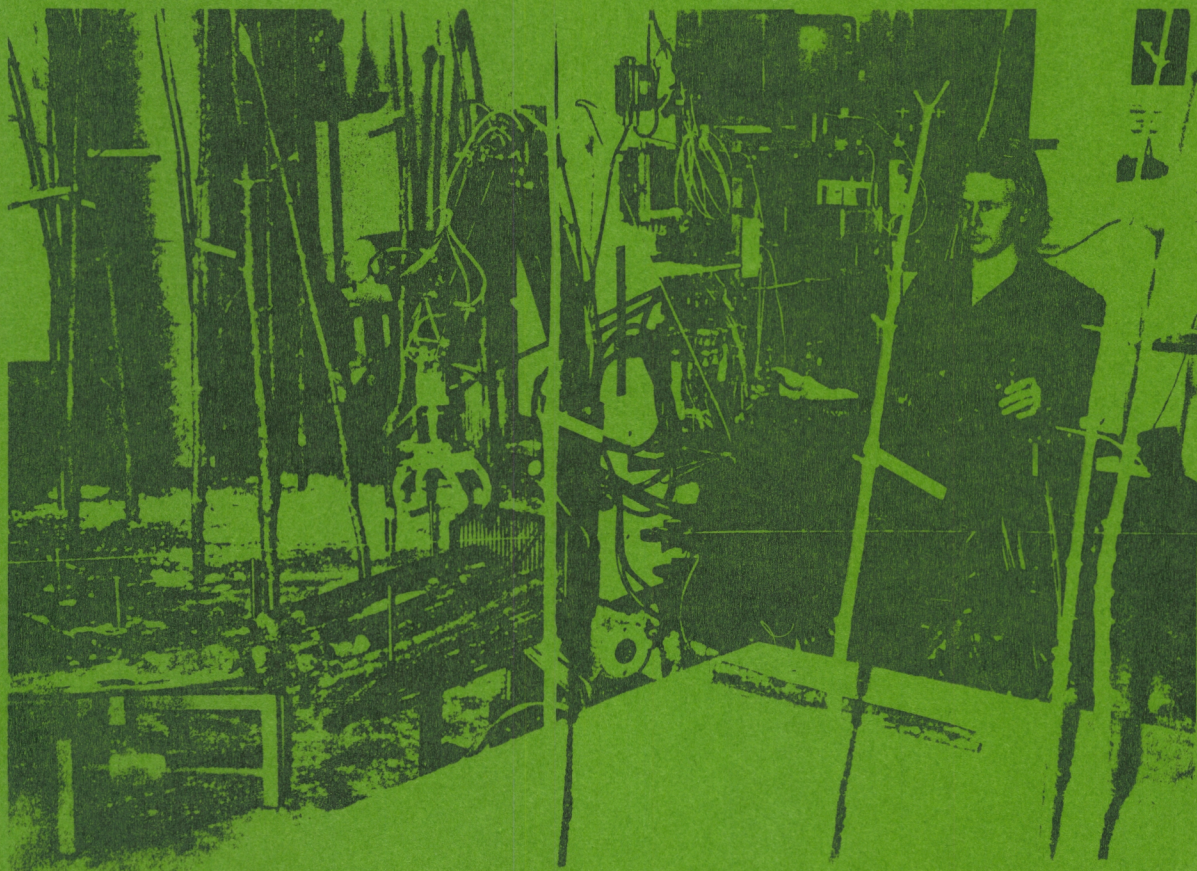
METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Metsäteknologian osasto

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Metsäteknologian tutkimusosasto

2/1981

Pertti Harstela - Jari Rantamäula - Antero Harstela

PIENOISMALLISIMULAATTORI JA KOURAKUORMAUKSEN
OPPIMINEN SEN AVULLA



Helsinki 1981

SISÄLLYSLUETTELO

1. Johdanto	3
11. Kourakuormauksen oppiminen	3
12. Puunkorjuukoneiden simulointi	5
13. Tutkimustehtävä	6
2. Simulaattorin kuvaus	7
3. Aineiston keruu ja käsittely	10
4. Aikatutkimustulokset	13
41. Työvaiheiden ajanmenekki	13
42. Harjoittelumäärän vaikutus ajanmenekkiin	15
43. Harjoittelutavan vaikutus ajanmenekkiin	24
44. Oikean kuormaimen käyttötaito	26
45. Kuormauksen oppiminen simulaattorilla ja metsätraktorilla	29
46. Vauriot	34
47. Koehenkilöiden kuormittuminen	37
5. Tulosten soveltaminen käytäntöön	38
6. Tiivistelmä	40
Lähdekirjallisuus	43
Liitteet	

1. JOHDANTO

11. Kourakuormauksen oppiminen

Puutavaran metsäkuljetus tapahtuu maassamme nykyisin lähes yksinomaan katkottuina tavaralajeina kourakuormaimella varustetuilla metsätraktoreilla. Hankintavuonna 1979/80 metsätraktoreiden osuus pystykaupoista hakatun puutavaran metsäkuljetuksesta oli 95 % (VESIKALLIO, 1980, suull.). Kuormauksen ja purkamisen osuus metsätraktorikuljetuksen tehoajasta on 45...87 % (KAHALA, 1979), mikä osoittaa kuormaimen käyttötaidon suuren vaikutuksen metsätraktorikuljetuksen tuottavuuteen.

Kourakuormauksen oppiminen vaatii runsaasti harjoittelua. Tutkiessaan kourakuormauksen oppimista kahdella metsäkonekoululla LEHTONEN (1975) havaitsi, että pidettäessä tavoitteena tottuneen kuljettajan tasoa, tapahtui tavoitekehityksestä noin puolet 130 harjoitustunnin aikana. Pitkästä harjoitteluajasta johtuen tulee kuormauksen opetteleminen hyvin kalliiksi. Tämän vuoksi on tärkeää pyrkiä selvittämään, miten kuormauksen oppimista voitaisiin nykyisestään tehostaa.

Metsätraktoreiden kuljettajakoulutuksen tehostamiseksi on kehitetty entistä parempia menetelmiä. Yksi tällainen on ns. kourajumppa, jonka LEHTONEN (1975) totesi tehostavan oppimista huomattavasti ja joka onkin käytössä metsäkonekoululla. Kourajumppa koostuu peräkkäisistä, asteittain vaikeutuvista kuormaimen käyttötehtävistä, jotka suoritetaan opettajan valvonnassa ennen metsässä aloitettavaa harjoittelua.

Erilaisten monitoimikoneperiaatteiden, automaattisten toimintojen ja hallintajärjestelmien vertaamista varten on Met-

säntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla rakennettu pienoismalli-simulaattori, jonka keskeinen osa on kourakuormain. Yksi mahdollisuus suorittaa kourajumppaa on harjoitella em. simulaattorilla, joka tekee mahdolliseksi harjoittelun sisätiloissa. Simulaattoriharjoittelun tutkiminen on mielenkiintoista myös sen vuoksi, että jos oppimistapah-tuma vastaa normaalilla koneella oppimista, vahvistaa se käsitystä siitä, että simulaattori jäljittelee hyvin todellista metsäkonetta. Samalla voidaan tutkia myös harjoittelun järjestelyyn liittyviä kysymyksiä (esim. päivittäisen harjoitteluajan optimaalinen pituus), joiden avulla oppimista voidaan mahdollisesti tehostaa.

PETTERSON (1968) on tutkinut kuormatraktorin kuljettajien välisiä eroja puutavaran metsäkuljetuksessa. Erojen selvittämiseksi pyrittiin ulkoiset olosuhteet saamaan mahdollisimman yhdenmukaisiksi. Tutkittavilla kuljettajilla oli lähes sama pohjakoulutus ja vähintään yhden vuoden kokemus kuormatraktorilla ajosta. Nopeimman ja hitaimman kuljettajan taakka-aikojen eroksi saatiin kuormauksessa 46 % ja purkamisessa 43 %. Näin suuret erot kuormaimen käyttötaidossa osoittavat kuljettajan taitavuuden suuren vaikutuksen metsäkuljetuksen tuottavuuteen.

SILANDERIN (1967) saamien tulosten mukaan kokemattomien kuljettajien taakka-ajat olivat yli kahden minuutin, josta ne käytännön työssä tapahtuneen vuoden harjaantumisen ansiosta laskivat noin puoleen minuuttiin. LEHTOSEN (1975) tutkimus koski metsäkonekoulujen kuljettajaoppilaita. Harjoittelujakson aikana kaikkien työvaiheiden ajanmenekki pieneni erittäin selvästi. 130 harjoitustunnin aikana osajat lyhenivät kuormauksessa 32...57 %, ja taakka-aika lyheni noin 50 %. Purkamisessa vastaavat luvut olivat 51...65 % ja 57 %. Harjoittelu lyhensi voimakkaimmin tyhjänävientia ja nostoaikoja niin, että harjoittelun lopussa oppilaiden väliset erot johtuivat lähinnä kouraisusta ja taakan irro-

tuksesta. Erot tottuneeseen kuljettajaan verrattuna olivat myös suurimmat kouraisussa ja taakan irrotuksessa. Tästä syystä tulisi kuljettajien koulutuksessa kiinnittää erityistä huomiota näiden työvaiheiden harjoitteluun.

MYHRMAN ja PETTERSON (1971) havaitsivat tutkimuksessaan, että taakka-ajat lyhenivät keskimäärin 13 % käyttäessä uutta, kahden hallintavivun laitteistoa verrattuna tavanomaisen kuuden hallintavivun muodostaman laitteiston käyttöön. Filmianalyysillä voitiin todeta liikkeiden jakautuvan uudella vivustolla tasaisemmin eri käsille sekä samanaikaisesti suoritettavien liikkeiden lukumäärän lisääntyneen selvästi.

12. Puunkorjuukoneiden simulointi

Puunkorjuuseen liittyen simulointia on käytetty lähinnä korjuuketjujen ja -koneiden kuvaamiseen tietokonekäsittelyyn soveltuvien modulaaristen mallien avulla. Uranuurtaja tällä alalla oli kanadalainen NEWNHAM (1967), jonka johdolla kehitettiin ensimmäiset mallit erilaisten korjuukoneiden simuloimiseksi. ALMQVIST (1968) on NEWNHAMIN malleja käyttäen tutkinut erilaisin periaattein toimivia kaato-kasauskoneita. SANTESSON ja SJUNESSON (1972) ovat puolestaan selvitelleet varastoivalla kaatolaitteella varustetun kaato-juontokoneen käyttömahdollisuuksia erilaisissa olosuhteissa. Ideana simuloinnin käytössä on ollut se, että näin voidaan systemaattisesti verrata eri tavoin konstruoitujen koneiden ja korjuuketjujen toimivuutta ja hankkia puunkorjuun suunnittelun ja koneenrakennuksen kannalta arvokasta tietoa. Pienoismallisimulaattoreita on käytetty paljon havainnollistamisvälineinä tekniikan alalla. Metsätyöntutkimuksessa on pienoismallia käytetty mm. neliakselisen kokorunkokuormatankin rakenteen tutkimiseen (SCHABAS 1979).

Metsäkoneiden kuljettajien kouluttamiseen on Ruotsissa kehitetty videokuvan käyttöön perustuvaa opetussimulaattoria.

13. Tutkimustehtävä

Tämän julkaisun tarkoituksena on esitellä pienoissimulaattori ja selvittää kourakuormauksen oppimista sillä. Tutkimuksessa pyritään selvittämään kuormaustaidon riippuvuutta harjoittelumäärästä ja tavasta. Lisäksi verrataan keskenään simulaattorilla ja oikealla metsätraktorilla tapahtuvaa kuormauksen oppimista. Tavoitteena on myös saada selville onko simulaattorilla hajoittelusta hyötyä siirryttäessä sen jälkeen kuormaamaan oikealla metsätraktorilla. Tämän oletetaan riippuvan siitä, kuinka hyvin simulaattori vastaa toiminnoiltaan oikeaa kuormainta. Simulaattoriharjoittelun aikana seurataan kuormauksen jäävälle puustolle aiheuttamia vaurioita, jotta saataisiin selville, onko kuljettajan ammattitaidon kehittymisellä vaikutusta vaurioiden määrään. Pienenä sivukohteena selvitetään koehenkilöiden sydämen sykintää harjoittelun aikana.

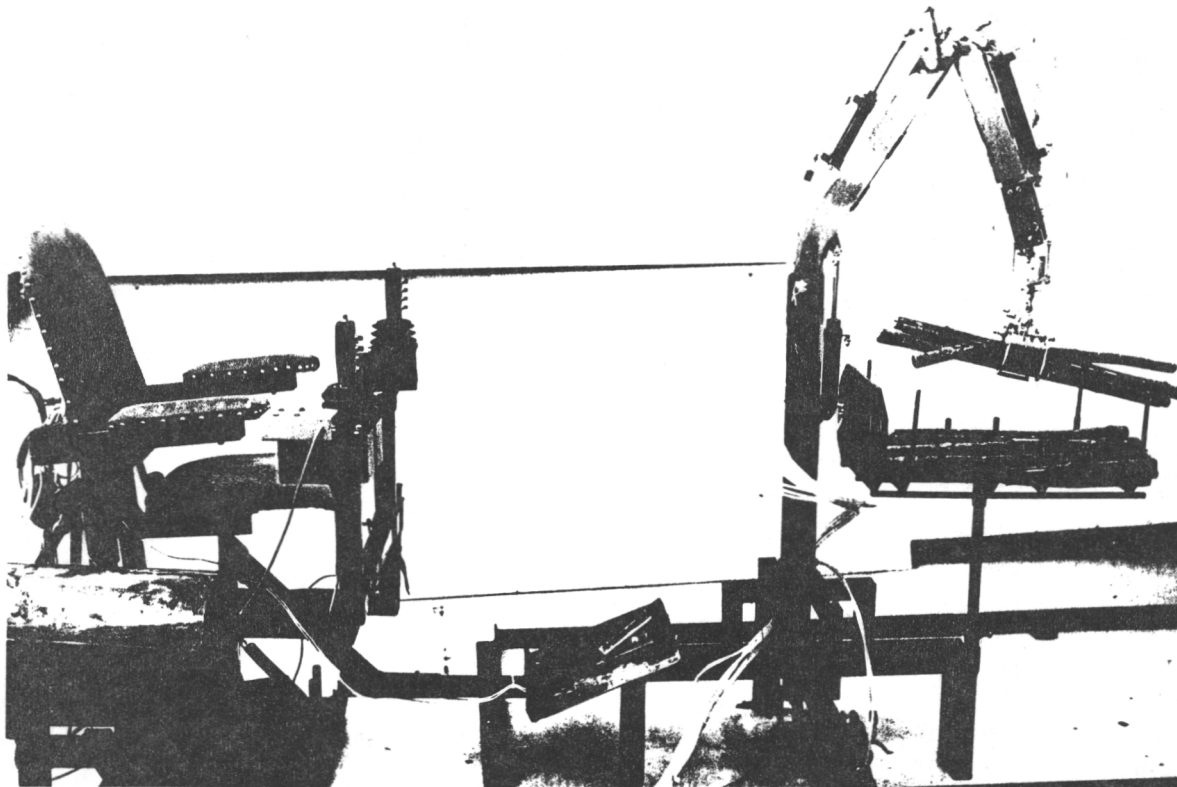
Tämä moniste perustuu Jari RANTAMAULAN laudaturtyöhön, jonka tekemistä Pertti HARSTELA ohjasi. Simulaattorin periaatesuunnittelun teki Pertti HARSTELA ja teknisen suunnittelun Antero HARSTELA, joka myös laati simulaattorin teknisen kuvauksen.

Työn eri vaiheissa neuvoja antoivat professori Pentti HAKKILA ja professori Kalle PUTKISTO. Aineiston keruuseen, käsittelyyn ja konekirjoitukseen osallistuivat Juhani KORHONEN, Osmo KORHONEN, Urpo PAANANEN, Leena MURONRANTA, Aune RYTKÖNEN ja Leena TURUNEN. Kaikille

parhaat kiitoksemme.

2. SIMULAATTORIN KUVAUS

Tutkimuksen kohteena oleva pienoismallisimulaattori (kuva 1) on rakennettu vuoden 1980 aikana Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla. Kourakuormausta on harjoiteltu simulaattorilla vuoden 1980 joulukuusta lähtien. Simulaattoria kehitetään edelleen ja siihen rakennetaan sopivia monitoimiosia. Aluksi on tarkoitus kokeilla kuormaimen päähän asennettavien kouraharvesterin ja -prosessorin toiminnan simulointia.



Kuva 1. Pienoismallisimulaattori

Simulaattoria rakennettaessa on esikuvana pidetty keskiras-
kaissa metsätraktoreissa käytettäviä kuormaimia. Kuormaajan
liikkeiden suoritusajat on pyritty saamaan todellisten kuor-
mainten liikeaikoja vastaaviksi. Simulaattori on rakennettu
alumiinista suhteessa 1/8 oikeaan kuormaimen verrattuna.
Kuormainta hallitaan istuimen sivuille kiinnitetyillä kah-
della ohjausvivulla.

Simulaattorin pumppua käyttää sähkömoottori, jonka teho on
1.1 kW ja kierrosluku 1420 r/min. Pumppu on hammaspyörä-
pumppu, jonka tuotos on 16 l/min moottorin kierrosluvulla
1420 r/min. Öljysäiliön tilavuus on 30 l.

Hallintavivut ovat S. Pinomäki Ky:n valmistamat, jollaisia

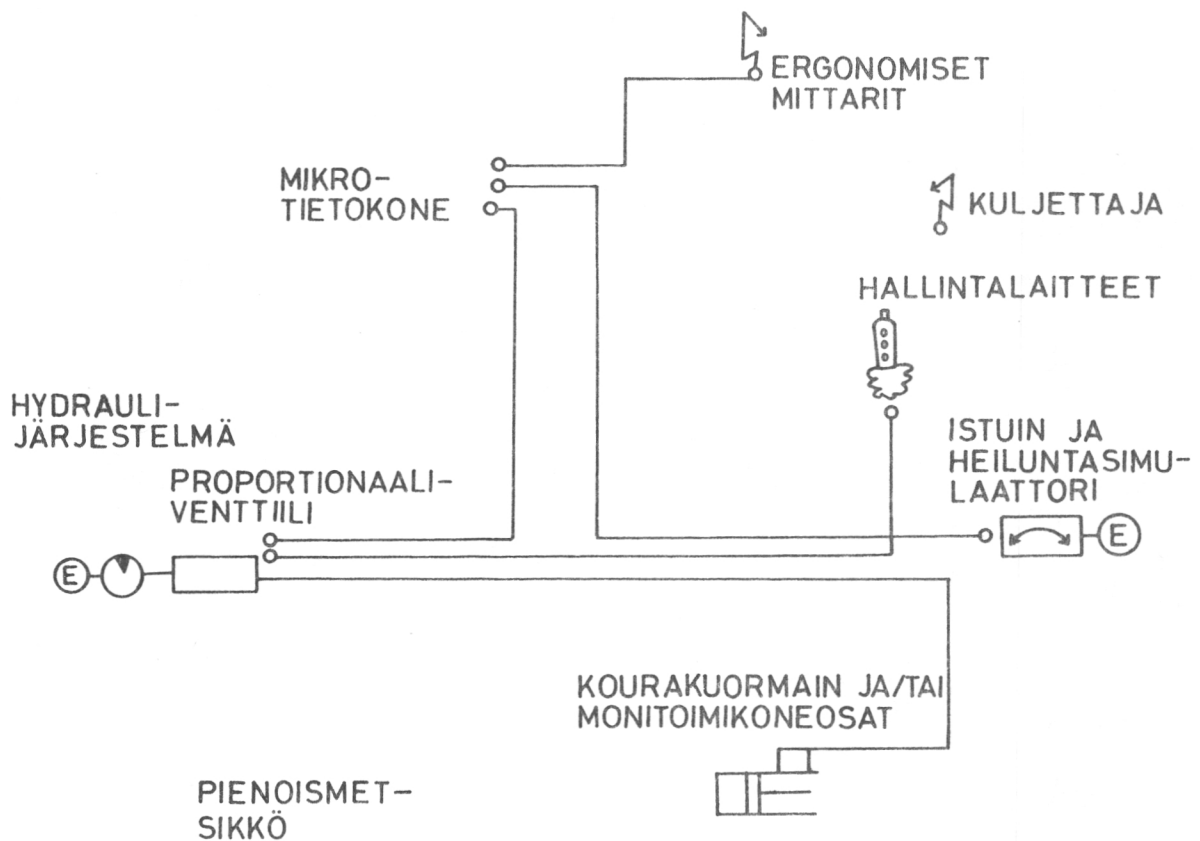
käytetään mm. Pika 75-harvesterissa. Vivuissa on kuormaimen liikkeiden säätöä varten potentiometrit, jotka säätelevät venttiileille menevää sähkövirtaa vivun ohjausliikkeen mukaan. Venttiileistä neljä on PIKA 25 -proportionaaliventtiileitä ja loput 2/4- magneettisuunta-venttiileitä. Venttiilit ovat sähköohjattuja, eli venttiilien läpi päästämää öljyvirtaa säädetään sähkön avulla.

Öljypumpun tuotto on mitoitettu vastaamaan PIKA 25 venttiileiden vaatimaa ohjauspainetta 2,5 l/lohko. Koska simulaattorin työn edellyttämä öljymäärä on pieni (simulaattorin hydrauliletkut ovat sisäläpimitaltaan vain 4 mm), on pumpun tuottamaa öljyvirtaa voimakkaasti supistettava. Tämä on järjestetty asentamalla venttiileihin erikoiskarat ja käyttämällä kuristimia venttiilien jälkeen, jolloin järjestelmässä kiertää vain osa pumpun tuottamasta öljyvirrasta, pääosan palatessa takaisin öljysäiliöön ohjauslohkojen kautta. Työsylintereinä on käytetty paineilmasylintereitä, joiden maksimipaine on 25 bar ja joita käytetään öljyllä. Kourankääntäjänä on pieni vääntösylinteri, jonka kääntökulma on 270°.

Kourakuormaimen ja kuormatilaan on rakennettu erilaisia monitoimikonekomponentteja, joten simulaattoria voidaan käyttää erilaisten ajouralla toimivien koneiden vertailuun. Liikkuva metsikkö on rakennettu simulaattorin molemmiin puolin. Koska puita voidaan siirrellä, on mahdollista muuttella puuston tiheyttä ja ajouran leveyttä.

Mikrotietokoneen avulla voidaan automatisoida proportionaaliventtiileillä välitettäviä liikkeitä ja liikesarjoja. Niveliin on tätä varten asennettu potentiometrit. Mikrotietokonetta voidaan käyttää myös tutkimusaineiston keruuseen ja esikäsittelyyn. Ergonomisia tutkimuksia varten on istuimessa sivusuuntaista heiluntaa suorittava tärinäsimulaattori. Kuvassa 2 on esitetty simulaattorijärjestelmän

kaavakuva.



Kuva 2. Simulaattorijärjestelmän kaavakuva.

3. AINEISTON KERUU JA KÄSITTELY

Tutkimusaineisto kerättiin vuoden 1980 joulukuun ja vuoden 1981 maaliskuun välisenä aikana. Simulaattoriharjoittelu tapahtui Metsäntutkimuslaitoksen Suonenjoen tutkimusasemalla sisätiloissa. Metsätraktorilla suoritettavaa kuormausta tutkittiin Jämsänkosken metsäkonekoululla.

Simulaattorilla tapahtuvassa kuormauksessa koehenkilöinä oli

kolme tutkimusaseman tutkimusapulaista, joilla ei ollut kokemusta kourakuormauksesta. He harjoittelivat simulaattorilla päivittäin, ja työpäivän alussa ja lopussa tehtiin jokaisen koehenkilön harjoittelusta aikatutkimus 10 taakan kuormauksesta. Taakat muodostuivat noin 40 cm pitkistä, pyöreistä puunkappaleista, ja ne kuormattiin simulaattorin vieressä olevalta pyörivältä alustalta simulaattorin kuormatilaan.

Kunkin taakan puukappaleet oli merkitty taakkojen erottamiseksi toisistaan. Kuormauksen jälkeen taakat sijoitettiin käsin kuormausalustalle omille, merkityille paikoilleen. Kuormausalustalle kiinnitettyjen pienten puuntaimien avulla simuloitiin kuormausta harvennusmetsäolosuhteissa.

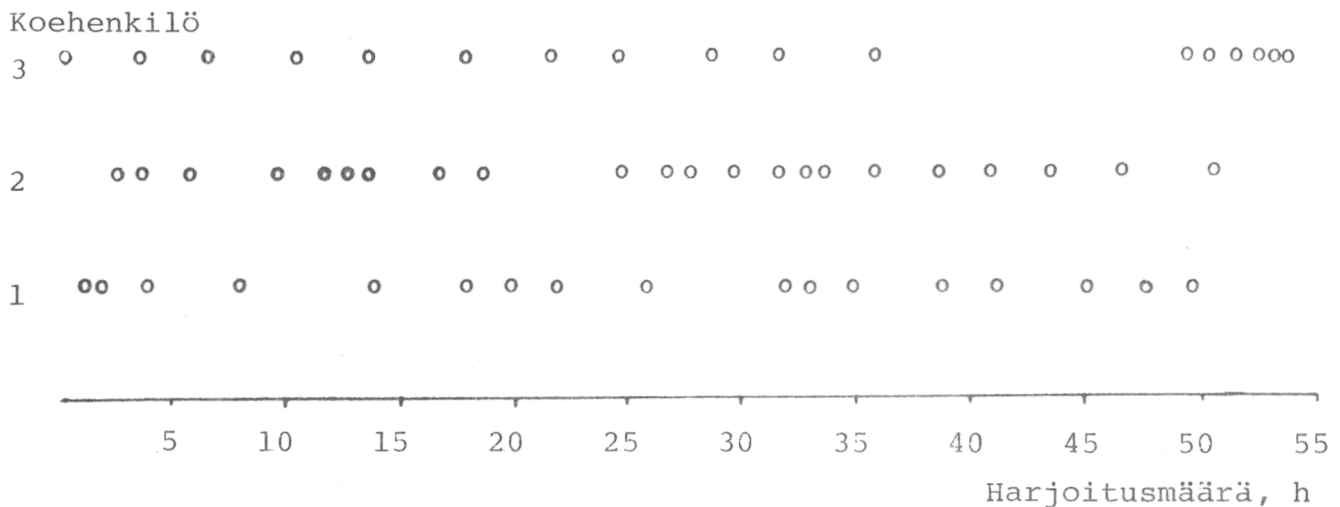
Kuormauksen osa-aikojen lisäksi kirjattiin alustalle kiinnitettyihin puihin sattuneet kolhaisut vaurioiden määrän selvittämiseksi. Kolhaisut jaoteltiin kuormaimen ja taakan aiheuttamiin. Koehenkilöiden psykofysiologista kuormittumista harjoittelun aikana seurattiin 15 cmin:n välein toistuvilla sydämen sykinnän mittauksilla.

Metsäkonekoululla Lokomo 929 kuormatraktorilla suoritetusta kuormauksesta tehtiin samanlainen aikatutkimus kuin simulaattorilla kuormauksesta. Traktori oli varustettu 2-vipuohjauksella. Kuormauksen taakka-aika jaoteltiin samoin kuin simulaattorilla kuormattaessa. Kuormaus tapahtui avoimella kentällä, ja taakat sijoitettiin koneen molemmille puolille kuormaimen ulottuville.

Simulaattoriharjoittelusta saatua aikatutkimusaineistoa analysoimalla pyrittiin selvittämään harjoitteluajan sekä kuormaukselta kuvaavien osa-aikojen ja taakka-ajan välinen riippuvuus regressioanalyysiä käyttäen. Harjoittelutavan vaikutusta kuormauksen oppimiseen selvitettiin graafisesti ja regressioanalyysin avulla tutkimalla päivittäisen har-

joitteluaajan pituuden ja harjoittelussa pidettyjen taukojen (esim. viikonloput) vaikutusta kuormauksien kehittymiseen. Simulaattoriharjoittelusta saatuja oppimiskäyriä verrattiin graafisesti sekä matemaattisesti LEHTOSEN (1975) saamiin oppimiskäyriin. Koehenkilöiden aineistot käsiteltiin sekä yhdessä että erikseen.

Simulaattoriharjoittelusta kerättiin aineistoa 958 taakan kuormauksesta. Kukin koehenkilö harjoitteli simulaattorilla noin 50 tuntia. Havaintojen jakautuminen harjoittelujaksolla selviää kuvasta 3. Kuormauksesta metsätraktorilla aineistoa kertyi 240 taakasta. Kuormauksen aiheuttamat vauriot merkittiin muistiin aina kun simulaattorilla kuormauksesta tehtiin aikatutkimus. Kahden koehenkilön sydämen sykintää seurattiin yhteensä 556 taakan kuormauksen aikana.



Kuva 3. Aikatutkimushavaintojen jakautuminen harjoitusjaksolle.

4. AIKATUTKIMUSTULOKSET

41. Työvaiheiden ajanmenekki

Työvaiheiden ajanmenekki pieneni selvästi kaikilla koehenkilöillä harjoittelun kuluessa (taulukko 1). Koehenkilöiden välillä ilmeni huomattavia eroja kuormauksien kehittyisessä.

Taulukko 1. Työvaiheiden suhteellinen ajanmenekki eri koehenkilöillä harjoittelun kuluessa. (10 harjoitustuntin kohdalla ajanmenekkiä on merkitty sadalla).

Koe- henkilö	Työvaihe	Harjoitustuntimäärä, h				
		10	20	30	40	50
		Suht. ajanmenekki				
1	Tyhjä- vienti	100	78	63	79	67
	Kouraisu	100	64	63	79	68
	Nosto	100	67	75	76	49
	Taakan irrotus	100	84	62	77	56
	Koko suoritus	100	72	71	79	66
2	Tyhjä- vienti	100	51	31	23	26
	Kouraisu	100	86	81	50	25
	Nosto	100	45	32	31	33
	Taakan irrotus	100	38	57	49	35
	Koko suoritus	100	52	38	31	29
3	Tyhjä- vienti	100	65	47	..	39
	Kouraisu	100	123	60	..	35
	Nosto	100	88	54	..	58
	Taakan irrotus	100	131	112	..	78
	Koko suoritus	100	88	54	..	49

Eri työvaiheiden ajanmenekki lyheni 50 harjoitustuntiin mennessä seuraavasti:

- tyhjänävientä	33...74 %
- kouraisu	32...75 %
- nosto	42...67 %
- taakan irrotus	22...65 %
- koko suoritus	34...71 %

Työvaiheiden suhteelliset ajanmenekit vaihtelivat 50 harjoitustunnin kohdalla seuraavasti (nopeimman koehenkilön ajanmenekkiä on merkitty sadalla):

- tyhjänävientä	100...107
- kouraisu	100...167
- nosto	100...124
- taakan irrotus	100...104
- koko suoritus	100...106

Vaikka kuormaustaidon kehittyminen harjoittelun aikana oli koehenkilöillä hyvin erilaista, ovat taakka-ajat harjoittelun lopussa lähes saman suuruiset. Suurimmat erot koehenkilöiden välillä ovat taakan nostossa ja kouraisussa.

Taulukko 2, kuvaa taakka-ajan jakautumista eri työvaiheisiin 50 harjoitustunnin jälkeen. Vertailun vuoksi on esitetty vastaava jakauma oikealla kuormaimella LEHTOSEN (1975) kou-rakuormauksen oppimista käsittelevän tutkimuksen mukaan.

Taulukko 2. Työvaiheiden osuudet taakka-ajasta.

	Työvaihe				Yhteensä
	Tyhjänä- vienti	Kouraisu	Nosto	Taakan irrotus	
	Osuus, %				
Simulaattori	34,7	11,5	44,8	9,0	100,0
Oikea kuormain	27,6	19,5	38,0	14,9	100,0

Sekä simulaattorilla että oikealla kuormaimella eri työvaiheiden osuus taakka-ajasta kasvaa järjestyksessä: taakan irrotus - kouraisu - tyhjänävienti - nosto. Kouraisun ja taakan irrotuksen osuudet taakka-ajasta ovat simulaattorilla selvästi pienemmät kuin oikealla metsätraktorilla. Tähän voidaan pitää syynä paitsi itse kuormauksen erilaisuutta myös simulaattorin helpompia kuormausolosuhteita ja mahdollisia eroja työvaiheiden jaottelussa.

42. Harjoittelumäärän vaikutus ajanmenekkiin

Harjoittelumäärän vaikutuksen selvittämiseksi laskettiin eri työvaiheille regressioyhtälöt, joissa selittävänä muuttujana oli harjoitustuntimäärä. Taulukossa 3 (s. 23) on esitetty eri työvaiheiden ja koko suorituksen ajanmenekkiä kuvaavat yhtälöt eri koehenkilöille muodossa, jolla kussakin tapauksessa saatiin paras selitysaste. Selitysasteella tarkoitetaan sitä osaa (%) selitettävän muuttujan vaihtelusta, jonka malli selittää. Taulukkoon on merkitty myös selittävän muuttujan kertoimien merkitsevyyttä kuvaavat t-arvot. Taulukon symbolit tarkoittavat seuraavaa:

y = työvaiheen ajanmenekki, cmin
 x = harjoitusmäärä, h
 100 R² = mallin selitysaste

Taulukko 3. Työvaiheiden ja koko suorituksen ajanmenekki (Y, cmin) harjoittelumäärän (x, h) funktiona.

Työvaihe	Koehenkilö	Yhtälö	100.R ²	T-arvo
Tyhjänä- vienti	1	$Y=15,0630/x + 13,9353$	25,5	10,7
	2	$Y=e^{-0,0190x} + 3,9195$	52,5	-19,8
	3	$Y=e^{-0,0147x} + 9,1574$	34,7	-10,9
Kouraisu	1	$Y=e^{-0,0085} + 1,9147$	4,5	- 3,9
	2	$Y=1/(0,0065x + 0,0314)$	33,8	13,4
	3	$Y=1/(0,0028x + 0,1639)$	15,3	6,4
Nosto	1	$Y=17,8467/x + 17,7485$	22,9	9,9
	2	$Y=224,2714/x + 15,7860$	37,3	14,5
	3	$Y=e^{-0,0134x} + 3,2928$	27,0	- 9,1
Taakan irrotus	1	$Y=1/(0,0026x + 0,2568)$	7,7	5,3
	2	$Y=e^{-0,0110x} + 1,5984$	8,1	- 5,6
	3	$Y=1/(0,0018x + 0,2829)$	4,7	3,3
Koko suoritus	1	$Y=1/(0,0002x + 0,0173)$	30,0	11,6
	2	$Y=1/(0,0006x + 0,0046)$	50,7	22,8
	3	$Y=e^{-0,0133x} + 4,2083$	33,7	-10,7

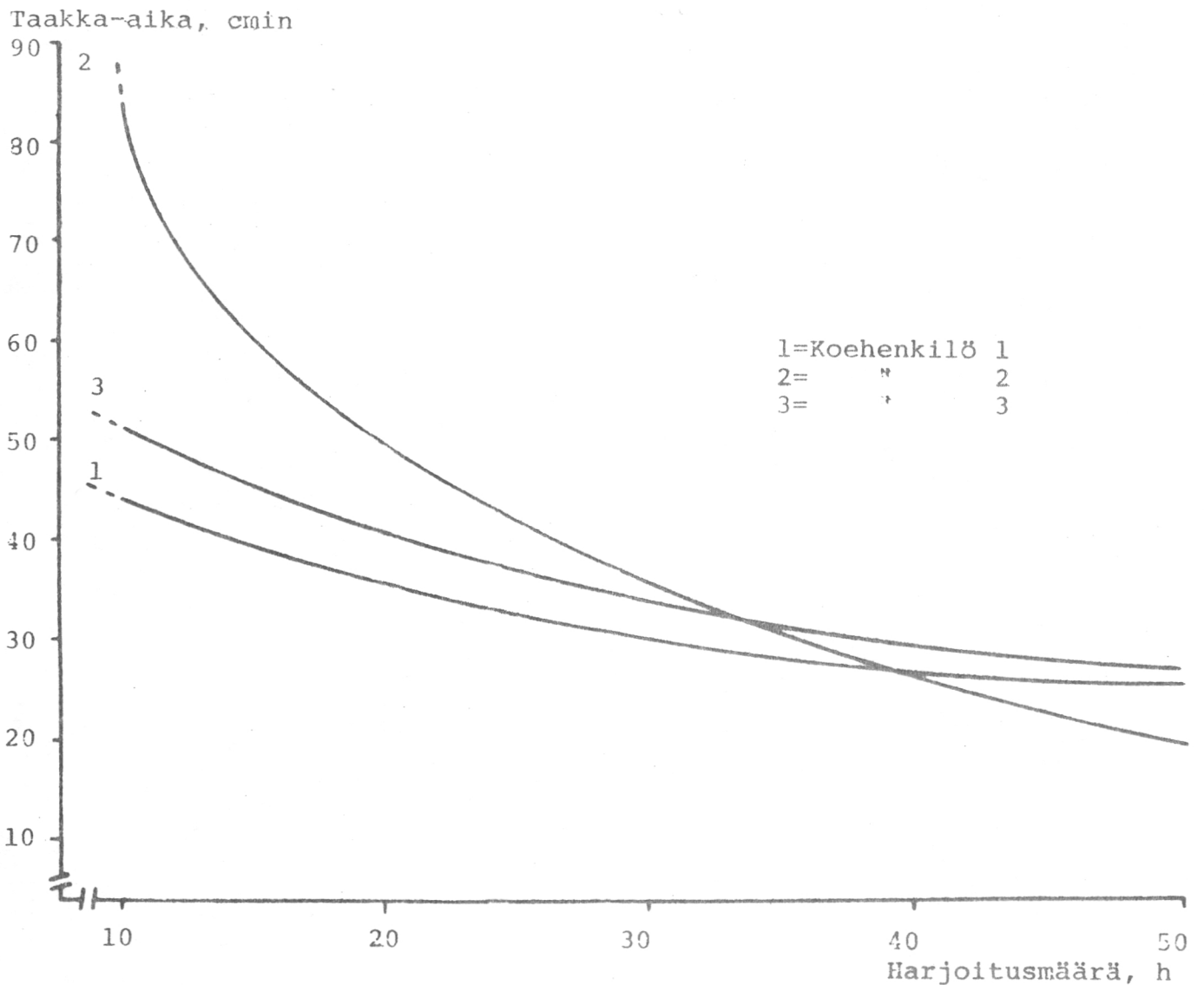
Harjoitusmäärä selittää vain pienen osan työvaiheiden ajanmenekkien vaihtelusta. Keskimäärin selitysasteet ovat 30 %:n luokkaa. Koehenkilön 2 nostoa ja koko suoritusta kuvaavien mallien selitysasteet ovat suurimmat, noin 50 %, joten näitä malleja on jo pidettävä hyvinä kyseisten suoritusten kuvaajina. Myös muiden työvaiheiden osalta on parhaat selitysasteet saatu koehenkilön 2 malleille.

Keskimäärin alhaisia selityksasteita voidaan pitää osoituksena satunnaisten tekijöiden suuresta vaikutuksesta kuormauksen ajanmenekkiin. Selityksasteet ovat kaikilla koehenkilöillä pienimmät kouraisussa ja taakan irrotuksessa (vrt. taulukko 4). Tämä voidaan tulkita siten, että nämä työvaiheet ovat suhteellisesti vaikeampia muihin työvaiheisiin verrattuna.

Kouraisun ja taakan irrotuksen alhaiset selityksasteet tuntuvat aivan luonnollisilta, kun vertaa näitä työvaiheita tyhjänäviintiin ja nostoon; toisinaan kouraisu ja taakan irrotus tapahtuvat hyvin nopeasti, jopa parissa senttiminuu-tissa, kun taas vaikeissa tapauksissa taakan kouraisu ja si-jottaminen kuormaan voi viedä kymmeniä senttiminuuotteja. Ääritapauksissa voi olla jopa mahdotonta erottaa kouraisua ja taakan irrotusta muista työvaiheista. Tämän vuoksi harjoittelun vaikutus näiden työvaiheiden ajanmenekkiin ei tule niin selvästi esille kuin luonteeltaan erilaisten tyhjänäviennin ja noston ajanmenekkiin.

Selittävän muuttujan kertoimien merkitsevyyttä kuvaavat t-arvot ovat kaikissa yhtälöissä itseisarvoltaan suurempia kuin 3.29, mikä merkitsee sitä, että kertoimet poikkeavat 0,1 %:n riskillä nollasta. Korkeat t-arvot osoittavat harjoitusmäärän erittäin merkitseväksi ajanmenekkien selittä-jäksi.

Kuvaan 4 on vertailun vuoksi piirretty kaikkien koehenki-löiden taakka-ajan kuvaajat.



Kuva 4. Taakka-ajan riippuvuus harjoittelumäärästä eri koehenkilöillä.

Kuvasta nähdään, että vaikka koehenkilön 2 taakka-aika 10 harjoitustunnin kohdalla on ollut lähes kaksinkertainen muihin verrattuna, on hän harjoittelun lopussa päässyt jopa hieman parempaan tulokseen kuin muut koehenkilöt. Koehenkilöillä 1 ja 3 on taakka-ajan kehitys ollut hyvin samanlaista koko harjoittelun ajan. Heillä taakka-ajan kehitys on alkanut alemmalta tasolta kuin koehenkilöllä 2, sillä jo 10 harjoitustunnin kohdalla he ovat saavuttaneet

taakka-ajan, johon pääsemiseksi koehenkilö 2 on tarvinnut harjoittelua noin 25 tuntia.

Harjoittelujakson lopussa koehenkilöiden taakka-ajat ovat 30...35 cmin, mikä on noin 1/2...1/3 10 harjoitustunnin kohdalla saavutetuista tuloksista. Kehitys kyseisenä aikana on siis ollut hyvin nopeaa.

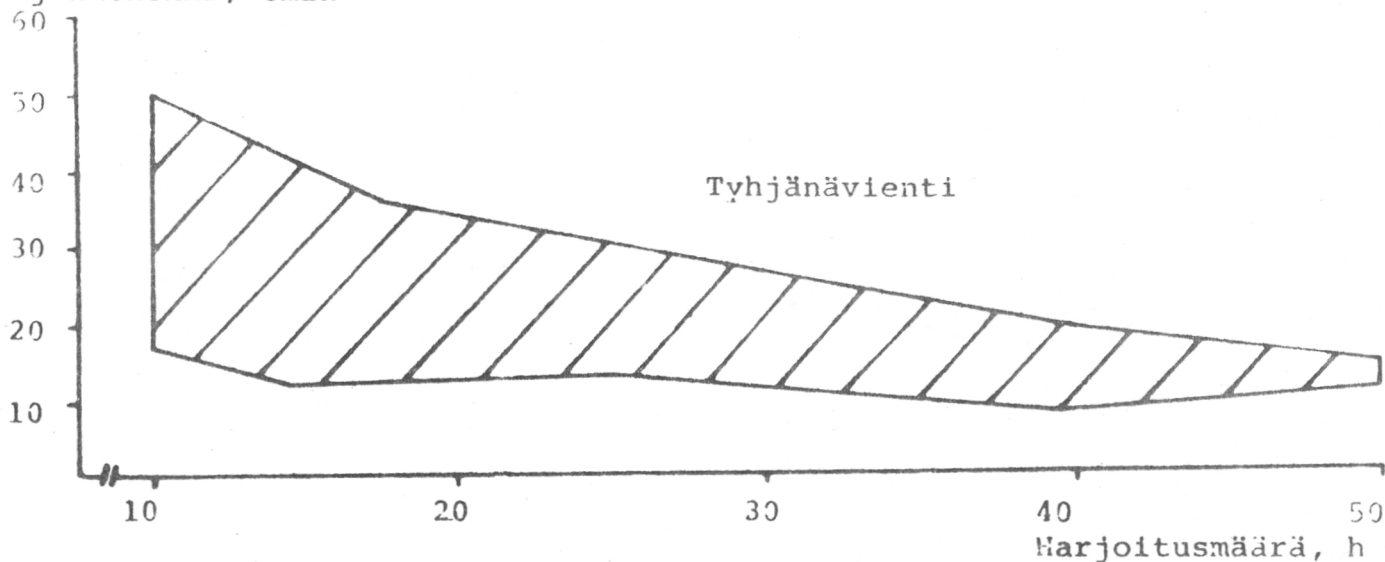
Osa-aikojen suhteellista hajontaa osoittavat variaatiokerrotoimet (variaatiokerroin = $100 \times$ keskihajonta/keskiarvo) ovat kaikilla koehenkilöillä suurimmat kouraisussa ja taakan irrotuksessa (taulukko 4). Tutkimuksessaan on LEHTONEN (1975) saanut aivan vastaavan tuloksen.

Taulukko 4. Osa-aikojen ja kokonaisajan variaatiokerrotoimet.

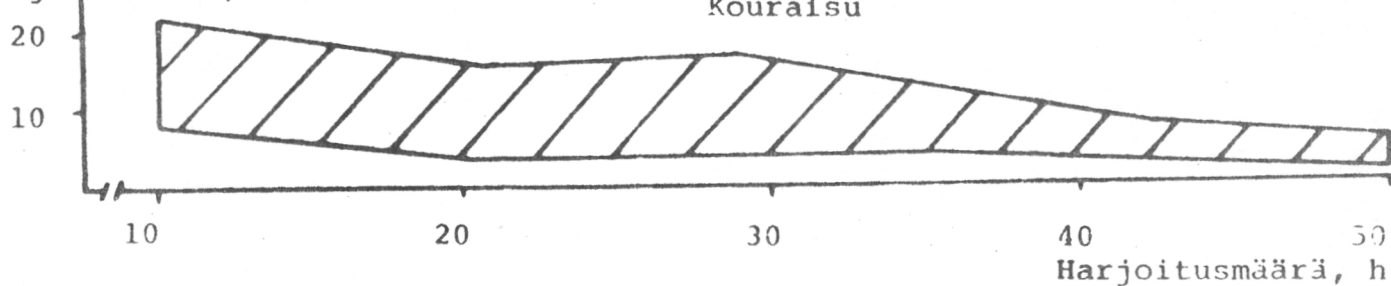
Koehenkilö	Työvaihe					Koko suoritus
	Tyhjänä-vienti	Kouraisu	Nosto	Taakan irrotus		
Variaatiokerroin						
1	34	92	34	107		29
2	62	130	60	65		49
3	60	122	58	89		48
Keskimäärin	58	126	56	89		47

Kuva 5 esittää koehenkilöiden välistä osa-aikojen ja kokonaisajan vaihtelua.

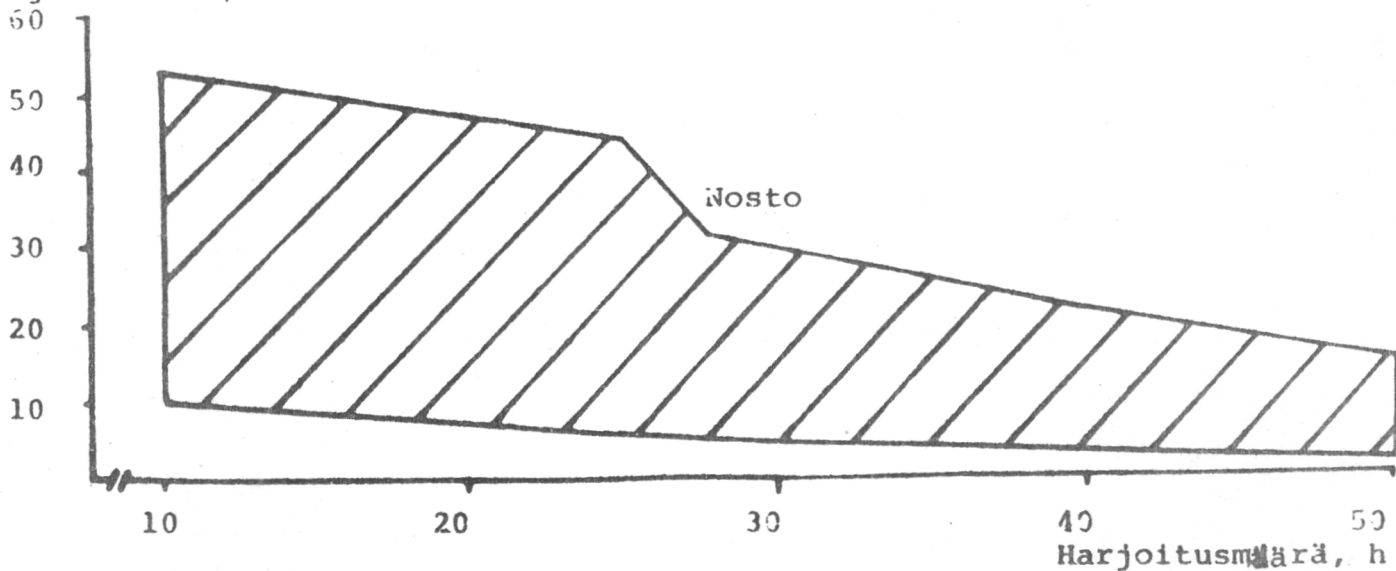
Ajanmenekki, cmin



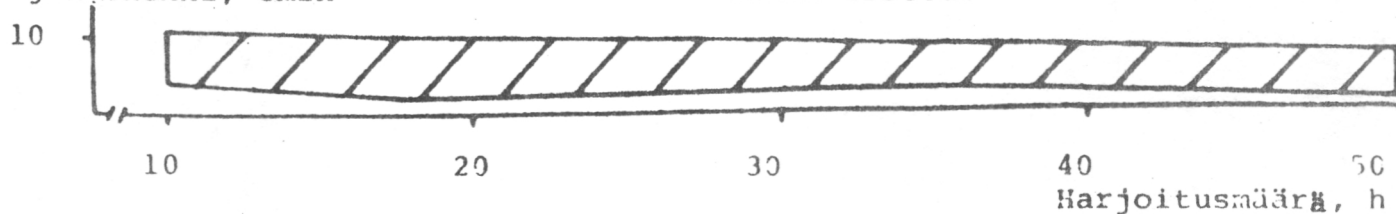
Ajanmenekki, cmin



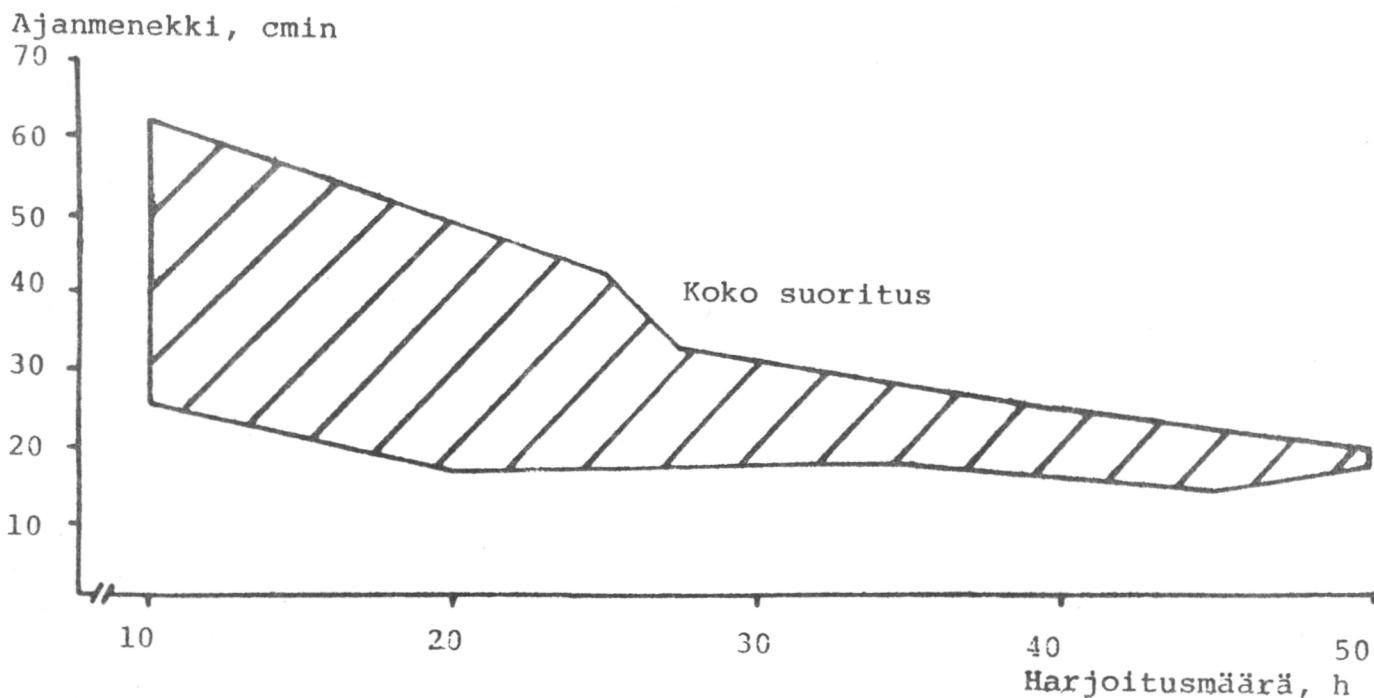
Ajanmenekki, cmin



Ajanmenekki, cmin



Kuva 5. Koehenkilöiden välinen osa-aikojen vaihtelu.



Kuva 6. Koehenkilöiden välinen taakka-ajan vaihtelu.

Kaikille koehenkilöille yhteisesti lasketut regressioyhtälöt on esitetty taulukossa 5.

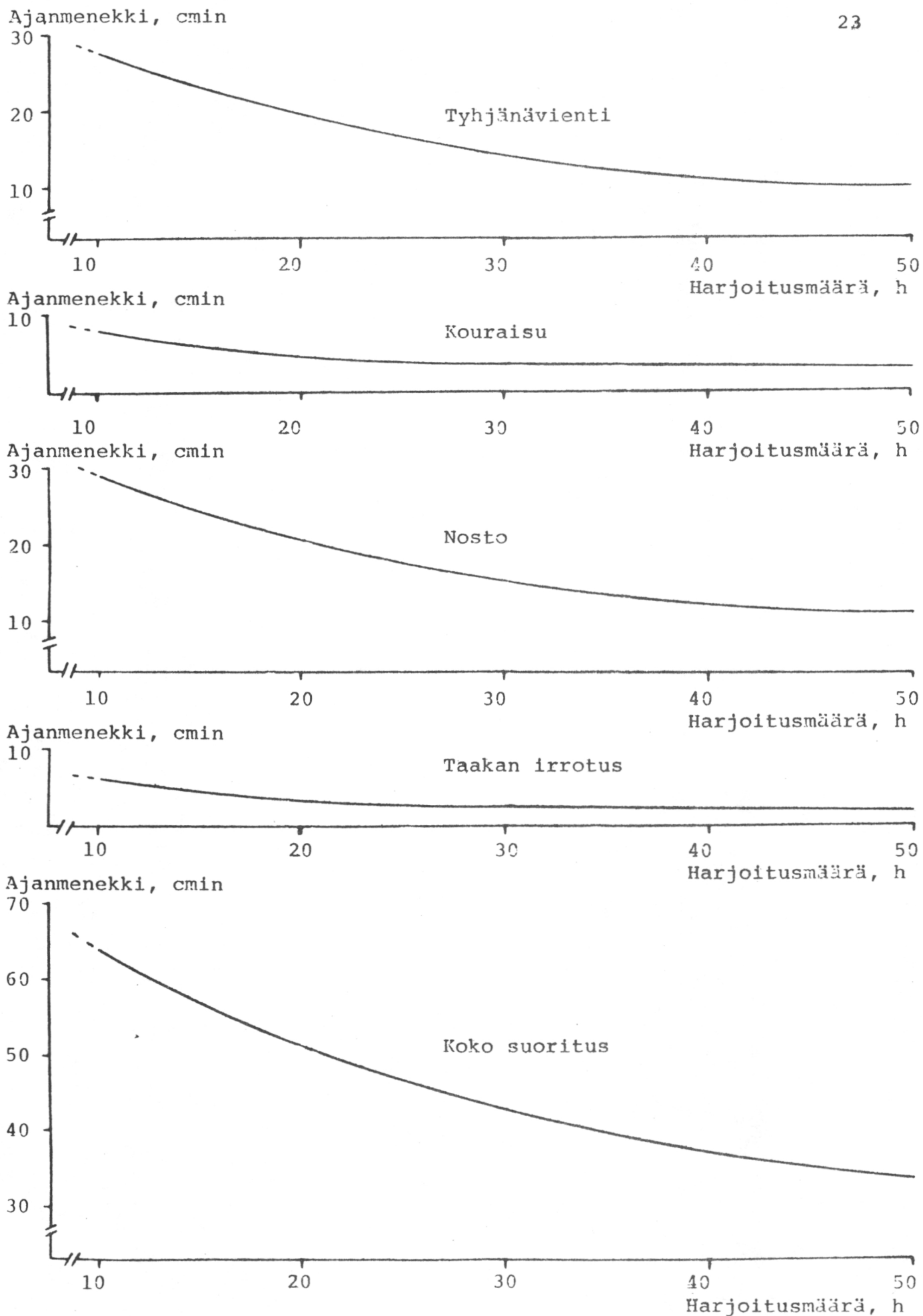
Taulukko 5. Työvaiheiden ja koko suorituksen ajanmenekki (Y, cmin) harjoitusmäärän (x, h) funktiona koehenkilöille yhteisesti.

Työvaihe	Yhtälö	100.R ²	T-arvo
Tyhjänäviesti	$Y=e^{-0,0180x} + 3,3125$	32,7 (27,7)	-21,1
Kouraisu	$Y=1/(0,0033x + 0,1303)$	16,4 (4,4)	13,4
Nosto	$Y=e^{-0,0164x} + 3,4597$	25,8 (26,1)	-17,9
Taakan irrotus	$Y=1/(0,0023x + 0,2562)$	5,9 (4,6)	7,6
Koko suoritus	$Y=1/(0,00034x + 0,01285)$	34,3 (33,4)	-22,3

Myös koko aineistolle laadituista malleista havaitaan, että kouraisun ja taakan irrotuksen selityssasteet ovat alhai-

simmat. Vertailun vuoksi on suluissa esitetty LEHTOSEN (1975) metsätraktorille saamien kuormauksen ajanmenekkiä kuvaavien yhtälöiden selitysasteet. Kouraisua lukuun ottamatta selitysasteet ovat hyvin lähellä toisiaan. Mallien t-arvot osoittavat, että myös näissä malleissa muuttujan x kertoimet poikkeavat 0,1 %:n riskillä nolasta.

Kuva 7 esittää kaikille koehenkilöille yhteisesti eri työvaiheiden ja koko suorituksen ajanmenekkien riippuvuutta harjoittelumäärästä.



Kuva 7. Osa-aikojen ja taakka-ajan riippuvuus harjoitusmäärästä.

Mallien mukaan laskettu ajanmenekin vähentyminen eri työvaiheiden ja koko suorituksen osalta on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Mallien mukaan lasketut eri työvaiheiden ja koko suorituksen ajanmenekit ja niiden muutokset.

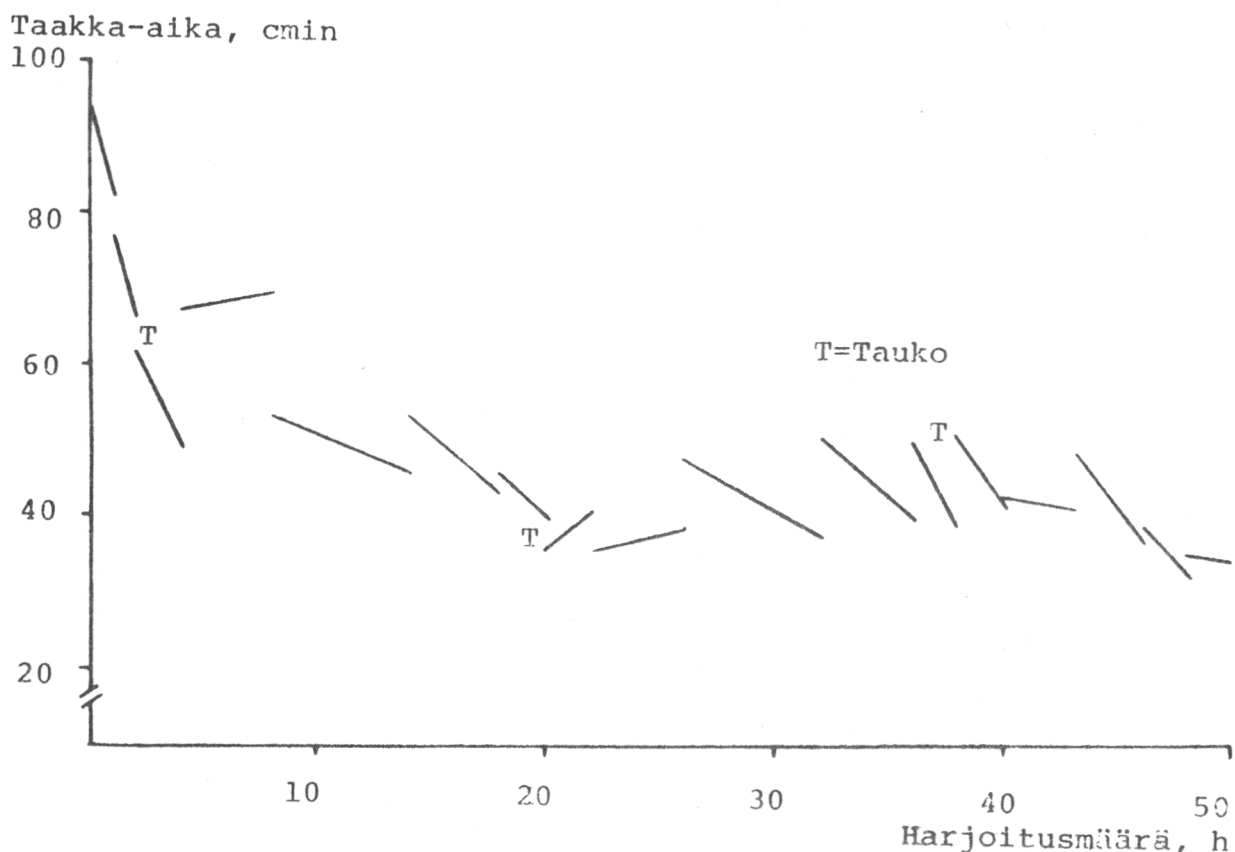
Työvaihe	Ajanmenekki		Muutos %
	10 h:n kohdalla, cmin	50 h:n kohdalla, cmin	
Tyhjänävienni	22,7	10,6	-53,3
Kouraisu	6,1	3,4	-44,2
Nosto	27,0	14,0	-48,1
Taakan irrotus	3,6	2,7	-25,0
Koko suoritus	61,5	33,5	-45,5

Suhteellisesti kaikkein eniten on vähentynyt tyhjänäviennin ja noston ajanmenekki, ja selvästi vähiten on alentunut taakan irrotuksen ajanmenekki (vrt. taulukko 1). Koko suorituksen ajanmenekki on vähentynyt n. 45 %, ja mallin mukaan kehitys näyttää jatkuvan suhteellisen voimakkaana vielä 50 harjoitustunnin jälkeenkkin. Tämä viittaa siihen, että harjoittelua olisi ollut syytä jatkaa pitempään, jotta olisi saatu selville taso, jolle taakka-aika olisi vakiintunut.

43. Harjoittelutavan vaikutus ajanmenekkiin

Päivittäisen harjoittelumäärän vaikutusta kuormauksen oppimiseen on yhden koehenkilön osalta esitetty kuvassa 8. Kunakin päivänä on kuormauksesta tehty aikatutkimus sekä aamu- että iltapäivällä. Päivittäinen harjoittelu on tapah-

tunut näiden kellotusten välillä. Aamu- ja iltapäivien taakka-ajat on yhdistetty janalla, jonka pituus x-akselin suunnassa kuvaa sen päivän harjoittelujakson pituutta. Harjoittelussa pidetyt tauot (viikonloput) on merkitty kuvaan T-kirjaimella.



Kuva 8. Harjoitusjakson pituuden vaikutus taakka-aikaan.

Kuvasta havaitaan, että kuormauksen oppiminen on ollut epäsäännöllistä. Kolme kertaa on taakka-aika jopa noussut päivittäisestä harjoittelusta huolimatta. Viikonlopputauoilla ei voida todeta olevan selvää vaikutusta oppimiseen. Samoin on päivittäisen harjoittelujakson pituuden vaikutus oppimiseen epäsäännöllistä.

Oppimiselle tyypilliset taantumet ja unohtaminen selittävät osaltaan oppimisen epäsäännöllisyyttä (KATZ, 1963). Lisäksi satunnaiset kuormaukseen vaikuttavat seikat ja harjoittelujakson lyhyys (50 h) vaikeuttavat harjoittelutavan vaiku-

tuksen esille saamista. Näiden syiden vuoksi ei päivittäisen harjoittelumäärän mukaanottaminen selittäväksi muuttujaksi ajanmenekkiä kuvaaviin malleihin lainkaan parantanut mallien selitystasetta. Myöskään päivittäistä harjoittelumäärää esittävien muuttujien kertoimille ei saatu riittävän korkeita t-arvoja, jotta nämä muuttujat olisi voitu sisällyttää malleihin.

44. Oikean kuormaimen käyttötaito

Taulukossa 7 esitetään metsätraktorilla suoritetusta kuormauksesta saadut taakka-ajat eri koehenkilöillä. Taulukon luvut on saatu laskemalla kunkin kuormauskerran taakka-ajkojen keskiarvot.

Jokaisella kuormauskerralla kuormattiin 20 taakkaa, jotka oli sijoitettu koneen molemmille puolille kuormaimen ulottuville.

Taulukko 7. Koehenkilöiden oikealla metsätraktorilla saavuttamat taakka-ajat.

Koehenkilö	Kuormauskerta					Keskimäärin
	1	2	3	4	5	
	Taakka-aika, cmin					
1	95	98	102	98
2	113	114	131	87	82	105
3	80	87	79	74	57	75
Keskimäärin	96	100	104	81	70	93

Kuormauskertojen välillä ei ole havaittavissa selvää kehi-

tystä, joskin ensimmäisen ja viimeisen kuormauskerran välillä keskimääräinen taakka-aika on lyhentynyt 27 %. Päähuomio tulee kiinnittää taakka-aikojen tasoon ja pyrkiä vertaamaan sitä metsätraktorilla harjoitteluiden kuljettajaoppilaiden saavuttamaan keskimääräiseen tasoon.

Taulukkoon 8 on merkitty kunkin koehenkilön keskimääräinen taakka-aika, harjoittelumäärä simulaattorilla ja LEHTOSEN (1975) tutkimuksen perusteella saatu harjoittelumäärä, joka vaadittiin kyseisten aikojen saavuttamiseksi.

Taulukko 8. Koehenkilöiden taakka-ajat ja vastaavat harjoittelumäärät.

Koehenkilö	Taakka-aika	Harjoittelumäärä simulaattorilla, h	Vaadittu harjoittelumäärä metsätraktorilla, h
1		98	50
2	105	50	51
3	75	56	100
Keskimäärin	93	52	63

Kahden koehenkilön kohdalla simulaattoriharjoittelun harjoittelumäärä on vain vähän pienempi kuin mikä on keskimäärin vaadittu metsätraktorilla. Yksi koehenkilöistä on päässyt tulokseen, jonka saavuttaminen metsätraktorilla on vaatinut lähes kaksinkertaisen harjoittelumäärän. Koehenkilöiden keskimääräisen tason saavuttamiseen on näiden tulosten perusteella metsätraktorilla tarvittu harjoittelua noin kymmenen tuntia enemmän kuin simulaattorilla.

Tulokset osoittavat selvästi, että simulaattoriharjoittelusta on ollut hyötyä oikean kuormaimen käyttöä ajatellen. Simulaattoriharjoittelun tehokkuutta kuvaaviin tuntimääriin on kuitenkin suhtauduttava varauksellisesti, sillä vertailuperusteena käytetyssä LEHTOSEN (1975) tutkimuksessa kuormaus tapahtui metsässä ja lisäksi kuormaimet olivat erimerkkisiä kuin tässä tutkimuksessa. Myös kuljettajien välinen hajonta vaikeuttaa vertailua näin pienellä koehenkilöjoukolla. Tulosten perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että simulaattori vastaa toiminnoiltaan varsin hyvin oikeaa kuormainta.

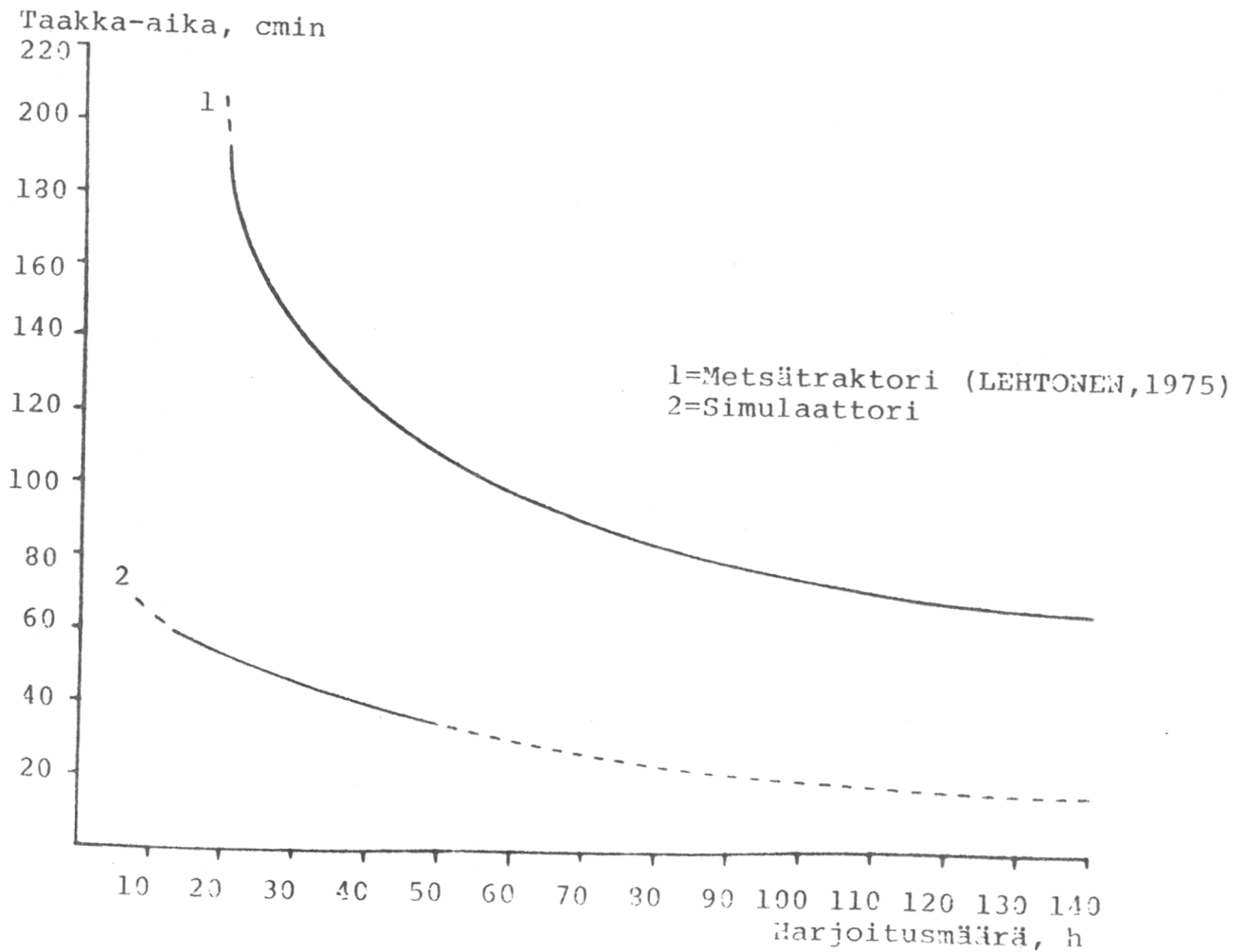
Suurin hyöty simulaattoriharjoittelusta oli kuormaimen liikkeitten oppiminen. Kuormaimen hallinta samanaikaisesti kolmessa tasossa on helpompi oppia kevytrakenteisella simulaattorilla, koska kuormasta vaikeuttavaa heiluntaa ei esiinny yhtä paljon kuin normaalikokoisella kuormaimella. Taakan ja kuormaimen painon aiheuttama heilunta olikin koehenkilöiden mielestä suurin ero siirryttäessä käyttämään oikeaa kuormainta. Huonompi näkyvyys metsätraktorin ohjaamosta kuormatilaan ja kuormattaviin taakkoihin vaikeutti myös kuormasta verrattuna simulaattorilla kuormaukseen.

Tässä tutkimuksessa koehenkilöt saivat käyttää oikeaa kuormainta niin lyhyen aikaa, ettei siinä vielä ehtinyt oppia hallitsemaan kuormaimen heiluntaa ja suuria liikeratoja. Metsäkonekoulun opettajien mielestä koehenkilöt olisivat lisäksi tarvinneet opastusta ennen simulaattoriharjoittelua, jotta he olisivat alun alkaen ruvenneet noudattamaan niitä periaatteita, jotka ovat välttämättömiä oikeaa kuormainta käytettäessä. Koehenkilöiden kuormauksessa ilmeni nimitäin puutteita, minkä lisäksi he pian havaitsivat, etteivät kaikki simulaattorilla opitut "niksit" soveltuneetkaan oikean kuormaimen käyttöön. Lisäksi kävi ilmi, että kourankääntäjä toimi simulaattorissa väärään suuntaan, mikä koehenkilöiden mielestä vaikeutti selvästi oikean kuormaimen

käyttöä. Mikäli edellä mainitut seikat olisi järjestelyissä otettu huomioon, koehenkilöiden taakka-ajat olisivat muodostuneet todennäköisesti huomattavasti pienemmiksi.

45. Kuormauksen oppiminen simulaattorilla ja metsätraktorilla

Vertaamalla simulaattorilla tapahtuvaa kuormauksen oppimista LEHTOSEN (1975) tutkimuksen tuloksiin pyritään saamaan kuva siitä, kuinka hyvin simulaattori vastaa toiminnoiltaan oikeaa kuormainta. Kuvassa 9 on esitetty kuormauksen oppimiskäyrät simulaattorilla ja oikealla metsätraktorilla.



Kuva 9. Oppimiskäyrät simulaattorilla ja oikealla metsätraktorilla.

Taulukossa 9 on esitetty mallien mukaan laskettu taakka-ajan lyheneminen 10 harjoitustunnin jaksoissa. Luvut kuvaavat taakka-ajan lyhenemistä jakson aikana prosentteina jakson alkuarvosta. Simulaattoriharjoittelun lyhyiden vuoksi on vertailu voitu ulottaa vain 50 harjoitustuntiin saakka.

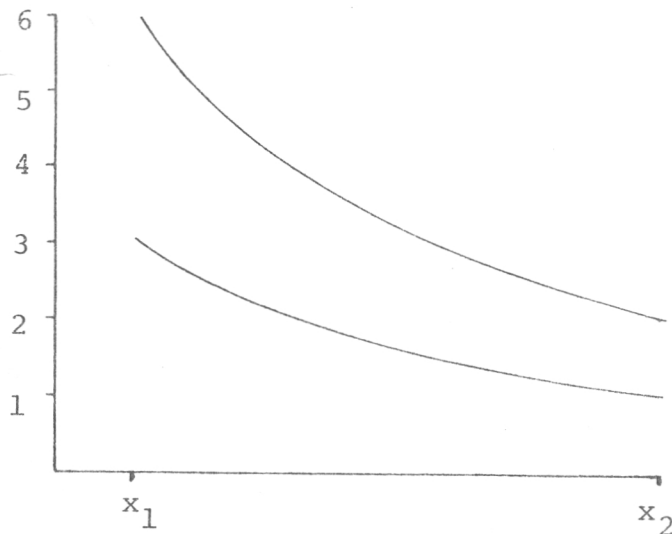
Taulukko 9. Taakka-ajan prosentuaalinen lyheneminen harjoittelun kuluessa.

Harjoittelujakso	Taakka-ajan lyheneminen, %	
	Metsätraktori	Simulaattori
10 - 20 h	43,8	17,2
20 - 30 h	25,9	14,7
30 - 40 h	17,5	12,9
40 - 50 h	12,7	11,4
10 - 50 h	70,0	45,5

Taulukon luvuista nähdään, että 50 harjoitustuntiin mennessä taakka-aika on lyhentynyt metsätraktorilla suhteellisesti noin puolitoista kertaa enemmän kuin simulaattorilla. Varsinkin harjoittelun alussa on oppiminen metsätraktorilla suhteellisesti paljon nopeampaa. Lisäksi kehitys jatkuu metsätraktorilla voimakkaana pitempään kuin simulaattorilla, jolla saavutetaan lähes vaakasuora taso jo 50 harjoitustuntiin mennessä. LEHTOSEN (1975) mukaan taakka-ajan kehitys oikealla metsätraktorilla kuormattaessa jatkuu suhteellisen voimakkaana aina 140 harjoitustuntiin saakka. Tästä voidaan päätellä, että kuormaus metsätraktorilla on vaikeampaa ja vaatii sen vuoksi enemmän harjoittelua. Tämä on aivan luonnollista, sillä oikealla metsätraktorilla kuormaimen liikeradat ovat laajoja, ja raskas taakka aiheuttaa helposti heiluntaa, mikä vaikeuttaa kuormasta huomattavasti. Myös näkyvyys on huonompi kuin simulaattorilla.

Vertaamalla oppimiskäyriä keskenään pyritään selvittämään oppimistapahtumien vastaavuutta. Mikäli oppimiskäyrät osoittautuvat samanmuotoisiksi oletetaan tämän merkitsevän sitä, että oppiminen simulaattorilla on luonteeltaan samanaista kuin metsätraktorilla. Käyrien samanmuotoisuudella

tarkoitetaan sitä, että tietyllä välillä käyrät laskevat suhteellisesti yhtä paljon. Alla olevassa kuvassa on esitetty kaksi käyrää, jotka ovat tässä mielessä "samanmuotoisia", sillä välillä $x_1 \dots x_2$ ne molemmat laskevat kaksi kolmasosaa alkuarvostaan.



Kuva 10. Esimerkki samanmuotoisista oppimiskäyristä.

Käyrien samanmuotoisuutta tutkittiin laskemalla kuormauksen ajanmenekkiä kuvaavilla yhtälöillä sarja eri harjoitusmääriä vastaavia arvoja. Näitä arvoja käyttäen laskettiin sitten kertoimet, joilla simulaattorilla tapahtuvan kuormauksen ajanmenekki on kerrottava, jotta päästäisiin metsätraktorilla tapahtuvan kuormauksen ajanmenekkiin. Samansuuruinen kerroin eri harjoitusmäärien kohdalla olisi osoitus käyrien samanmuotoisuudesta. Kerroin osoittaa siis sen, kuinka paljon enemmän kuormaukseen kuluu aikaa metsätraktorilla kuin simulaattorilla. Taulukkoon 10 on laskettu eri harjoitustuntimääriä vastaavat taakka-ajat ja niiden välinen suhde.

Taulukko 10. Keskimääräiset kuormauksen taakka-ajat metsätraktorilla ja simulaattorilla harjoitusmäärän mukaan.

Harjoitusmäärä, h	Taakka-aika, cmin		Kerroin
	Metsätraktori	Simulaattori	
10	353,6	61,5	5,7
15	250,4	55,7	4,5
20	198,9	50,9	3,9
25	167,9	46,8	3,6
30	147,3	43,4	3,4
35	132,6	40,4	3,3
40	121,5	37,8	3,2
45	112,9	35,5	3,2
50	106,1	33,5	3,2

Taakka-aikojen suhde pienenee asteittain aina 40 harjoitustuntiin saakka, ja vakiintuu sen jälkeen arvoon 3,2. Suhteen pieneminen on nopeinta aivan harjoittelun alussa, ja esimerkiksi 20 harjoitustunnin jälkeen suhde pienenee enää 3,9:stä 3,2:een eli noin 18 %. Huomionarvoista on, että 40 harjoitustunnista lähtien taakka-aikojen suhde pysyy aivan samana 50 harjoitustuntiin saakka.

Taakka-aikojen suhdeluku osoittaa, että simulaattoriharjoittelun jälkipuoliskolla on taakka-ajan suhteellinen kehitys ollut hyvin samansuuruista kuin metsätraktorilla harjoiteltaessa. Oletettavasti tänä aikana on kuormauksen oppiminen simulaattorilla ollut luonteeltaan samanlaista kuin metsätraktorilla.

Simulaattorilla ja metsätraktorilla tapahtuvan kuormauksen oppimisen välisen yhteyden tarkempaa selvittämistä varten, laskettiin vielä regressioyhtälö ajanmenekkien välille.

Regressioyhtälö muodostettiin em. tavalla saatujen, eri harjoitusmääriä vastaavien ajanmenekkien välille siten, että selittävänä muuttujana oli simulaattorilla ja selitettävänä muuttujana oikealla metsätraktorilla tapahtuvan kuormauksen ajanmenekki. Regressioyhtälön laskemisessa käytettiin 40:tä yhtälöiden avulla laskettua lukuparia.

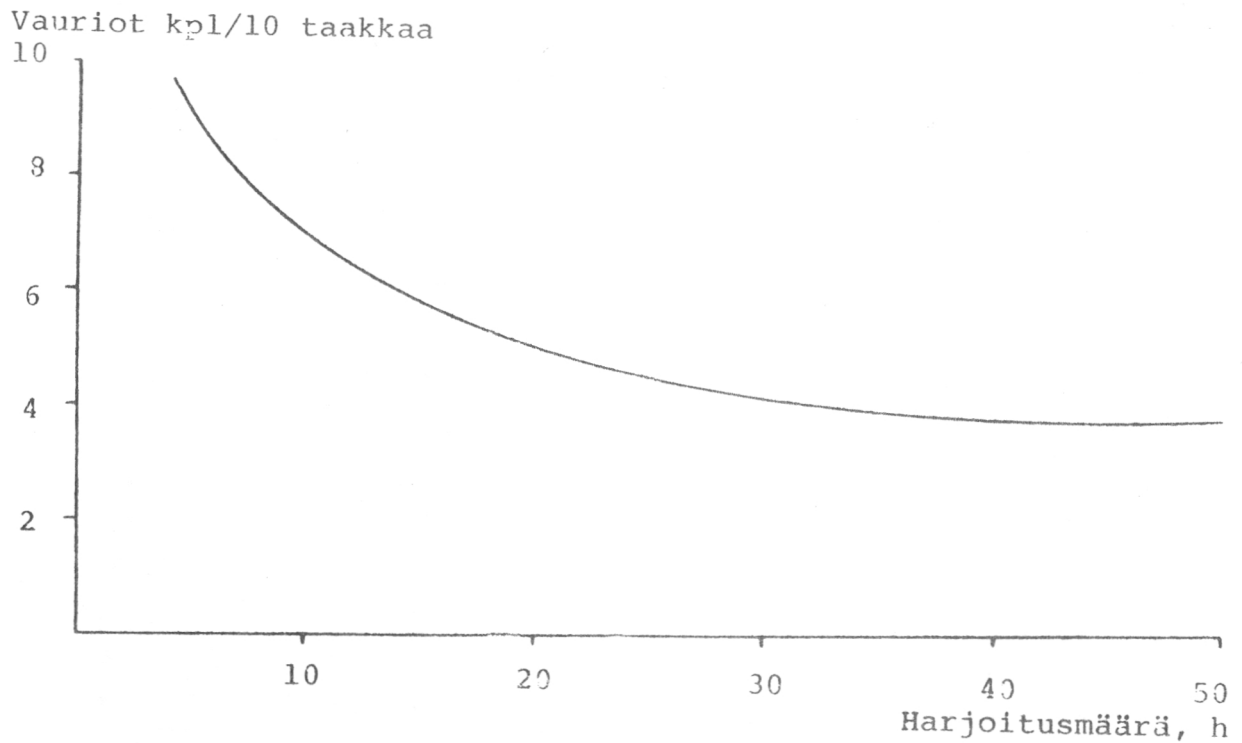
Ajanmenekkien välille saatiin käyräviivainen riippuvuus; yhtälö oli muotoa $y = e^{ax^2} + b$. Ajanmenekkien välinen korrelaatio oli 0,999, ja mallin t-arvo (221.2) osoitti muuttujan x kertoimen poikkeavan 0,1 %:n riskillä nolasta. Yhtälön selitysasteeksi saatiin peräti 99,9 %, mikä yhdessä korkean t-arvon kanssa osoittaa ajanmenekin riippuvuuden harjoittelumäärästä olevan hyvin samanlaista simulaattorilla ja metsätraktorilla. Tämä tukee edelleen sitä käsitystä, että simulaattori on onnistuttu saamaan toiminnoiltaan verraten hyvin oikeaa kuormainta vastaavaksi.

Kuormauksen oppiminen oikealla kuormaimella on harjoittelun alkuvaiheessa suhteellisesti nopeampaa kuin simulaattorilla, sillä kuormaimen omasta painosta ym. seikoista johtuen on vaikeampaa tottua käyttämään oikeaa kuormainta simulaattoriin verrattuna. Toisin sanoen "lähtötaso" on oikealla kuormaimella kuormattaessa suhteellisesti korkeammalla. Sen jälkeen kun kuormaimen laajat liikeradat ja sen aiheuttama heilunta on opittu jollain lailla hallitsemaan, on kuormaus luonteeltaan hyvin samanlaista kuin simulaattorillakin.

46. Vauriot

Jäävälle puustolle aiheutetut vauriot vähenivät selvästi harjoitusjakson kuluessa. Kuvasta 11 nähdään, että vauriot vähenivät voimakkaimmin harjoittelun alkuvaiheessa, sillä 30 harjoitustunnista eteenpäin on vaurioiden kuvaaja jo lähes

vaakasuora.



Kuva 11. Vauriot harjoitusmäärän mukaan.

Taulukossa 11 esitetään vaurioiden jakaantuminen kuormaimen ja taakan aiheuttamiin sekä vaurioiden määrä 10 kuormattua taakkaa kohti eri koehenkilöillä.

Taulukko 11. Vaurioiden määrän jakaantuminen.

Koehenkilö	Vaurion aiheuttaja			Vaurioiden lukumäärä/ 10 taakkaa		
	Kuormain	Taakka	Yht.	Kuormain	Taakka	Yht.
1	37,8	62,2	100,0	2,0	3,3	5,3
2	59,7	40,3	100,0	4,2	2,8	7,0
3	57,1	42,9	100,0	2,2	1,6	3,8

Vaurioiden lukumäärässä havaittiin huomattavia eroja koehenkilöiden välillä. Taulukko 12 kuvaa vaurioiden suhteellista määrää eri koehenkilöillä harjoitusjakson alku- ja loppupuoliskon aikana. Suurinta vaurioiden määrää on merkitty sadalla.

Taulukko 12. Vaurioiden suhteelliset määrät eri koehenkilöillä.

	Koehenkilö		
	1	2	3
	Vaurioiden suhteellinen määrä		
Harj.jakson alkupuoli	65,6	100,0	49,0
Harj.jakson loppupuoli	78,2	100,0	61,8

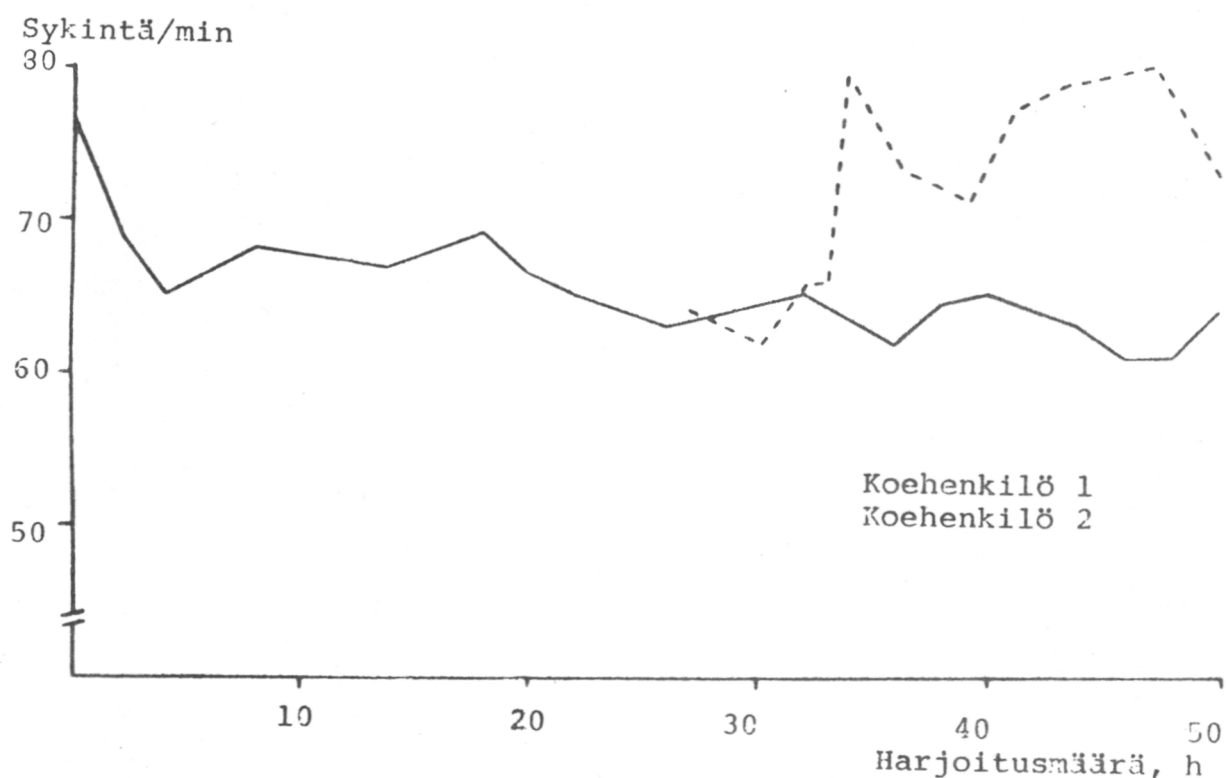
Taulukosta havaitaan koehenkilöiden välisten erojen pienentyneen selvästi harjoittelun edistyessä.

Verrattaessa harjoitusjakson alku- ja loppupuoliskoja keskenään, vaurioiden määrä väheni koehenkilöillä 28...43 %.

Vaurioiden määrän väheneminen kuljettajan kokemuksen lisääntyessä vastaa täysin käytännössä saatuja kokemuksia (SIREN 1981). Metsäkuljetuksessa syntyvien runkovaurioiden määrä riippuu kuitenkin ensi sijassa kasojen sijoittelusta jääviin puihin nähden, ajourien suunnittelusta, korjuuajankohdasta ja muista leimikkotunnuksista (esim. HANNELIUS ja LILLANDT 1970, SIREN 1981).

47. Koehenkilöiden kuormittuminen

Kahden koehenkilön sydämen sykintä harjoittelumäärän funktiona on esitetty kuvassa 12. Toisesta koehenkilöstä havaintoja tehtiin vain harjoittelun loppupuolelta.



Kuva 12. Koehenkilöiden sydämen sykintä harjoittelumäärän funktiona.

Koehenkilön 1 sydämen sykkinnän taso laskee lievästi harjoittelun kuluessa. Aivan ensimmäinen sykkinnän mittaus on antanut selvästi korkeimman arvon. Koehenkilön 1 tulokset tukevat käsitystä, että kuormaustaidon kehittyessä työn psyykinen tai tarkemmin neuro-sensorinen kuormittavuus vähenee. Tähän johtopäätökseen on kuitenkin suhtauduttava varauksellisesti, sillä se perustuu vain yhdestä koehenkilöstä tehtyihin havaintoihin ja vain yhteen fysiologiseen muuttujaan.

Koehenkilöllä 2 sykinnän taso on lähes koko ajan koehenkilön 1 tason yläpuolella. Suurin syy tähän lienee koehenkilön 2 heikohko terveydentila kyseisenä aikana. Koehenkilöiden välistä vertailua vaikeuttaa lisäksi se, että toisesta koehenkilöstä tehtiin havaintoja ainoastaan harjoittelujakson loppupuolella.

Sydämen sykinnän tasossa ei havaittu eroja eri työvaiheiden välillä. Useimmissa tapauksissa oli sykinnän taso iltapäivällä korkeampi kuin aamupäivällä. Tämä havainto on yhdenmukainen LEHTOSEN (1977) saaman tuloksen kanssa, jonka mukaan sykinnän taso kohoaa lievästi työpäivän mittaan. Myös SALMINEN (1981) on todennut kolmella kuormatraktorin kuljettajalla neljästä sydämen sykinnän kohoavan työpäivän aikana.

5. TULOSTEN SOVELTAMINEN KÄYTÄNTÖÖN

Simulaattorilla suoritettujen kuormausharjoittelun tutkiminen ja kuormauksen oppimisen vertaaminen oikealla metsätraktorilla tapahtuvaan oppimiseen osoittavat, että simulaattori vastaa melko hyvin toiminnoiltaan oikeaa kuormainta. Siirryttäessä simulaattoriharjoittelun jälkeen käyttämään oikeaa kuormainta havaittiin, että simulaattorin avulla oli opittu taitoa vaativa kuormaimen samanaikainen liikuttelu kolmessa tasossa. Suurin ero simulaattorin ja oikean kourakuormaimen välillä oli liikkeiden dynamiikassa. Tutkimuksen jälkeen simulaattoria onkin tässä suhteessa parannettu asentamalla kouraan joustavammat hydrauliletkut. Tämän seurauksena koura liikkuu vapaammin ja käyttämällä verraten painavia puita taakkana saadaan simulaattorin kouran heilahtelu luonteeltaan lähemmäksi todellisen kouran liikkeitä. Tältä pohjalta simulaattoria voidaan käyttää myös kuormauksen opetukseen.

Simulaattorin käyttöä opetuksessa edistää laitteen teknisten ominaisuuksien parantamisen ohella myös harjoittelumenetelmien kehittäminen. Ainakin alkuvaiheessaan harjoittelun tulisi tapahtua asiantuntevan ohjauksen alaisena. Yksi mahdollisuus olisi kourajumpan tyyllisen harjoitusohjelman läpivieminen myös simulaattorilla. Simulaattoriopetuksella voitaisiin säästää kustannuksia, sillä tällöin kalliiden metsätraktoreiden tarve koulutustarkoituksiin vähenisi. On kuitenkin muistettava, että muusta käytöstä jo poistettuja, ajokelvottomia metsätraktoreita voidaan usein käyttää kuormauksen opetukseen. Metsäkonekouluilla ei kuitenkaan aina ole käytössään ajanmukaisia monitoimikoneita opetusta varten. Sen sijaan simulaattoriin voidaan verraten pienin kustannuksin rakentaa monitoimikoneiden kone-elimistöjä ja varustaa liikkeet tarvittavalla automatiikalla.

Tulokset tukevat myös sitä hypoteesia, että simulaattoriharjoittelu nopeuttaa alkuvaiheessa oppimista oikealla kuormaimella harjoitteluun verrattuna. Tietyt perusasiat lienee mahdollista omaksua simulaattorilla nopeammin, sillä simulaattorityöskentely on jonkin verran yksinkertaistettua ja helpompaa kuin oikealla koneella työskentely.

Simulaattoriharjoittelusta saadut havainnot tukevat LEHTOSEN (1975) tutkimuksen antamaa käsitystä siitä, että taakan kouraisu ja irrotus ovat vaikeimmat kuormauksen työvaiheet, joten niiden opettamiseen tulisi kuljettajien koulutuksessa kiinnittää erityistä huomiota. Sen sijaan simulaattorin avulla ei kyetty selvittämään päivittäisen harjoittelun optimituutta.

Koska tämän tutkimuksen tulokset osoittavat, että simulaattorin toiminta on luonteeltaan lähellä oikean kuormaimen toimintaa, voidaan olettaa simulaattorin soveltuvan erilaisten hallintajärjestelmien ja koneiden toimintaperiaatteiden vertaamiseen. Simulaattorin etuna on, että koejär-

jestelyjen avulla voidaan ulkoiset olosuhteet säilyttää tarkalleen muuttumattomina, mikä parantaa tulosten vertailukelpoisuutta. Erilaisin periaattein toimivia koneita voidaan simulaattoriin rakentaa pienin kustannuksin verrattuna täysikokoisten prototyyppien rakentamiskustannuksiin. Simulaattori soveltuu mm. koneiden automatisointimahdollisuuksien selvittämiseen.

Simulaattorin avulla voidaan tutkia myös erilaisia monitoimikoneratkaisuja, sillä monitoimikoneissahan on keskeisenä osana hyvin paljon kuormainta muistuttava puomirakennelma. Liittämällä kuormaimen päähän tai kuormatilaan puunkäsittely- tai -tartuntalaitteita jäljittelevät komponentit voidaan simulaattoria käyttäen verrata eri periaatteilla toimivia monitoimikoneita. Samoin voidaan verrata yhtä puuta kerrallaan käsitteleviä laitteita puiden joukkokäsittelyyn perustuviin laitteisiin. Edelleen voidaan verrata erilaisia työmenetelmiä samalla koneella. Päähuomio simulaattorikokeiluissa tullaankin vastedes kiinnittämään monitoimikoneiden laiteratkaisujen, toimintaperiaatteiden ja työmenetelmien tutkimiseen. Yksi käyttöalue on myös ergonomisten laboratoriotutkimusten suorittaminen mm. automatiikan vaikutuksista kuljettajan kuormittumiseen.

6. TIIVISTELMÄ

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää harjoittelumäärän ja -tavan vaikutus kourakuormauksen oppimiseen pienoismallisimulaattorilla. Lisäksi pyrittiin saamaan selville, missä määrin simulaattorilla oppiminen vastaa oikealla metsätraktorilla tapahtuvaa kuormauksen oppimista, ja onko simulaattoriharjoittelusta hyötyä oikean kuormaimen käyttöä ajatellen. Tämän oletettiin riippuvan siitä, kuinka hyvin simulaattori vastaa toiminnoiltaan oikeaa kuormainta.

Sivukohteena tutkittiin kuormauksen jäävälle puustolle aiheuttamia vaurioita ja koehenkilöiden psykofysiologista kuormittumista harjoittelun aikana.

Kuormainsimulaattori on rakennettu suhteessa 1/8 todelliseen kuormaimen verrattuna (kuva ⁴), ja sen liikkeet on pyritty saamaan mahdollisimman hyvin oikean kuormaimen liikkeitä vastaaviksi. Simulaattoriin liittyy kuormatila, normaalikokoinen kuljettajan istuin ja oikeat kuormaimen hallintalaitteet.

Tutkimusaineisto kerättiin kolmesta koehenkilöstä. He harjoittelivat simulaattorilla noin 50 h (kuva 6), ja kunkin harjoittelupäivän alussa ja lopussa kuormauksesta tehtiin aikatutkimus. Kuormauksen aiheuttamat vauriot jäävälle puustolle merkittiin muistiin aikatutkimuksen yhteydessä. Koehenkilöiden kuormittumista seurattiin mittaamalla sydämen sykintää kuormauksen aikana.

Kuormauksen työvaiheiden ajanmenekki pieneni kaikilla koehenkilöillä selvästi harjoittelun kuluessa (taulukko 1). Kuormauksen keskimääräinen taakka-aika lyheni 34...71 %. Harjoittelun lopussa koehenkilöiden taakka-ajat olivat lähes samansuuruiset. Kouraisun ja taakan irrotuksen osuudet taakka-ajasta olivat selvästi pienemmät kuin oikealla kuormaimella.

Kuormauksen aiheuttamien runkovaurioiden määrän todettiin vähenevän selvästi harjoittelun kuluessa .

Siirryttäessä käyttämään oikeaa kuormainta havaittiin, että simulaattoriharjoittelusta oli ollut hyötyä oikean kuormaimen käyttöä ajatellen (luku 43). Lisäksi todettiin, että kuormauksen oppiminen simulaattorilla oli luonteeltaan hyvin samanlaista kuin oikealla kuormaimella tapahtuva oppiminen (luku 44). Tulosten perusteella voitiin päätellä, että si-

mulaattori vastasi toiminnoiltaan varsin hyvin todellista kuormainta. Tämän ansiosta sitä voidaan tulevaisuudessa käyttää mm. koneenkuljettajien opetuksessa ja konekehittelyssä erilaisten laiteratkaisujen, toimintaperiaatteiden ja työskentelymenetelmien vertaamiseen.

LÄHDELUETTELO

- ALMQVIST, A. 1968. En simuleringsmodell för fällarebuntare. Forskningstiftelsen Skogsarbeten, Ekonomi 7/1968.
- FIEANDT, K. 1965. Psykologian peruskysymyksiä. Helsinki.
- HANNELIUS, S. & LILLANDT, M. 1970. Puuston vaurioituminen harvennusleimikoiden koneellisessa korjuussa. Helsingin yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja n:o 4.
- HARSTELA, P. 1979. Puunkorjuun ergonomia.
- KAHALA, M. 1979. Puutavaran kuormatraktorikuljetus ja siihen vaikuttavat tekijät. Metsätehon tiedotus - 355.
- KAHALA, M. & RANTAPUU, K. 1970. Tutkimus puutavaran valmistustavan ja leimikkotekijöiden vaikutuksesta hakkuuseen ja metsäkuljetukseen kuormaa kantavalla metsätraktorilla. Metsätehon tiedotus - 292.
- KATZ, D. 1963. Psykologian käsikirja. Porvoo.
- LEHTONEN, E. 1975. Kourakuormauksen oppiminen. Folia Forestalia 244.
- LEHTONEN, E. 1977. Inlärnning av griplastning och förutsäggande av förarens prestation. Driftsteknisk rapport. Norsk Institut för Skogsforskning. 16:303-310.
- MYHRMAN, D. & PETTERSON, B. 1971. Kombinationsreglage för griplastare. Forskningstiftelsen Skogsarbeten, Teknik 9/1971.
- NEWNHAM, R.M. 1967. A progress report on the simulation model for pulpwood harvesting machines. Ottawa.
- PETTERSON, B. 1968. Terrängtransport av massaved med griplastarutrustad traktor. Forskningstiftelsen Skogsarbeten - Redogörelse 1/1968.
- SALMINEN, M-L. 1981. Kuormatraktorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psykofysiologisilla menetelmillä. Konekirjoite.
- SANTESSON, M. & SJUNNESSON, S. 1972. Simulation model for

- thinning machines. Institutionen för skogsteknik
N:o 49. 1972.
- SCHABAS, W. 1979. Mc Coll's Accufor will forward whole
trees further and faster. Pulp and Paper Canada,
vol. 80, N:o 101 October 1979.
- SILANDER, S. 1967. Hydraulisen kuormauslaitteen käyttäjän
ammattitaidon vaikutus taakka-aikaan.
Työtehoseuran metsätiedotus 114.
- SIREN, M. 1981. Vaurioiden syntyminen harvennuspuun kor-
juussa. Konekirjoite.
- VESIKALLIO, H. 1980. Suullinen lausunto. Metsäteho.

