

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISUJA 87.2
COMMUNICATIONES INSTITUTI FORESTALIS FENNIAE 87.2

TYÖAJAN MENEKKIIN JA TYÖNTEKIJÄN
KUORMITTUMISEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT
ERÄISSÄ METSÄTYÖMENETELMISSÄ

Teoreettinen ja empiirinen analyysi

PERTTI HARSTELA

Summary in english

FACTORS AFFECTING THE CONSUMPTION OF WORKING TIME
AND THE STRAIN ON THE WORKER IN SOME

FOR REFERENCE
ONLY

TO BE PRESENT
AND FOREST
AUDITO

AGRICULTURE
ITICISM IN
NOON

HELSINKI 1975

ALKUSANAT

Tämä tutkimus kuuluu osana metsäntutkimuslaitoksen metsäteknologian osastossa suoritettaviin ergonomisiin ja työtieteellisiin tutkimuksiin. Vaikka osaston tutkimustoiminnan ensisijaisena päämääränä on tuottaa käytäntöä palvelevaa tietoa, on myös nyt kysessä oleva perustutkimustyyppinen aihevalinta katsottu tarpeelliseksi. Erityisesti ergonomian mukaan tulo metsätyötieteellisiin tutkimuksiin on lisännyt työtieteen teorian kehittämistarvetta. Nopeasti kehittyvän teknologian edellyttämä tutkimuspanos tarvitsee myös tuekseen teorian muodostusta tulosten luotettavuuden takaamiseksi.

Tutkimuksessa käytettyjen psykologisten testien laadinnassa ja valinnassa olen saanut apua yht.tiet.maist. Orvokki Kammoselta ja hum.kand. Kaija Kanniselta. Työfysiologisista tuloksista minulla on ollut tilaisuus keskustella prof. Osmo Hännisen johtamissa Kuopion Korkeakoulun fysiologian seminaareissa. Fysiologisen kirjallisuuden läpi käymiseen sain apua lääk.tohtori Pekka Ojalta Työterveyslaitokselta. Maasto- ja laskentatöihin osallistuivat kenttämasteri Sauli Takalo, metsäteknikko Pertti Laakso, työnjohtaja Kari Sauvala, tutkimusapulainen Heikki Korhonen ja koeapulainen Urpo Paananen. Enso-Gutzeitin metsäosasto ja metsäntutkimuslaitoksen kokeilualue-toimisto luovuttivat käyttöni kochenkilöt ja työmaat. Erityisesti avustivat alue-mets.hoit. Teuvo Hinttala, piirityönjoht. Hannes Nenonen, metsäteknikko Antti Niemelä ja metsäteknikko Risto Helkiö.

Käsikirjoituksen ovat lukeneet prof. Pentti Hakkila, prof. Veijo Heiskanen, prof. Kalle Putkisto, prof. Bror-Anton Granvik ja tekn.tohtori Heikki Heiskanen. Tohtori Heiskaselta sain myös apua M-67 metateorian soveltamiseen. Käännöstyön englanniksi suoritti maisteri Päivikki Ojansuu. Konekirjoituksesta huolehti neiti Raija Siekinen. Emil Aaltosen Säätiö myönsi työn suorittamista varten apurahan. Kiitän kaikkia työn suorittamiseen vaikuttaneita. Erityisen kiitoksen osoitan vaimolleni Luk Eila Harstelalle kaikin puolisesta tuesta työn eri vaiheissa sekä vanhemmilleni, joiden tuki on ollut opintieni edellytys.

Suonenjoella huhtikuussa 1975

Pertti Harstela

SISÄLLYSLUETTELO

	Sivu
1. Johdanto	7
11. Työ tutkimuskohteena	7
12. Työssä vallitsevat riippuvuussuhteet ja metsätyötieteessä omaksutut periaatteet	7
121. Aikatutkimuksen periaatteet	7
122. Työfysiologisen ja -psykologisen tutkimuksen periaatteet	9
13. Tutkimustehtävä ja lähtökohtahypoteesit	12
2. Metsätyössä vaikuttavat tekijät	13
21. Tutkimusotteen valinta	13
22. Työsuoritusta kuvaava systeemimalli	13
23. Työn systeemikuvaus ja metsätyö	18
231. Puutavaran teko ihmistyövaltaisain menetelmin	18
232. Metsäkuljetus ja puutavaran koneellinen valmistus	20
233. Muu metsätyö	23
24. Metsätyö kyberneettisenä järjestelmänä	24
241. Avoin kyberneettinen järjestelmä	24
242. Kynnysarvojen vaikutus muuttujien välisiin suhteisiin	25
243. Muuttujien välisten riippuvuussuhteiden suunta	26
244. Systeemin isomorfia ja vertailevan työntutkimuksen periaate	26
245. Homomorfian ihanne	27
246. Koodatun sanoman tulkinta	27
25. Systeemikuvauksesta johdetut hypoteesit ja teorian muodostus	28
251. Metsätyöntutkimuksen periaatteet	28
252. Metateoreettinen teorian muodostus	30
3. Empiirinen tutkimus	35
31. Tutkimustehtävä	36
32. Tutkimusaineisto	37
321. Tutkimukseen valitut työmenetelmät	37
322. Aineiston keruu, laajuus ja laatu	38
3221. Aineiston keruu	38
3222. Aineiston laajuus ja laatu	38
323. Kochenkilöt	39
3231. Kochenkilöiden valinta	39
3232. Kochenkilöiden fyysiset ominaisuudet	40
3233. Kochenkilöiden psyykkiset ja psykomotooriset omaisuudet	41
33. Aineiston käsittely	42
332. Tilastollisten menetelmien käyttö	42
34. Tutkimustulokset	44
341. Työajan menekkiin vaikuttavat tekijät	44
3411. Rullataimien leikkaus ja taimien nosto	44
3412. Kuitupuun teko palstatien varteen	50

	Sivu
342. Sydämen sykkeeseen vaikuttavat tekijät	54
3421. Rullataimien leikkaus ja taimien nosto	54
3422. Kuitupuun teko palstatien varteen	56
343. Suhteellinen työaika ja siihen vaikuttavat tekijät	60
3431. Rullataimien leikkaus ja taimien nosto	60
3432. Kuitupuun teko palstatien varteen	63
344. Suhteellinen syke ja kuormittuminen sekä niihin vaikuttavat tekijät	67
3441. Rullataimien leikkaus ja taimien nosto	67
3442. Kuitupuun teko palstatien varteen	72
345. Sykkeen vaihtelu työpäivän aikana kuitupuun teossa	78
346. Työajan menekin vaihtelu työpäivän aikana kuitupuun teossa	83
35. Tulosten systeemikuvaus ja teorian muodostus	85
36. Tulosten tarkastelua	91
4. Tiivistelmä	97
Kirjallisuusviitteet	102
Summary in English	112
Liitteet	124

1. JOHDANTO

11. Työ tutkimuskohteena

Ihmisen suorittama työ on tutkimuskohteena monitahoinen, ja monet perinteelliset tieteet käsittelevätkin tai sivuavat sitä. Tutkimuksissa voidaan huomio kiinnittää esim. työtä tekevään ihmiseen, itse työhön, työn seurauksiin, työn teon edellytyksiin, työhön vaikuttaviin seikkoihin tai työssä käytettäviin koneisiin ja välineisiin, syntyviin tuotteisiin tai työn tuottavuuteen eli työmäärän ja työpanoksen suhteeseen (vrt Skoglig . . . 1963, Hilf 1963, Nadler 1963, Mattson Mårn 1953, Mäkelä 1969, Aro 1945). Voidaan myös tutkia työn sosiaalisia vaikutuksia tai sosiaalisten vaikutusten suhdetta työhön.

Työtä tai työn vaikutuksia ja edellytyksiä tutkitaan mm. varsinaisessa työtieteessä ja ergonomiassa, työn psykologiassa, työn fysiologiassa, työhygieniassa, lääketieteessä, tekniikassa, teknologisissa tieteissä, oikeustieteessä, kansantaloustieteessä, sosiologiassa ja sosiaalipolitiikassa. Näin ollen kokonaisvaltainen työtieteellinen tarkastelu on poikkitieteellistä, ja varsinaisen työtieteen voidaan sanoa kattavan useiden perinteellisten tieteenhaarojen osia. Työtieteen on myös nähty saavan vaikutteita kaikista luonnon- ja kulttuuritieteen haaroista (vrt. Hilf 1957).

12. Työssä vallitsevat riippuvuussuhteet ja metsätyötieteessä omaksutut periaatteet

121. Aikatutkimuksen periaatteet

Työtieteen eri osien välillä tiedetään olevan riippuvuussuhteita siten, että esimerkiksi työn tuotokseen vaikuttavat yhtä aikaa työn fysiologiaan ja psykologiaan luettavat ilmiöt sekä työolosuhteet, tekninen osaaminen jne. (vrt. Hansson 1965, Burger 1969, Grope 1969, Harstela 1971).

Pohjoismaisessa metsätyötieteessä laajasti omaksutun ns. vertailevan aikatutkimuksen periaatteen mukaan oletetaan — jyrkästi tulkittuna —, että työnsuorittajasta riippumatta eri työmenetelmien ajanmenekin suhteet ovat yhtä suuret samoissa olosuhteissa ja eri olosuhteissa ajanmenekin suhteet ovat samanlaiset samaa työmenetelmää käytettäessä. (Almqvist 1945, Aro 1945, Mattson Mårn 1953)

Lievemmän tulkinnan mukaan edellä esitetty periaate pätee vain keskitasoisiin työntekijöihin sovellettuna (Makkonen 1954). Vertailevan aikatutkimuksen periaatteen tueksi esitetään aikatutkimustoiminnassa saatu kokemus. Onkin todettu, ettei periaate aina — esim. kahden työntekijän vertailussa — pidä paikkaansa (Kahala 1969, Harstela 1970). Lisäksi on ilmeistä, että ihmisen suorituskyky ei ole käytetystä työmenetelmästä tms. riippumatonta (esim. Steinlin 1955) ja työntekijöiden välillä on eroja eri työvaiheiden suoritusnopeudessa (esim. Steinlin 1955, Hansson 1965). Koska eri työmenetelmissä ovat työvaiheiden osuudet erilaisia, saadaan ilmeisesti myös eri työntekijöiden välille erilaisia suhteellisia ajan menekin eroja. Näiden suuruuden ja käytännöllisen merkityksen voi olettaa riippuvan siitä, kuinka paljon menetelmät eroavat toisistaan. Barnesin (1940) mukaan työn tuotoksen vaikuttavista yksilöllisistä tekijöistä erottuvat työntekijän taito, hänen yritteliäisyytensä ja tehollinen työvauhtinsa (vrt. Hansson 1965). Fornallaz (1950, 1952) esittää useissa teollisuustöissä lähinnä henkisiin ponnistuksiin riippuvuussuhteessa olevan työtaidon työnopeutta merkittävämmäksi työtuotoksen selittäjäksi.

Keskieurooppalaisessa metsätyötieteessä on teollisuuden työntutkimusten tapaan pyritty normaalisuorituksen määrittämiseen (Allgemeine... 1959). Pohjoismaiset metsätyöntutkijat ovat voimakkaasti kritikoineet em. menettelyä, ja ns. joutuisuuden luotettavaa määrittämistä on metsäolosuhteissa pidetty mahdottomuutena (vrt. Makkonen 1954). Ainoastaan metsänviljely- ja taimitarhatyöhön on sovellettu normaaliaikatutkimusta (esim. Huuskko 1971). Myös teollisuuden piirissä joutuisuuden objektiiviseen määrittämiseen suhtaudutaan kriittisesti (vrt. Pietola 1971).

Keskieurooppalaisessakin metsätyötieteellisessä kirjallisuudessa on todettu ne vaikeudet, joita normaalisuorituksen mittaamiseen liittyy lähinnä työtaidon, työnopeuden, fyysisten tekijöiden ja ulkoisten hajontaa aiheuttavien tekijöiden monimutkaisten vaikutusten vuoksi (Hilf 1953, Steinlin 1955). Onkin todettava, ettei ”normalisoinnin” periaate itsessään tarjonne mitään teoreettista lisäinformaatiota työssä vallitsevista riippuvuuksista vertailevaan aikatutkimuksen periaatteen verrattuna.

Pohjoismaisessa metsätyötieteessä on vertailevan aikatutkimuksen periaatteen rinnalla käytetty ”keskimääräisen suoritustason” käsitettä, jolla tarkoitetaan usean ammattitaitoisen työntekijän tiettyssä työssä ja tiettyjen olosuhteiden vallitessa saavuttamien työtulosten keskiarvoa (Vöry 1954, Mattsson Mårn 1953, Putkisto 1956). Keskimääräinen suoritustaso on pyritty määrittämään työaika- ja tuotostilastojen avulla tai menetelmätutkimusten yhteydessä tutkimalla useita työntekijöitä aikatutkimuksin. Tällöin tuloksiin on kehoitettu suhtautumaan varauksin (esim. Putkisto 1956).

Vöry (1954) on analysoinut joitakin metsätöiden raskaita, käsin suoritettavia työvaiheita. Tarkastelun kohteina olevissa töissä suhteelliset hajonnat olivat 30...60%. Näin ollen luotettavien työmenetelmäkohtaisten keskiarvojen saami-

nen edellyttää varsin suuria aineistoja, sillä suoritusaikojen ei todettu noudattavan mitään yksinkertaisia säännönmukaisuuksia. Fornallazin (1940) mukaan työajan hajonta on sitä suurempi mitä enemmän energiaa työ vaatii. Vöryn saama tulos on osittain päinvastainen. Hajonta on kasvanut sahauksessa käsisahalla katkaisuläpimitan kasvaessa, mutta ollut pienempää koivun kuin havupuiden sahauksessa. Pölkkyjen lastauksessa käsin hajonta on pienentynyt pölkyn koon kasvaessa, mutta purkamisessa suurentunut. Hajaantumiskuviot olivat saman suuntaisesti vinoja, mutta mitään yksinkertaisia lainalaisuuksia, esim. riippuvuutta kappaleen koosta, ei tunnuslukuista voitu havaita. Vinouden selitettiin johtuvan siitä, että työajan lyhenemisellä on luonnolliset rajansa, mutta pitenemisellä ei. Aritmeettista keskiarvoa Vöry pitää erilaisista keskiarvoista käyttökelpoisimpana, koska valta-arvo ja keskeisarvo johtavat systemaattiseen poikkeamaan aritmeettiseen keskiarvoon nähden.

Etenkin teollisuuden työntutkimuksissa puhutaan tutkimuksen suoritustavan mukaan liiketutkimuksista, työmenetelmätutkimuksista ja ajanmenekkitutkimuksista (vrt. Sällfors 1945, Kärkkäinen 1971). Metsätyöntutkimuksissa on menetelmätutkimuksella myös tarkoitettu tietyn työmenetelmän kehittämiseen tai menetelmän taloudellisuusvertailuun tähtäävää tutkimusta (esim. Putkisto 1956). Tällöin tutkimustekniikka voi olla periaatteessa mikä tahansa esim. aikatutkimus (Putkisto 1956, Harstela ym. 1970). Työmenetelmän kannattavuuslaskelmat voi perustaa joko vertailevan aikatutkimuksen periaatteelle, jolloin vertailumenetelmäksi valitaan esim. käytössä oleva vakiintunut työmenetelmä — jonka tutkittava menetelmä mahdollisesti korvaisi — tai keskimääräisen suoritustason periaatteelle.

Liiketutkimuksia ei ole paljon sovellettu metsätyöntutkimukseen, koska metsätyötä pidetään liian vaihtelevana ja vaihtelevissa olosuhteissa suoritettavana. Monet tutkijat pitivät epärealistisena olettamusta, että monimutkainen työ olisi pelkästään perusliikkeittensä summa (esim. Ghiselli ja Brown 1956). Viime aikoina on ns. systeemanalyysien yhteydessä käytetty myös MTM-tekniikkaa (esim. Berg ym. 1973). Työmenetelmätutkimuksiksi (Suurehkojen työsarjojen analysointia) voidaan laskea ns. systeemanalyysit, joilla pyritään ennustamaan hypoteettisten menetelmien tuotoksia ja kustannuksia (esim. Sundberg 1970, Berg ym. 1973): Työmenetelmiä ja työtapoja on vertailtu myös puhtaasti geometris-matemaattisin laskelmin (esim. Putkisto 1959) ja simulointimenetelyllä (esim. Kärkkäinen 1973). Lisäksi on metsätyöntutkimuksissa käytetty työmenetelmien analysointia myös organisoinnin parantamiseen (esim. Petersson 1966) sekä ryhmän ideointia työmenetelmien kehittämiseen (Harstela 1971 c).

122. Työfysiologisen ja psykologisen tutkimuksen periaatteet

Myös työfysiologiaa on tutkittu päämääränä suoritusasteen määrittäminen, ja onkin todettu fysiologisesti optimaalisen työtehokkuuden antavan tulokseksi pie-

nimmän aikahajonnan (F o n a l l e z 1941). Ei ole kuitenkaan voitu osoittaa keinoja suoritusaste-erojen numeeriseen ratkaisuun työfysiologisin mittauksin. Fysiologinen kuormittavuus riippuu Gläserin (1952) mukaan paitsi työntekijän fyysisistä ominaisuuksista ja työtahdistista myös työtä helpottavien keinojen tajuamisesta, työhön sopeutumisesta ja organisaatiokyvystä. Ensimmäinen metsätyön fysiologinen tarkastelu Suomessa lienee K a n t o l a n ja B r a n v i k i n (1950) julkaisema hakkuun työtapojen analysointi.

Mälkiä (1974) jakaa metsätyön ergonomiaa ja metsätyöntekijöitä koskevat tutkimukset seuraaviin ryhmiin: 1. Kuormitustutkimukset pyrkivät selvittämään metsätyön kuormitustekijöitä; nämä ovat yleensä yksilötason tutkimuksia. 2. Kuormittumistutkimukset koskevat työntekijän kuormittumista työssään ja ovat yleensä väestötason tutkimuksia. 3. Kuormitettavuustutkimukset pyrkivät selvittämään ammattiryhmän fyysisiä ominaisuuksia. 4. Yhdistelmä-tutkimukset etsivät kuormituksen, kuormitettavuuden ja kuormittumisen välisiä yhteyksiä.

Metsätyötieteessä työfysiologista tutkimusta on pääasiassa sovellettu vertailevan aikatutkimuksen tapaan määrittämällä työmenetelmien välisiä suhteellisia kuormittavuusarvoja yhdellä tai harvalla työntekijöillä lähinnä kuormitustutkimuksina. Kuitenkin myös ominaisarvoja on tutkittu sitomalla syke- tai hapenkulutusarvoja työntekijän maksimaaliseen hapenkulutuskäyttöön (Esim. R ö n n h o l m ym. 1963, K a m i n s k y 1966, J o h a n s s o n ym. 1969, A n d e r s e n ym. 1970, H a r s t e l a 1970, 1971 a, b, L e v a n t o 1970, L e v a n t o ym. 1971 a, H a r s t e l a ym. 1972). Maksimaalisen hapenottokyvyn käyttö indikaattorina perustuu siis ajatukseen, että veren hapenkuljettamiskyky on työntekoa eniten rajoittava tekijä. Raskaaseen ruumiilliseen työhön sovellettuna oletus lieneekin oikea. Muussa tapauksessa myös muut väsymyksen aiheuttajat mm. hermostolliset yhteydet olisi otettava huomioon. (Vrt. A s m u s s e n 1972).

Työmenetelmä- tai olosuhdekohtaisten ominaisarvojen estimointiin on suosittu käytettäväksi useita koehenkilöitä yksilöiden välisestä varianssista johtuen (V a n L o o n ym. 1971). Maksimaalisen hapenottokyvyn ja työssä havaitun hapenoton suhdetta on myös käytetty pyrittäessä määrittämään joko ylikuormittumista tai työn miellyttävyysrajaa (esim. A n d e r s e n ym. 1970, L e v a n t o 1970). Vertailevan työntutkimuksen periaatteen relevanttiudesta ei ole esitetty tutkimustuloksia.

Työn kuormittavuuden analysointikeinoiksi ns. submaksimaalisessa työssä on suosittu yleiskuvan luomiseen päivittäistä kuormittavuuskäyrää, samalla työntekijällä eri työmenetelmien tai -olosuhteiden vertailuun kumulatiivisia diagrammeja ja työvaiheiden vertailuun työvaiheittaisia keskiarvoja ja hajontalukuja (esim. V i k 1971). Viimeksi mainitun esittämistavan käyttöä vaikeuttavat käytännön työoloissa esiintyvät lyhyet työvaiheet, joiden aikana kuormittavuusindikaattorit eivät ehdi riittävästi reagoida. Työn kuormittavuuteen vaikuttavien tekijöiden tilastollisessa analysoinnissa on ollut vaikeuksia korrelaatioiden esille saamisessa. Työntekijäkohtainen analyysi on kuitenkin yleensä johtanut regressioanalyysi-tek-

niikalla tyydyttäviin tuloksiin (Vik 1971, Harstela ym. 1971). Tulkintavaikeuksia on kuormittavuustutkimuksissa todettu työssä esiintyvien anaerobisten energiankulutusjaksojen vuoksi (esim. Mälkiä 1971).

Mälkiä (1974) on todennut saman pituista työpäivää käytettäessä, että työntekijän iän lisääntyminen ja suorituskyvyn aleneminen ovat lisänneet kuormittumista puutavaran teossa. Myös työntekijän ikä ja työn tuotos ovat korreloineet negatiivisesti. Tulokset osoittivat niin ikään iän ja työtaidon välistä riippuvuutta, joten korkea kuormittuminen voi olla myös työtaidon ja suorituskyvyn yhteisvaikutusta. Lihaskuormittumisen välille ei Mälkiän tutkimuksessa saatu korrelaatiota. Hyvän suorituskyvyn omaavat työntekijät näyttivät usein lisäävän työpäivän pituutta huonomman suorituskyvyn omaaviin työntekijöihin verrattuna niin, että kontrolloimattomissa olosuhteissa suorituskyky saattoi korreloida positiivisesti kuormittumisen kanssa. Maitohapon määrä veressä jäi alhaiseksi, mikä tulkittiin johtuvaksi siitä, että eri työvaiheiden yhtäjaksoinen kesto oli yleensä alle puoli minuuttia. Mälkiä toteaa, ettei metsäergonomisissa tutkimuksissa ole yleensä huomioitu biologista varianssia, jolloin erilaisella koehenkilöjoukolla voidaan saada erilaisia tuloksia.

Muu ergonominen tutkimustoiminta on suurelta osin ollut konciden ominaisuuksien mittaamista (esim. Kaminsky 1966, Aho 1970), työlääketeollista tutkimusta (esim. Gardell 1969, Lehtinen 1972), työn psyykkisen kokemisen mittaamista (esim. Hall 1973) tai konciden hallintalaitteiden ergonomian ja oppimistapahtuman selvittelyä (esim. Mezals 1971, Lehtonen 1973).

Anderson ym. (1968) ovat todenneet teknis-mekaanisten kykyjen ennustavan tilastollisesti merkitsevästi metsätraktorin kuljettajien työn tuotosta. Työntekijän psyykkisten ominaisuuksien vaikutusta monitoimikonetyön tuotokseen ja oppimistapahtumaan ovat selvittäneet Hall ym. (1972). Saatujen heikkojen riippuvuuksien syynä pidettiin koehenkilöjoukon testitulosten pientä hajontaa ja tuotostulosten huonoa vertailtavuutta. Työpsykologiaa sivuaviksi voitaneen lukea myös eräät mielipidetutkimukset (Heikinheimo ym. 1971) sekä työntekijän sosiaalista taustaa selvittelevät tutkimukset (esim. Følstad 1969).

Tapaturmien syitä tai estämistä käsittelevät tutkimukset ovat perustuneet pääasiassa joko tilastoaineistojen (esim. Pesonen 1974) tai tapaturmatilanteiden analysointiin (esim. Gustafsson 1974).

Etenkin ergonomisten tutkimusten yhteydessä on metsätyötieteelle pyritty hahmottamaan yleistä viitekehystä mm. kaaviotekniikkaa hyväksikäyttäen (esim. Köpf 1970), Hilf 1970, Harstela 1971 a, b, Heikinheimo ym. 1973). Tällöin on tarkasteltu tutkimustehtävän kannalta oleellisia tai mahdollisia riippuvuussuhteita puuttumatta tarkemmin riippuvuuksien luonteeseen.

13. Tutkimustehtävä ja lähtökohtahypoteesit

1. Useilla aloilla mm. organisaatioteorian kehittämässä on kilpailevien koulukuntien näkemysten yhdistäminen, mm. systeemiteorian pohjalta, katsottu hedelmälliseksi (esim. W i i o 1970). Koska työtapahytumaan liittyy monien tekijöiden riippuvuusuhjeita ja metsätyöntutkimuksen teoriaa on kehitetty lähinnä joillekin työn osa-alueille (esim. työajan menekin mittaamiseen), kokonaisuutta kuvaavan mallin tai viitekehysten oletetaan osoittautuvan hyödylliseksi ajattelun apuvälineeksi.

Viitekehys-mallin laatimista perustellaan systeemiteoreettisesti sillä, että monimutkaisten, esim. biologisten, systeemien ominaisuudet poikkeavat usein huomattavasti systeemin osien ominaisuuksista (A s h b y 1971): kokonaisuuden tulkinta voi erota systeemin osista saatujen tulosten tulkinnasta. Ensimmäisenä tutkimustehtävänä on laatia yleinen työtieteellinen viitekehys. Se laaditaan poikkitehtellisenä tarkasteluna tunnettujen teorioiden pohjalta erityisesti silmällä pitäen seuraavien tutkimustehtävien tarpeita.

2. Empiirisen aineiston avulla tutkitaan eräiden metsätyössä vaikuttavien inhimillisten, olosuhde- ja työmenetelmäkohtaisten muuttujien välisiä riippuvuusuhjeita. Tarkastelun tarkoituksena on tutkia hypoteettisen työn systeemikuvauksen suhdetta empiiriseen todellisuuteen.

3. Lopullisena tavoitteena on testata työn systeemikuvauksen yhteydessä johdettavia työtieteellisiä hypoteesejä ja periaatteita empiirisessä aineistossa. Periaatteet pyritään ulottamaan työtieteen kokonaisuuden tasolle, siis yhtä aikaa työsaavutuksen, työn fysiologian ja psykologian alueille.

Erityisesti tutkitaan vertailevan aikatutkimuksen periaatteen toteutumista. Hypoteesina oletetaan, että suhteellisten aika-arvojen hajonta on eri henkilöiden kohdalla pienempi kuin työmenetelmä- tai olosuhdekohtaisten. Vertailevan aikatutkimuksen periaate toteutuisi sitä paremmin mitä lähempänä menetelmät tai olosuhteet ovat toisiaan so. mitä vaatimuksia ne työntekijälle asettavat. Lisäksi tutkitaan vertailevan aikatutkimuksen periaatteen soveltamista sykemittauksiin. Periaatteen nimenä käytetään vertailevan työntutkimuksen periaatetta.

Koehenkilön ominaisuuksien suhdetta työajan menekkiin ja työntekijän kuormittumiseen tutkitaan erityisesti pitäen silmällä mahdollisuuksia parantaa koehenkilöiden valintamenettelyn avulla työntutkimustulosten yleistettävyyttä. Koehenkilön erilaisten ominaisuuksien vaikutusta ei ole aikaisemmin metsätyötilanteessa tutkittu, ja näiden muuttujien vaikutusten tuntemisen oletetaan vaikuttavan hedelmällisesti sekä työntutkimuksen teorian kehittämiseen että tulosten soveltamiseen.

2. METSÄTYÖSSÄ VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

21. Tutkimusotteen valinta

Tutkimuksen tätä osaa varten omaksutaan kokonaisvaltainen tutkimusote, ja viitekehystä lähdetään rakentamaan systeemianalyttiseltä pohjalta. Systeemimallin oletetaan osoittautuvan hedelmälliseksi siksi, että viitekehysten kannalta kokonaisvaltaisuus lienee oikea lähestymistapa. Ergonomiaa on myös vaikea irrottaa ihmisten ja yhteisöjen tavoitteista ja arvoista. Esimerkiksi työviihtyvyys liittyy suoraan ihmisen asettamiin tavoitteisiin. Lisäksi, kun systeemiteoria nähdään eri tieteiden väliseksi analogiasillaksi, se palvelee erityisesti tätä tutkimusta sen poikkitieteellisen luonteen vuoksi.

Koska viitekehysten tärkeimmäksi tehtäväksi nähdään tässä lähtökohtahypoteesien kehittäminen, sallitaan viitekehystenkin hypoteettinen luonne. Sekä edellä mainitusta syystä että siksi, ettei ergonomian alalla ole pitkälle kehitettyä yleistä teoriaa, ei ole katsottu aiheelliseksi myöskään välttää abstrakteja ja teoreettisia rakennelmia. Sen sijaan tutkimuksen niissä osissa, joissa kehitellään erityisteorioita luovutaan suurelta osin systeemiteoreettisesta lähestymistavasta, koska teorian kehityksen tässä vaiheessa ei katsota olevan edellytyksiä ulottaa systeemiteoreettista metodia erityisteorioiden tasolle. (Vrt. Ahmavaara 1969, Hahtola 1973, Niitamo 1968).

22. Työsuoritusta kuvaava systeemimalli

Työsuorituksella tarkoitetaan tässä yhteydessä toimintaa, jossa ihminen henkisen ja fyysisen työsuorituksen avulla aikaan saa jonkin henkisen tai aineellisen hyödykkeen. Metsätyötä kuvaavia kaavioita ovat esittäneet: Hall ym. (1973) päätösprosessista työssä, Heikinheimo ym. (1973) työsuorituksen ja ansioiden välisistä suhteista, Harstela (1971) työtapahtumasta ja siihen vaikuttavista tekijöistä, Köpf (1970) tuotannon kulutuksen ja ergonomian suhteista, Hilf (1970) työsuorituksen, tekniikan ja talouden suhteista, Höfle (1973) työn, työn suunnittelun, työnjohdon ja tuotoksen suhteista. Näissä esitetyjä riippuvuussuhteita on käytetty lähtökohtana kuvassa 1. esitetyn työn systeemikuvauksen laadinnassa.

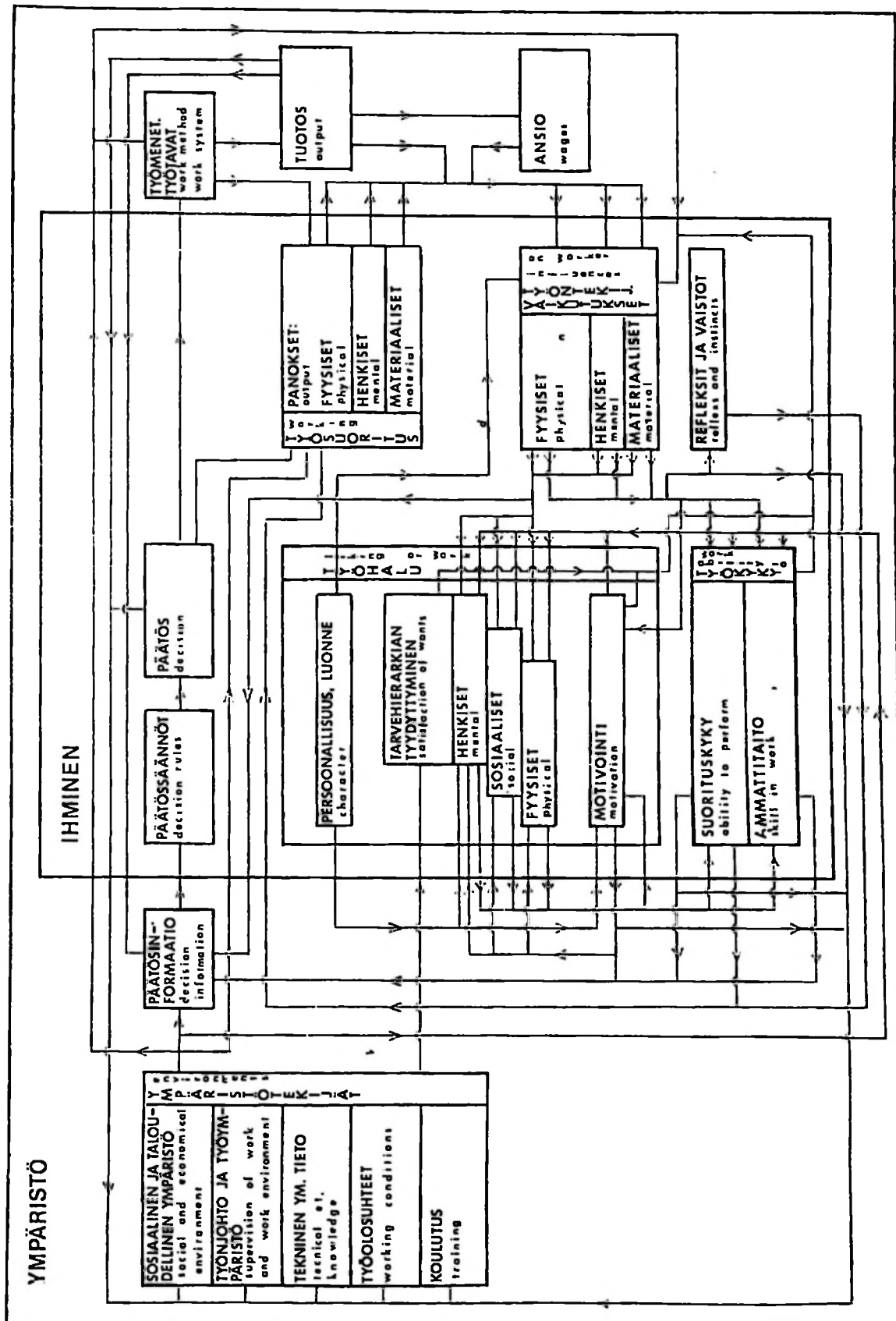
Malli on laadittu sen määritelmän pohjalta, jonka mukaan systeemi on alkioiden, niiden tilojen sekä alkioiden ja tilojen välisten riippuvuuksien muodostama järjestelmä. Alkiot voivat olla joko fysikaalisia tai abstrakteja (Hall ym. 1956, Niitamo 1968). Ihmisestä voisi periaatteessa muodostaa erittäin monimutkaisen systeemikuvauksen, mutta tässä pyritään selkeyden ja kokonaiskuvan luomisen helpottamiseksi hahmottelemaan verraten yksinkertainen, pääryhmiä alkioina käyttävä, kuvaus kuitenkin riittävän yksityiskohtainen osoittamaan ongelmien komplisoidun luonteen. Päämääränä on muodostaa sellaisia tekijäryhmiä, joiden tekijöitä voidaan työntutkijan keinoin mitata.

Riippuvuussuhteita kuvaava malli on esitetty kuvassa 1. Nuolet osoittavat vaikutusten otaksuttua suuntaa. Mallin viitekehymäisestä luonteesta johtuen subjektiivisuutta ei ole voitu välttää. Seuraavassa perustellaan mallin riippuvuussuhteita aikaisempien tutkimusten ja loogisten päätelmien avulla. Osa riippuvuussuhteista jää rationaalisiksi yleistyksiksi (vrt. Ahmavaara 1969) niiden triviaalisuuden vuoksi.

Työkyky — työsuoritus — työn tuotos. Ihmisen työtehon ja sitä kautta syntyviin työn tuotoksiin vaikuttavat hänen suorituskäytöksensä eli kapasiteettinsa kuten fyysiset ja psyykkiset edellytykset sekä koulutus ja ammattitaito eli kyky käyttää kapasiteettiaan (Tiffin 1952, Hansson 1965, Oksala 1966). Työkyky sisältää myös luvussa 12 esitetyt ominaisuudet: työhön sopeutumisen, työtä helpottavien keinojen tajuamisen ja organisaatiokyvyn. Työn teosta syntyy aineellisia tai henkisiä hyödykkeitä eli tuotoksia. Työnteko taas on työntekijän fyysisten ja henkisten sekä aineellisten panosten uhraamista. Käsite työsuoritus sisältää myös työtieteessä keskeisellä sijalla olevan joutuisuuden¹⁾ (vrt. luku 12). Tuotos on tässä käsitetty työmääräksi, joka syntyy paitsi inhimillisen työpanoksen (taloustieteissä työpanos sisältää tavallisesti vain ihmistyöpanoksen) myös muiden tuotannon tekijöiden käytöstä (vrt. Mäkelä 1969).

Ympäristötekijät — työsuoritus. Motivointi — päätösmenettely — työsuoritus. Ihmisen suorituskäytöksensä lisäksi työnteon kiinteyteen vaikuttavat mahdollisuus ja halu työntekoon. Toisin sanoen ulkoiset tekijät kuten työolosuhteet, työnjohto, työympäristö jne. sekä työn motivointi (Ghiselli ym. 1955, Oksala 1966). Työn tuotoksen on mm. todettu olleen työntekijän motivaatioiden ja työolosuhteiden funktion (Mackworth 1947). Toisaalta motivaation on todettu olevan monimutkaisessa riippuvuussuhteessa työn tuotoksen ja muiden työhön vaikuttavien tekijöiden kanssa (vrt. Ghiselli 1955). Ympäristötekijöihin on sisällytetty myös työmenetelmät ja -tavat, jotka osittain ovat työntekijän valittavissa, mutta joihin myös vaikuttavat työympäristö, työnjohto, ammattikoulutus jne. Motivoinnin on katsottu vaikuttavan työsuoritukseen päätösmenttelyn välityksellä.

¹⁾ Joutuisuus on työtahtia kuvaava käsite.



Kuva 1. Työsuorituksen vaikuttavat tekijät.
 Figure 1. Factors that affect work performance.

Refleksit — vaistot — työsuoritus. Motivaation lisäksi tarkastellaan psyykkisellä tasolla toimintaan vaikuttavina tekijöinä refleksiä ja vaistoja, jotka eroavat tahdonalaisesta toiminnasta ja liittyvät fysiologisesti eri hermotoiminnan tasoihin kuin motivointi (vrt. Teitelbaum 1971).

Ympäristötekijät — työkyky. Ympäristötekijät — motivointi. Varsin lukuisat metsätyötieteelliset tutkimukset käsittelevät olosuhteiden tai työmenetelmien vaikutusta työn tuotokseen (vrt. Aro 1945, Kahala 1969). Tämän mallin mukaan olosuhteet, menetelmät ja muut ympäristötekijät vaikuttavat työntekijän kykyyn käyttää erilaisia panoksia tuotoksen aikaansaamiseksi. On mm. todettu saman tuotoksen aikaan saamisen erilaisissa olosuhteissa vaativan työntekijältä erilaisia fyysisiä ponnistuksia ja kuormittavan työntekijää erilailla. Toisaalta taas fyysinen kuormitus vähentää työkykyä, jos tietyt fysiologiset kynnsarvot saavutetaan (esim. Åstrand 1960, Burger 1969). Kun taas esim. ammattikoulutus lisää työkykyä työtaidon kehittymisen kautta.

Organisaatio- ja johtajuusteorioissa on laajasti käsitelty henkilösuhteiden, työnjohdon (sis. tässä myös organisaation) sekä työolosuhteiden vaikutusta työntekijän motivointiin. Viime aikoina näiden tekijöiden yhteisvaikutusta on lähestytty mm. systeemiteorian pohjalta. Yleensä näiden tekijöiden ja motivoinnin välille on saatu selvä riippuvuus (vrt. Koli 1960, Herzberg 1968, Wiio 1969). Myös yrityksen ulkopuolinen yhteiskunta ja sen arvostukset vaikuttavat työn motivointiin (vrt. Allardt 1964).

Päätösinformaatio — päätössäännöt — päätös — työsuoritus. Päätössääntöjen katsotaan muodostuvan aivojen valintajärjestelmän tuloksena pitkäaikaisesta ja lyhytaikaisesta muistista tulevasta informaatiosta (vrt. Broadbent 1962, Poulton 1969). Päätös on työsuorituksen tietoista ohjausta.

Ympäristötekijät, motivointi, työkyky, tarvehierarkian tyydyttäminen — vaikutukset työntekijään — päätösinformaatio. Ihminen saa aistiensa välityksellä informaatiota sekä ympäristöstä että itsestään.

Työsuoritus — vaikutukset työntekijään. Työ voidaan jakaa mm. fyysiseen, älylliseen, havainnointia vaativaan ja psykomotooriseen työhön (Tsaneva 1972). Fyysinen työ kuluttaa ennen kaikkea lihasenergiaa. Lisäksi työssä (ehkä korostetusti muussa kuin fyysisessä työssä) syntyy ns. henkistä rasitusta ja stressiä. Hermo- ja lihastoiminta, mutta myös henkinen rasitus ja neuroemotionaalinen stressi, ilmenevät ihmisessä mm. fysiologisten prosessien tuotteina, kunnan menetyksenä, psyykkisinä ja psykomotorisina vaikutuksina, suorituskyvyn alenemisena, psykosomaattisina vaikutuksina jne. Vaikutukset koetaan esim. väsymyksenä, kipuna, hermostuneisuutena ja depressiotiloina (vrt. Ganong 1971, Tsaneva 1972). Etenkin lihastyö tarvitsee energiaa ja energiantarve aiheuttaa kiihdyttää toimintaa mm. verenkiertossa. Näitä verenkiertoon liittyviä vaikutuksia on yleisesti mitattu ergonomisissa tutkimuksissa. Myös neuroemotionaaliset rasitustilat on pyritty mittaamaan mm. hormonien erittymistä, sykettä ja psykomotoorisia kykyjä mittaamalla (esim. Methods... 1971).

Fysiologisissa reaktioketjuissa tapahtuu takaisinkytkentää siten, että jokin reaktioketjun tekijä vaikuttaa takaisin johonkin ketjun aikaisempaan tekijään (Niensstedt ym. 1972). Tässä mallissa takaisinkytkentä on kuvattu tapahtumaan vaikutusta ja työkykyä ilmentävien alkioiden kautta. Toisin sanoen fysiologinen vaikutus esim. maitohapon muodostuminen vereen vähentää climistön työhönkäyttökykyä. Mallissa siis esitetään abstrakteja käsitteitä fyysisten käsitteiden rinnalla. Näin pyritään malliin luomaan käsitteistöä, joka katsotaan työtieteen teorian kehittämiseksi tarpeelliseksi.

Tuotos — ansio. Ansio, tuotos — vaikutukset työntekijään. Urakatöissä ansio on suoraan riippuvainen työn tuotoksesta. Myös muuta palkkaustapaa käytettäessä tuotos voi olla arvosteluperuste uralla etenemiseen ja siten vaikuttaa ansioon. Ansio taas käsitetään tässä työntekijään kohdistuvaksi materiaalliseksi vaikutukseksi.

Vaikutukset työntekijään — tarvehierarkian tyydyttyminen, motivointi. Työntekijään kohdistuvien välittömien (suoraan panoksesta) ja välillisten (tuotos, ansio) vaikutusten kautta työntekijä tyydyttää inhimillisiä tarpeitaan ja motivoituu (vrt. Ghiselli ym. 1955, Oksala 1966). Tarvehierarkiaa on kuvattu Maslowin (1954) esittämän teorian pohjalta. Mallin yksinkertaistamiseksi on fysiologiset ja turvallisuuden tarpeet yhdistetty fyysisiksi tarpeiksi, samoin liittymis- ja arvostuksen tarpeet sosiaalisiksi tarpeiksi ja maksimaalisen kehityksen ja tiedon tarpeet henkisiksi tarpeiksi.

Tarvehierarkian tyydyttyminen — motivointi, työkyky. Työviihtyvyysteorioiden mukaan tarpeiden tyydyttyminen motivoi työntekijää (Herzberg ym. 1956). Se vaikuttaa myös työntekijän työkykyyn. Esim. fysiologisten tarpeiden tyydytyksessä ihminen ylläpitää työkykyään.

Ympäristö — tuotos, ansio, tarvehierarkian tyydyttyminen. Ympäristöstä esim. työnjohdon taholta määrättävät työedellytykset vaikuttavat suoraan tuotokseen. Ympäristö tavallisesti määrittää ansioperusteet. Myös osa yksilön työn yhteydessä kokemasta tarvehierarkian tyydyttymisestä tapahtuu suoraan ympäristön vaikutuksesta. Esim. sosiaalisen arvostuksen tarpeen tyydyttymiseen vaikuttaa se, kuinka ympäristö arvostaa ammattia ja työstä syntyviä hyödykkeitä (Ghiselli ym. 1969).

Tuotos — ympäristö. Syntynyt tuotos vaikuttaa ympäristöön. Esimerkiksi työnjohto valvoo laatua ja hyvä ammattimies saa työtovereilta arvostusta.

Päätös — työmenetelmä ja -tapa — työsuoritus. Työntekijän päätös esimerkiksi työtekniikan omaksumisesta vaikuttaa siihen, minkälaisia panoksia ja missä määrin hänen on käytettävä työn tuotoksen aikaansaamiseksi (esim. Harstela 1971 c).

Ympäristö — työmenetelmä ja -tapa — työn tuotos. Yleensä työmenetelmät määrää työnjohto, ja myös työtapa koulutetaan työntekijöille. Voidaan myös ajatella, että työmenetelmän ja työtavan valitseminen jo asettaa tietyt rajat saavutettavissa olevalle työn tuotokselle.

Vaikutukset työntekijään — ympäristö. Vaikutukset työntekijään tulevat yleensä myös ympäristön tietoon esim. tapaturman, sairauden tai työntekijän ilmaiseman mielipiteen välityksellä.

Ympäristö — vaikutukset työntekijään. Ympäristö vaikuttaa myös suoraan työntekijään fyysisesti ja psyykkisesti. Esimerkiksi sääolosuhteet voivat kuormittaa työntekijää (K o i v i s t o 1964). Ympäristön sosiaaliset vaikutukset voivat esiintyä paitsi tarpeiden tyydyttymiseen myös psyykkiseen kuormittumiseen vaikuttavina tekijöinä esim. sosiaalisten odotusten paineena (A l l a r d t 1964).

23. Työn systeemikuvaus ja metsätyö

231. Puutavaran teko ihmistyövaltaisilla menetelmillä

Seuraavassa tarkastellaan lähinnä aikaisempien tutkimustulosten valossa metsätyön ja edellä hahmotellun systeemikuvauksen suhdetta.

Työajan menettäviä ja siihen vaikuttavia olosuhdetekijöitä hakkuutyössä on tutkittu varsin laajasti. Varhaisin aikatutkimus lienee 1800-luvulta, jolloin saksalaisten Micklitz-veljesten tiedetään tutkineen erilaisten sahojen käyttöä aikatutkimuksilla. Varhaisimmat aikatutkimukset pohjoismaissa ovat L u n d g r e n i n 1926 julkaisemat hakkuutyöntutkimukset (vrt. V ö r y 1954) ja M a t t s s o n M ä r n i n (vrt. 1945) työsuoritusmittaukset. Ensimmäiset suomalaiset metsätyöntutkimukset ovat L a s s i l a n (1930) ja V u o r i s t o n (1933) suorittamia. Käsisahojen aikakaudelta on niiden lisäksi laajoja tutkimuksia suorittaneet myös mm. M a k k o n e n (esim. 1947, 1950) ja P u t k i s t o (1947).

Viimeisimmät laajat pohjoismaiset aikatutkimukset moottorisahatyöstä ovat A g e r i n (1967), K a h a l a n (1969) ja S a m s e t i n ym. (1970). Sen lisäksi ovat ns. yksinkertaistetuista työmenetelmistä esittäneet tuloksia mm. K a h a l a (1966 a, b, 1967, 1968), L a i t i n e n (1967), S i l a n d e r (1967), A h o n e n (1968), K a h a l a — R a n t a p u u (1968) ja H a r s t e l a (1970).

Työajan menekkiin on todettu sekä käsi- että moottorisahatyössä vaikuttavan puuston ominaisuuksien: koko, muoto, puulaji, oksaisuus. Oksaisuustekijöistä vaikuttavat latvuksen pituus, oksien lukumäärä, tiheys, paksuus ja kovuus. On viitteitä siitä, että kirveskarsintaan verrattuna moottorisahakarsinnassa ja erityisesti vajaakarsinnassa latvuksen pituuden merkitys kasvaa muihin oksaisuustekijöihin nähden (T i d e n b e r g 1965, H a r s t e l a 1968). Lisäksi moottorisahatyössä vaikuttavat puuston tiheys, maaston laatu, käytetty työmenetelmä ja työtapo, lumiolosuhteet sekä työvälineet ja niiden kunto (ed. lisäksi L e v a n t o 1965, 1968, H a r s t e l a 1971 c). Lumiolosuhteiden osalta ovat vaikuttaneet mm. lumen määrä ja sen upottavuus (H a r s t e l a 1970).

Puutavaran teossa moottorisahan käyttöön perustuvissa menetelmissä työntekijä käyttää verraten suuria fyysisiä, lähinnä lihasenergiaa kuluttavia, panoksia ja kokee työnsä tapaturma- ja ammattitautialttiiksi (vrt. K a m i n s k y 1966, G l o m m e y m. 1969, H a r s t e l a 1971, H e i k i n h e i m o y m. 1972). Kuormittavimmaksi työvaiheeksi on yleensä todettu kasaus (K y l i n y m. 1968, S a m s e t y m. 1969, L e v a n t o 1970, H a r s t e l a 1971 c). Norjalaiset asettavat kuitenkin karsinnan rasittavuudessa kasauksen rinnalle (S a m s e t y m. 1969). Siirtyminen ja kaato yli 50 cm lumihangessa on ollut kuormittavuudeltaan kasaukseen verrattavaa (H a r s t e l a y m. 1972). Tapaturma-alttiimpia työvaiheita taas ovat karsinta ja kaato (P e s o n e n 1974). Fyysiseen kuormittavuuteen vaikuttaviksi tekijöiksi on todettu mm. työmenetelmä, puuston koko, työtahti, lumiolosuhteet, käytetyt työvälineet ja työtapa sekä työntekijän ikä ja suorituskyky (S a m s e t y m. 1969, L e v a n t o 1970, H a r s t e l a 1970 b, 1971 c, M ä l k i ä 1974).

Turvallisuustarpeet voivat jäädä tyydyttämättä mm. työttömyyden uhan vuoksi, koska työvoima on vain osittain vakinaistettua (H e i k i n h e i m o y m. 1972, H a r s t e l a 1974). Työn psykomotoorista ja sensorista stressiä aiheuttavasta luonteesta ei ole juuri tutkimustuloksia käytettävissä. Ainoastaan havainnon tarkkuuden, nopeuden ja tilasuhteiden tajuamisen muutoksia on tutkittu moottorisahatyössä ja todettu havaitsemiskyvyn heikkenevän työpäivän lopulla (K a n é c k a 1972).

Edellä kuvatut panokset aiheuttavat työntekijälle ainakin väsymystä, työkyvyn heikkenemistä tai menetyksen. Nämä vaikutukset (esim. vanhenemisen tai muun syyn takia heikentynyt suorituskyky) voivat aiheuttaa sekä fysiologisten että turvallisuustarpeiden estymistä ja aikaisemman tyydyttymistason heikkenemistä. Työviihtyvyysteorioiden mukaan nämä vaikutukset voivat olla huomattavassa määrin työtyytymättömyyden aiheuttajia (M a s l o w 1954, W o l f 1970).

Haastattelututkimusten mukaan metsätyömiehet katsovat työoloissa olevan paljon korjaamisen varaa (esim. H e i k i n h e i m o y m. 1972), ja toisaalta palkkaus on koettu pieneksi (H e i k i n h e i m o y m. 1972, H a r s t e l a 1974). Kuitenkin urakkapalkkauksesta johtuen voidaan olettaa, ettei olosuhde- ja muilla työviihtyvyystekijöillä ole työn motivoinnin kautta työtuotokseen kovin suurta vaikutusta, koska ansio on suoraan riippuvainen työn tuotoksesta. Sosiaalisten ja henkisten tarpeiden tyydyttämiselle saattaa muodostua esteitä mm. syrjäisen asuinpaikan, tilapäismajoituksen tai pitkien työmatkojen sekä raskaasta työstä aiheutuvan väsymyksen vuoksi (vrt. H e i k i n h e i m o y m. 1972, H a r s t e l a 1974).

Työ on luonteeltaan verraten vapaata, vaihtelevaa ja ammattitaitoa vaativaa. Täten työssä kehittymismahdollisuudet ovat olemassa (vrt. G a r d e l l 1972, H a l l 1973). Tosin eräissä korjuuketjuissa hakkuumiehen työ on riippuvainen koneiden tahdista, mutta työn rytmitys on edelleen hakkuumiehen määrättävissä. Haastattelututkimuksissa työntekijät ovat yleisesti pitäneet työn vapaata luonnetta ammatin hyvänä puolena (G a r d e l l 1971, H a l l 1973, H a r s t e l a 1974).

Täten sellaisilla luonteenpiirteillä varustetut henkilöt, joille työn vapaa luonne on tärkeä, omaavat ilmeisesti parhaimmat edellytykset työssä viihtymiseen. Osallistuminen työolojen parantamiseen ja myös sosiaalisten tarpeiden tyydyttäminen voi nykyisin tapahtua eri osallistumisjärjestelmien avulla ja niitä kehittämällä. Ondruš (1972) onkin todennut tsekkoslovakialaisessa tutkimuksessaan tyytyväisyyteen vaikuttaneen eniten palkkauksen ja mahdollisuuden avoimesti esittää kritiikkiä työpaikalla sekä suhteiden lähimpään työnjohtoon.

Työkyvyn ja ammattitaidon on todettu hakkuussa vaikuttavan voimakkaasti työn tuotokseen (Hansson 1965). Samoin työolosuhteiden ja -menetelmien vaikutus on suuri (esim. Kahala 1969). Uhrattujen fyysisten panosten ja työn tuotoksen välillä on myös todettu selvä korrelaatio tutkittaessa työtahdin vaikutusta työn tuotokseen ja kuormittavuuteen (Levanto 1970).

232. Metsäkuljetus ja koneellinen puutavaran valmistus

Tässä yhteydessä käsitellään pääasiassa vain koneellista metsäkuljetusta, koska se nykyisessä puunkorjuun kehitysvaiheessa edustaa n. 80 %:a kuljetussuoritteesta ja sen osuus on ollut jatkuvasti kasvava (Mäkelä 1972). Hevoskuljetuksen tuotokseen vaikuttavista tekijöistä on analyysi mm. Makkosen (1956) tutkimuksessa.

Olosuhdetekijöiden, konetyypin ja työmenetelmän sekä tuotoksen ja kustannusten välisistä suhteista on julkaistu varsin paljon tutkimuksia. Varhaisimmat lienevät Pohjois-Amerikasta (esim. Cox 1935, Collet 1949, McCall 1950). Ensimmäisen varsinaisen tutkimuksen puutavaran kuljetuksesta maataloustraktorilla on Suomessa julkaissut Putkisto (1956). Tuotoksen todettiin riippuvan tien laadusta, lumen määrästä, puulajista ja puutavaralajista, pölkkyjen tilavuuspainosta, kasaumuodostelmasta, maastosta, puuston tiheydestä ja palstatievälisestä, sääolosuhteista, juontomatkasta, kalustosta, kuljettajan ammattitaidosta ja työryhmän koosta. Tämän jälkeen maataloustraktorijuontoa on tutkittu monenlaisin lisälaittein varustetuilla traktoreilla (esim. Haataja 1965, Haapamäki ym. 1969, Rysä 1970, Harstela ym. 1970). Vintturilla suoritettavan esijuonnon tuotoksen on todettu riippuvan kalustosta, työmenetelmästä, juontotaakkojen koosta, runkojen koosta, leimikon tiheydestä, maaston laadusta, vuodenajasta ja sääolosuhteista, juontomatkasta ja jäävästä puutosta. Vintturijuontoa ja muita alkukuljetustapoja on tutkinut mm. Kahala (1973).

Varsinaisia metsätraktoreita koskevia tutkimuksia on julkaistu pohjoismaiden lisäksi mm. Saksassa, Sveitsissä, Englannissa, Neuvostoliitossa ja Pohjois-Amerikassa. Yhteenvedo niistä on esitetty mm. Haarlann (1973) julkaisussa. Viimeisimmät tutkimukset lehterijuonnon tuotoksesta Pohjois-Amerikassa ovat mm. Bartholomewin ym. (1965), Lucasin (1965) ja Silvesidesin

(1966), Norjassa *Arvensen* (1970) ja Suomessa *Kahala* ym. (1968). Tuotoksien on todettu riippuvan kalustosta, työmenetelmästä, työn organisoinnista, maaston laadusta, vuodenajasta ja sääolosuhteista, hakkuujärjestyksestä, leimikon koosta, juontomatkasta, puuston ominaisuuksista ja tiheydestä sekä varaston laadusta.

Kuormatraktorikuljetuksen tuotokseen vaikuttavista tekijöistä on tutkimustuloksia viimeksi esittäneet Ruotsissa *Eld* (1970) ja Suomessa *Kahala* ym. (1970) ja *Kahala* (1972). Kuormatraktorikuljetuksen tuotokseen on yleensä todettu vaikuttavan samat tekijät kuin laahusujoitussakin. Kuitenkaan varaston laadulla ei ole yhtä suurta merkitystä, eikä puuston koko sinänsä vaikuta kuitupuun kuormajuontotuotokseen.

Maastotekijöiden vaikutusta ajonopeuteen ja tuotokseen on viimeksi analysoinut *Haarlaa* (1973). Hänen mukaansa pintamaastotekijät selittivät vain pienen osan kuljetustuotoksesta. Myös *Asserståhl* (1973) on aikatutkimuksilla todennut, että selitysaste yhden traktorityypin sisällä maastoluokan ja ajonopeuden välillä on kohtalaisen korkea, mutta useat traktorityypit ja kuljettajat lisäävät huomattavasti jäännöshajontaa. Toisaalta on todettu, että ns. makromaaston laatu vaikuttaa verraten paljon kuorman kokoon ja ajonopeuteen, esim. jyrkissä vastamäissä (*Aho* ym. 1971), ja että pintamaasto vaikuttaa traktorin ja kuljettajan heiluntaan varsin selvästi (*Aho* ym. 1972, *Hansson* ym. 1974). Heiluntaa taas voi *Aho* ym. (1972) mukaan vaimentaa ajonopeutta pienentämällä. Koska heilunta-arvot liikkuvat esim. ISO:n normien mukaisten vaararajojen tuntumassa, on esitetty, että työterveydellisistä syistä heilunnan tulisi olla ajonopeutta rajoittava kriteeri.

Puutavaran koneellisen valmistuksen voidaan katsoa alkaneen kuorinnan koneellistamisella. Yhteenvetotutkimuksen tästä on Suomessa julkaissut mm. *Salmi* (1964). Ns. käsittelyasemien ja monitoimikoneiden sekä kaato- ja karsintakoneiden käyttöönotto on ajoittunut 60-luvun loppupuolelle (vrt. *Malmberg* 1968, *Stenström* ym. 1969). Viimeisimpiä kokoavia tutkimuksia monitoimikoneiden tuotoksiin ja taloudellisuuteen vaikuttavista tekijöistä ovat julkaisseet mm. *Stenström* (1966, 1970), *Pölkki* ym. (1970), *Sundberg* (1970), *Jukkola* ym. (1973, 1974). Monitoimikoneketjujen tuotokseen on todettu yleensä vaikuttavan samojen tekijöiden kuin metsäkuljetukseenkin.

Metsäkuljetuksessa ja monitoimikonetyössä kuljettajan lihasenergian kulutus on hakkuutyöhön verrattuna selvästi pienempää. Poikkeuksena ovat vintturijuonnossa apumiehen työ sekä käsin suoritettava lastaus ja purkaminen (*Samsen* ym. 1969). Sen sijaan henkinen väsymys sekä heilunnan ja tärinän aiheuttamat psyykkiset ja fysiologiset häiriöt saattavat muodostua verraten suuriksi (vrt. *Aho* ym. 1971, *Hansson* ym. 1974). Tosin psyykkisestä kuormittumisesta ja heilunnan ja tärinän psyykkisistä ja fysiologisista vaikutuksista nimenomaan metsäkuljetuksissa ei ole tutkimustuloksia. Ammattitautivaara näyttää mahdolliselta myös uusilla metsätraktoreilla ja monitoimikoneilla työskennellessä ainakin koneen heilunnan

vaikutuksesta. Lisäksi eräillä traktorityypeillä melu ja värinä ylittävät riskirajan (Vehviläinen 1972, Kättö ym. 1973, Turtiainen 1973). Traktorin heilunnan on todettu olevan riippuvuussuhteessa ajonopeuteen, pintamaastoon ja traktorin rakenteeseen. Edellä kuvatut tekijät voivat aiheuttaa häiriöitä fysiologisten ja turvallisuustarpeiden tyydyttämisessä ja siten aiheuttaa työtytyymättömyyttä.

Olosuhdetekijöiden sekä sosiaalisten ja henkisten tarpeiden tyydyttämisen osalta konetyö on suurelta osin rinnastettavissa ihmistyövaltaiseen puutavaran tekoon. Esim. pitkiä työmatkoja ja tilapäismajoitusta on pidetty haastattelututkimuksissa työn haittapuolina (Vehviläinen 1972). Työntekijä ei kuitenkaan ole tavallisesti suoranaisesti sääolosuhteiden vaikutuksen alaisena samassa määrin kuin hakkuussa. Konetyön mukanaan tuomaan vuorotyöhön liittyy Bradley'n ym. (1974) tutkimuksen mukaan sosiaalipsykologisia ja fysiologisia ongelmia myös 2-vuorotyössä. Erikoisesti aamuvuoron alussa fysiologiset prosessit eivät vielä ole sopeutuneet työntekoon. Sosiaalisista ongelmista suurimmat olivat unen tarpeen tyydytyksen estyminen perheen parissa sekä sosiaalisten kontaktien häiriintyminen.

Myös metsäkonetyötä on pidettävä yleisesti ottaen verraten vapaana, vaihtelevana ja ammattitaitoa vaativana. Koneenkuljettajat osoittivat Gardellin (1971) tutkimuksen mukaan suurempaa työmotivaatiota ja pienempää henkistä stressiä kuin hakkuumiehet. Yleensä metsätyöntekijät osoittivat parempaa psyykkistä motivaatiota työhönsä ja omasivat paremman itsensä toteuttamisen tason kuin teollisuustyöntekijät, mutta eivät eronneet itsekunnioituksen, yleisen tyytyväisyyden eivätkä neuroottisen tendenssin suhteen teollisuustyöntekijöistä. Sen sijaan jännittyneisyyttä esiintyi metsätyöntekijöillä enemmän kuin teollisuustyöntekijöillä.

Karsima- ja kuorimakonien kuljettajat ilmoittivat Gardellin (1971) tutkimuksessa työnsä kontrolointimahdollisuuden ja riippumattomuuden muita metsätyöntekijöitä pienemmäksi. Jonkin verran ristiriitainen edellä esitetyn kanssa on Hallin (1973) saama tulos, jonka mukaan prosessorin kuljettajat ja käsittelyasemien kuormaajat suhtautuivat positiivisimmin työhönsä ja kuormatraktorin kuljettajat negatiivisimmin. Koska konetyön vaihtelevuutta lisääväksi tekijäksi tällöin katsottiin mm. maastoajo, on pääteltävissä että prosessorit eivät toimineet välivarastokoneina, vaan toimivat palstalla, jolloin työ muodostuu vaihtelevaksi. Kaiken kaikkiaan konemiehet kuitenkin katsoivat voivansa vaikuttaa työtilanteisiinsä enemmän kuin hakkuumiehet. Samoin he katsoivat palvelussuhteensa varmemmaksi ja työnsä psyykkisesti raskaammaksi, mutta fyysisesti kevyemmäksi. Kuljettajien työssä esiintyi myös päinvastaisia mielipiteitä ja negatiivisia asenteita, jotka voidaan tulkita persoonallisten tekijöiden aiheuttamaksi hajonnaksi. Kaiken kaikkiaan työn vaihtelevuus, osittain myös vapaa ryhmätyö, kehittymismahdollisuus työssä ja työn vapaa luonne tuotiin esille selvästi positiivisia asenteita lisäävinä tekijöinä. Kuitenkin metsätyön koneellistamisen katsottiin yleisesti ottaen

vähentäneen työntekijän riippumattomuutta, mikä koettiin negatiivisena. Toisaalta työolojen järjestäytyneisyys koettiin positiivisena kehityksenä.

Kuljettajan ammattitaito vaikuttaa voimakkaasti työn tuotokseen (Hall ym. 1973, Lehtonen 1975). Lisäksi voidaan olettaa työmotivaation vaikuttavan selvästi tuotokseen siitä huolimatta, että palkkaus on yleensä urakkapohjaista, koska mm. koneen käsittely vaikuttanee huomattavasti koneen kestävyys- ja siten korjausaikoihin.

233. Muu metsätyö

Muut kuin edellä kuvatut työmuodot muodostavat suuren ja epähomogeenisen joukon, josta metsänviljelyä lukuunottamatta ei ole juuri ergonomisia tai työviihtyvyyteen liittyviä tutkimuksia käytettävissä. Samoin työn tuottavuuttakin koskevia tutkimuksia on niukasti.

Työn tuottavuuteen vaikuttavia olosuhdetekijöitä ovat taimien käsityökalu- ja koneistutuksessa tutkinnut sekä amerikkalaiset, neuvostoliittolaiset että pohjoismaalaiset tutkijat. Viimeisimmistä laajoista tutkimuksista mainittakoon Bärtingin (1967), Asplundin (1968), Appelrothin (1970), Appelrothin ym. (1970) ja Bäckströmin (1970) suorittamat. Työn tuotokseen on todettu vaikuttavan maan laadun, maaston, hakkuutähteiden, maan muokkausasteen, työkalujen ja -menetelmien, taimimateriaalin, työn organisoinnin ja istutusrivien pituuden.

Maaperän koneellisen käsittelyn tuotostutkimuksia on konelaikutuksesta tehnyt mm. Haarlaa (1973) ja lautasäestyksestä Tynkkynen (1974). Muista nykyisin käytettävistä maan muokkauslaitteista on tehty vain konetestauksia. Maastotekijöistä konelaikutuksen tuotokseen Haarlaan tutkimuksessa vaikuttivat merkittävästi maalaji, maan kosteus, syvyysindeksi, pintakivisyys ja kaltevuus. Tuotokseen luonnollisesti vaikutti myös työmaan koko ja sijainti siirtymismatkojen vuoksi.

Tynkkynen mukaan lautasäestyksen tuotokseen vaikuttivat maaston mäkiisyys ja kivisyys, maastokuvioiden muoto ja koko, käsiteltävän alueen koko ja äestyskalusto. Työjälkeen vaikuttivat hakkuutähteiden määrä ja ajonopeus.

Taimitarhatyön tuottavuuteen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu eri puolilla maapalloa (vrt. Neugebauer 1971). Suomessa ovat tutkimuksia julkaisseet mm. Asplund ja Huusko (1971). Työn tuottavuuteen on todettu vaikuttaneen työmenetelmän, -välineiden, taimimateriaalin ja työryhmän kokoonpanon.

Putkisto (1956) on tutkinut maataloustraktoriajtoa varten raivattavan palstatien teon työajanmenekkiä todeten tuotokseen vaikuttaviksi tekijöiksi tienpohjan laadun, juurimetsän ja lumiolosuhteet. Haarlaa (1974) on puolestaan tutkinut metsätien rakentamisen tuotokseen vaikuttavia tekijöitä. Puskumenetelmällä

rakennettaessa vaikuttivat merkittävästi tehotyöaikaan maan sisäisten kivien määrä, maan kosteus ja kantoisuus. Kaivurityössä vaikuttivat edellisten lisäksi myös pituuskaltevuus ja pintakivisyys.

Työn vaatimia fyysisiä panoksia on tutkittu vain lähinnä metsänviljelytyössä (Callin ym. 1959, Appelroth ym. 1970, Hakki la 197, Pettersson ym. 1972). Istutus ja taimikon raivaus on yleensä todettu sykkeen perusteella keskiraskaaksi työksi. Hakki la n tutkimuksessa työntekijät kokivat työnsä miellyttävimmäksi alucella, josta hakkuutähtect oli poistettu huolimatta siitä, että tällöin lisääntyneen työn tuotoksen mukana myös sykkeellä mitattu kuormitus nousi. Selitys ilmiöön saattaa olla se, että työ muuttui psyykkisesti miellyttävämmäksi, mutta fyysinenkään kuormitus ei noussut epämiellyttävän suureksi.

24. Metsätyö kyberneettisenä järjestelmänä

241. Avoin kyberneettinen järjestelmä

Luvussa 23. (s. 19) työ on kuvattu avoimena systeeminä, jossa systeemin muodostavat työtä tekevä ihminen sekä työn tuotokset ja systeemin työprosessiin vaikuttavat tekijät. Systemi sisältää sekä fysikaalisia (esim. työpanokset, tuotokset, vaikutukset työntekijään) että abstrakteja alkioita (esim. tarvehierarkia, työkyky). Alkiot ovat "black-box"-tyyppisiä ja sisäiseltä rakenteeltaan erittäin monimutkaisia. Kokonaisuutena systemi on luonteeltaan dynaaminen, laaja ja monimutkainen, joten sitä on tutkittava probabilistisena systeeminä. Systemissä on takaisinkytkentöjä ja siihen liittyy itsesäätelyä.

Wienerin määritelmän mukaan kybernetiikka on vuorovaikutuksen ja ohjauksen tiedettä (vrt. Ashby 1969). Myös kun kybernetiikka määritellään komplisoitujen probabilististen systeemien, jotka käyttävät takaisinkytkentää, teoriaksi, vastaa luvun 23. malli kybernettistä systeemiä (vrt. Ahmavaara 1969). Alkioiden välinen vuorovaikutus voidaan käsittää informaatioksi kaikissa tapauksissa. Koska tässä muodostetaan vasta viitekehystä, alkioiden väliset vuorovaikutukset on kuvattu vain yhdellä kanavalla niiden monimutkaisuudesta huolimatta, ja informaatiota tarkastellaan vain tilan tai tapahtuman symbolisena ilmaisuna eli kuinka informaatiota käytetään ja mitä seurauksia on informaation vastaanotosta (vrt. Jahnukainen 1970, Palo 1971). Samasta syystä myös alkioita tarkastellaan "black-box"-tyyppisinä, mutta ne ovat itsessään mutkikkaita systeemejä.

Takaisinkytkentää on työntekijä-systeemin sisällä kuvattu vaikutusketjulla: työkyky, motivaatio, refleksit ja vaistot — (päätösmenttely) — työsuoritus — vaikutukset työntekijään — työkyky, motivaatio, refleksit ja vaistot. Mallissa työkyky on abstrakti käsite, jonka fysikaalisen vastineen muodostavat työntekijän ominaisuudet ja työn ja ympäristön vaikutukset työntekijään. Lisäksi takaisinkytkentää on kuvattu systeemin ja sen ympäristön välille.

Tietoista itsesääätelyä mallissa tapahtuu päätösprosessissa päätössääntöjen mukaisesti. Esimerkiksi työntekijä muuttaa työmenetelmää, työtapaa, työtahtia, tehostaa valppauttaan, ryhtyy työtaisteluun, käyttää erilaisia vaikutuskanavia tai vaihtaa ammattia. Inhimillisestä tiedostusprosessista riippumatonta, mutta silti tiedostusprosessiin mahdollisesti vaikuttavaa itsesääätelyä tapahtuu mm. refleksin ja vaisto- toimintojen yhteydessä. Fyysisten ja henkisten panosten uhraaminen aiheuttaa muutoksia työkyvyssä esim. väsymyksen muodossa, joka takaisinkytkentänä vaikuttaa tiedostusprosessista riippumatta panoksiin. Samoin tarvehierarkian tyydyttyminen ja sen vaikutus motivointiin, työkykyyn ja ammattitaitoon voi olla ainakin osittain tiedostamatonta. Takaisinkytkentä ympäristöön aiheuttaa ympäristössä itsesääätelyä esim. sosiaalisten, taloudellisten, psykologisten ja yhteiskunnallisten lainalaisuuksien mukaisesti. Toisaalta taas ympäristöstä tulevat vaikutukset vaikuttavat systeemin sisäiseen itsesääteilyyn.

242. Kynnysarvojen vaikutus muuttujien välisiin suhteisiin

Systemin muuttujien välillä voi vallita riippuvuuksia, jotka ovat voimassa vain tiettyjen kynnysarvojen ylä- tai alapuolella (A s h b y 1971). Joidenkin muuttujien vaikutus toisiin voi taas olla niin vähäinen, että ne teorian muodostuksessa — kun teorian yhtenä tunnuksena käytetään yksinkertaisuutta (vrt. a f H e u r l i n 1971) — voidaan sivuuttaa.

Testattaessa työtieteellisiä hypoteeseja tai teoriaa empiirisesti samoin kuin muodostettaessa hypoteeseja tai teoriaa empiirisen aineiston perusteella on kynnysarvot otettava huomioon seuraavasti. Koska kaikkia nykyisiä tai potentiaalisia työmenetelmiä ei voida tutkia kaikissa relevanteissa olosuhdekombinaatioissa, puhumattakaan siitä, että tutkittava koehenkilöjoukko olisi edustava näyte jostain laajasta populaatiosta, ei voida myöskään empiirisesti todeta kuin osa — mahdollisesti pieni osa — relevanteista tai potentiaalisesti relevanteista riippuvuussuhteista. Sama koskee kynnysarvojen toteamista. Tämän vuoksi empiirisen aineiston perusteella tehtäessä johtopäätöksiä on otettava huomioon:

— Jos jokin riippuvuussuhde osoittautuu merkittäväksi, on se ainakin aineiston edustamassa perusjoukossa ja mahdollisesti muissakin perusjoukoissa relevantti.

— Sen sijaan, jos ei havaita merkittävää riippuvuutta kahden muuttujan välillä, voi niiden välillä kuitenkin olla merkittävä riippuvuus jossain toisessa perusjoukossa tai joidenkin aineistosta puuttuvien kynnysarvojen jälkeen. Riippuvuussuhteiden merkittävyyden kriteerinä voi olla esim. tilastollinen merkitsevyys (vrt. A s h b y 1971).

243. Muuttujien välisten riippuvuussuhteiden suunta

Systeemin toiminnan ymmärtämistä ja selittämistä varten on hyödyllistä tuntea syy- ja seuraussuhteet. Toisin sanoen mitkä alkion riippuvuussuhteista ovat input- ja mitkä outputtyyppisiä (A h m a v a r a 1969). Riippuvuuksien suunnan tunteminen on välttämätöntä myös takaisinkytkentöjen selventämiseksi.

Teorian kehittämistä tukee myös mahdollisimman suuri vapautuminen "black-box"-tyyppisistä alkoista niiden sisäisen rakenteen selvittämisen avulla. Näistä syistä empiirisen analyysin tehtäväksi jää mahdollisuuksien mukaan:

- riippuvuussuhteiden suunnan määrittäminen
- alkioiden sisäisten lainalaisuuksien tutkiminen
- alkioiden sisäisten mekanismien selittäminen.

244. Systeemin isomorfia ja vertailevan työntutkimuksen periaate

Kaksi kyberneettistä systeemiä ovat isomorfisia mm. silloin, kun ne tuottavat samanlaisiin inputteihin samanlaiset outputit (vrt. A s h b y 1971).

Luvussa 22. (s. 13) kuvatulla systeemimallilla on haluttu osoittaa työtä kuvaavan mallin monimutkaisuutta ja laajuutta, koska jokainen sen alkioiden hyvin monimutkainen systeemi. Verrattaessa kahta eri työntekijöiden muodostamaa systeemiä, joihin inputina syötetään sama työmenetelmä samoissa olosuhteissa, todetaan usein outputina tulevan tuotoksen ja työntekijän kuormittumisen poikkeavan merkittävästi toisistaan. Systeemejä ei siis yleensä voida pitää tässä suhteessa isomorfisina. Systeemien rakenteen, lähinnä työntekijän fyysisen suorituskyvyn, psyykkisten edellytysten sekä työtahdin, on selitetty aiheuttavan isomorfian puuttumisen (esim. F o r n a l l a z 1950, 1952).

Jos näihin kahteen systeemiin syötetään molempiin samat kaksi työmenetelmää syntyy molemmista systeemeistä suhteellinen työn tuotos ja työntekijän kuormittuminen menetelmien välille. Vertailevan työntutkimuksen periaatteen mukaan erot näiden suhteellisten arvojen välillä ovat pienemmät — käytännön kannalta jopa merkityksettömän pienet — kuin saman työmenetelmän arvojen välillä. Toisin sanoen suhteellisten arvojen osalta systeemit olisivat lähes isomorfisia.

Työn tuotokseen ja työntekijän kuormittumiseen vaikuttavat toisistaan poikkeavat tekijäryhmät: fyysinen suorituskyky, psyykkiset edellytykset sekä kyky ja halu käyttää edellytyksiään. Voidaan olettaa, että eri työmenetelmät ja erilaiset olosuhteet vaativat erilaisilla em. tekijöiden käyttöä ts. eri tekijät saavat erilaisen painon. Niinpä voidaan olettaa, että suhteellisten arvojen isomorfian ihanteen toteutumiseen vaikuttavat:

- kuinka paljon verrattavat menetelmät tai olosuhteet asettavat samoja fyysisiä ja psyykkisiä edellytyksiä työntekijälle, ja mitkä ovat työntekijän asenteet;
- kuinka hyvin työntekijä on koulutettu ja kuinka hän on harjaantunut työmenetelmien käyttöön tai olosuhteiden huomioon ottoon.

Kun yhden työntekijän suhteellisten arvojen perusteella ennustetaan toisen työntekijän suhteellisia arvoja, edellisen mukaan ennustamismahdollisuuksia parantaisi työntekijöiden työkykyä ja asenteita kuvaavien ominaisuuksien tunteminen ts. systeemien työkyky ja motivointialkioiden rakenteen selittäminen.

Edellä esitetyn nojalla, ja koska käytännön metsäntutkimuksessa vertailevan työntutkimuksen periaate on nähty hyödylliseksi, oletetaan seuraavaa:

— työntekijän työkyvyn, työtahdin ja asenteiden selvittäminen ja käyttäminen selittävänä muuttujana edistää suhteellisten arvojen vertailtavuutta;

— sama pätee myös kahden tai useamman työntekijän arvojen vertailtavuuteen saman työmenetelmän tai samojen työolosuhteiden osalta.

245. *Homomorfin ihanne*

Koneeksi kuvatun dynaamisen systeemin ja sen yksinkertaistuksen välinen suhde käsitetään homomorfiseksi silloin, kun yksinkertaistetussa systeemissä säilyy deterministinen luonne (A s h b y 1971). Metsätyötä kuvaavan systeemin yksinkertaistuksen voi katsoa toteuttavan homomorfisena silloin kun siihen määrättyä kanavaa pitkin syötetty input aiheuttaa outputin aina samoja kanavia pitkin samoihin kolmansiin alkioihin.

Koska tässä kuvattu metsätyösystemi on erittäin karkea yksinkertaistus erittäin monimutkaisesta elävän luonnon systeemistä, on sen riippuvuussuhteita tarkasteltava tilastollisina suureina. Voidaankin ajatella, että eri komponentit on homomorfin ihannetta ajatellen mahdollisimman tehokkaasti ryhmitelty systeemin alkioiksi silloin, kun alkion komponentit korreloivat mahdollisimman vähien toisten alkioiden kanssa ja jonkun alkion jokainen komponentti korreloi mahdollisimman samojen komponenttijoukkojen (alkioiden) komponenttien kanssa. Tällöin malli on mahdollisimman yksinkertainen ja deterministinen. Toisin sanoen sen reaktiot on mahdollisimman helppo ennustaa kun tiedetään sen joidenkin alkioiden tilat.

246. *Koodatun sanoman tulkinta*

Työntutkimustilanteessa mitataan usein välillisesti jotain systeemissä tapahtuvaa ilmiötä. Esimerkiksi energian kulutusta mitataan sykkeen avulla. Jos systeemin alkioiden vuorovaikutus käsitetään informaation siirroksi, on välillisen mittauksen tulos koodattu sanoma. Sanoman tulkinta on eksakti vain jos jokaista alkuperäisen sanoman alkioita vastaa oma ja muista poikkeava koodiparametri (A s h b y 1971). Kun hyvin mutkikkaasta systeemistä saadaan välillistä informaatiota, ei tilanne useinkaan ole tällainen. Esim. kun todetaan lihasjännitys ei tiedetä onko sen aiheuttanut aivoista tuleva tiedostettu käsky vai refleksi. Näin ollen työtieteen teoriaa empiirisesti muodostettaessa, joudutaan usein käyttämään ”joko-tai tai sekä-että” -tyyppisiä selityksiä.

25. Systeemikuvauksesta johdetut hypoteesit ja teorian muodostus

251. Metsätyöntutkimuksen periaatteet

Kun siirretään luvussa 12. (s. 7) esitetyt työntutkimuksen periaatteisiin liittyvät tekijät luvun 22. (s. 13) systeemikaavioon, päädytään kuvan 2 esittämään systeemimalliin. Mallissa ei ole toistettu kaikkia kuvassa 1 esitettyjä riippuvuus-suhteita, vaan kuvattu lähinnä vain työntutkimuksen periaatteisiin liittyvien tekijöiden ja alkuperäisen mallin alkioiden välisiä riippuvuuksia. Uudet alkiot ovat seuraavat:

— Joutuisuus. Mikä on fyysisten ja henkisten panosten uhraamista. Siihen vaikuttavat suoraan työpäätökset, refleksit ja vaistot sekä työntekijän työkyky (mm. organisaatiokyky, sopeutumiskyky, työn tajuaminen, voima ja hapenottokyky), työmenetelmä ja -tapa sekä ympäristön suomat mahdollisuudet. Välillisesti vaikuttavat mm. työn motivointi ja työntekijään kohdistuvat vaikutukset (takaisinkytkentä), sekä työntekijän persoonallisuus (mm. yritteliäisyys).

— Joutuisuuden suhde fysiologisesti edullisimpaan työvauhtiin. Tämän on todettu mm. vaikuttavan työajan menekin hajontaan. Suhteelliseen joutuisuuteen katsotaan vaikuttavan samojen tekijöiden kuin joutuisuuteenkin.

— Fyysinen kuormittuminen.¹⁾ Siihen vaikuttavat suoraan fyysiset panokset, olosuhteet sekä työntekijän työkyky (mm. hapenottokyky).

— Fyysisen kuormittumisen suhde maksimaaliseen suorituskykyyn ilmaisee lähinnä kuormittumisastetta. Vaikuttavat tekijät ovat samat kuin edellä.

— Työpäivän kokonaiskuormittuminen, mikä ilmaisee esim. kulutettua energiamäärää. Vaikuttavat tekijät ovat samat kuin edellä.

— Psyykinen kuormittuminen, mihin vaikuttavat suoraan uhratut henkiset panokset, työntekijän persoonallisuus ja työn motivointi, ympäristötekijät, työkyky sekä välillisesti tarpeiden tyydyttyminen.

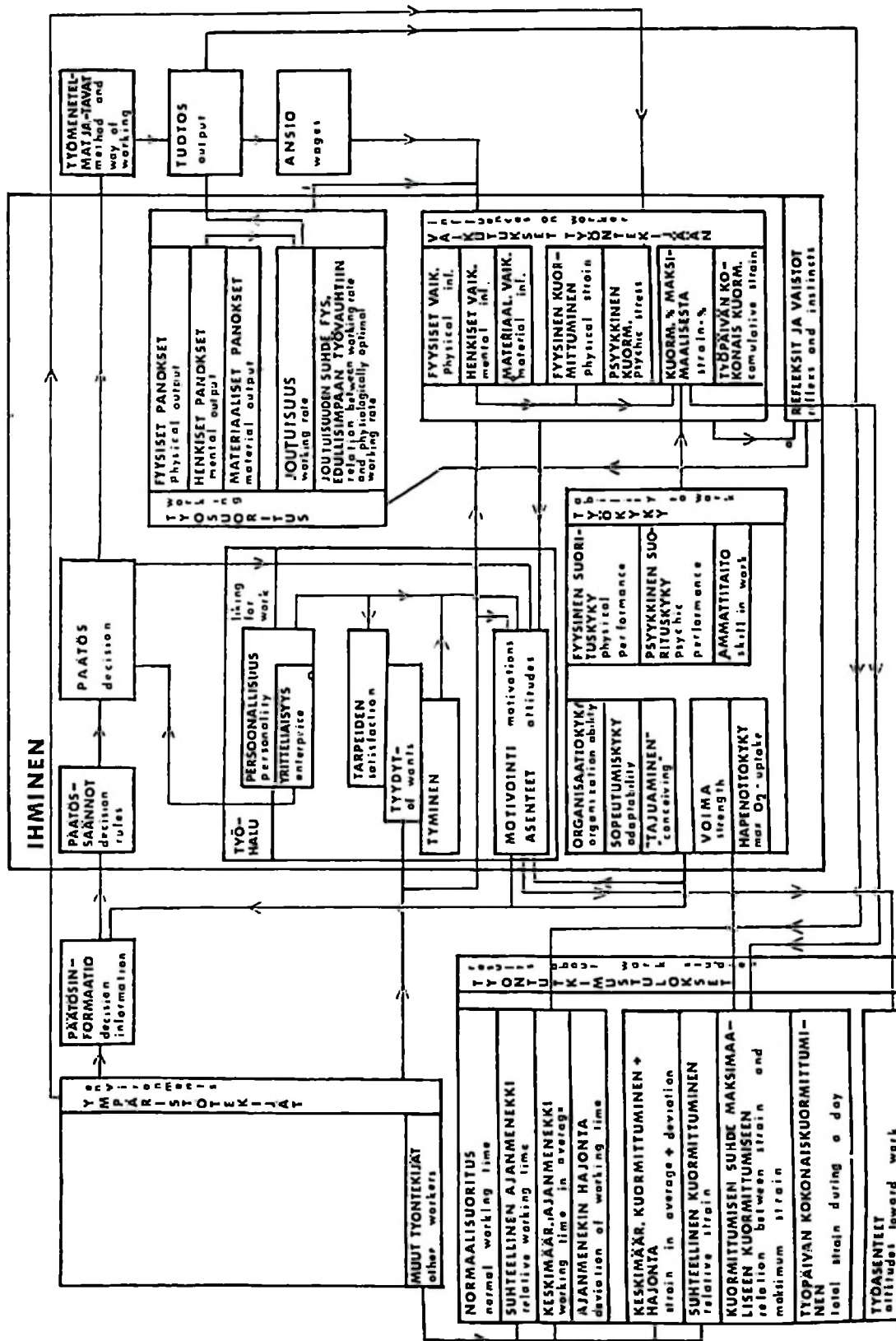
— Työntutkimustulokset:

— Normaalisuoritus, suhteellinen ajanmenekki, keskimääräinen ajanmenekki ja ajanmenekin hajonta riippuvat mallin mukaan suoranaisesti työntuotoksesta, mihin taas vaikuttavat joutuisuus eli uhratut panokset ja ulkoiset olosuhteet. Välillisesti vaikuttavat mm. päätösmenettely, refleksit ja vaistot, työkyky ja motivointi. Täten aikatutkimushavainnot syntyvät takaisinkytkentää sisältävässä prosessissa, mihin vaikuttavat ympäristötekijät sekä työntekijän fyysiset ja psyykkiset ominaisuudet.

— Keskimääräinen kuormittuminen ja kuormittumisen hajonta sekä suhteellinen kuormittuminen riippuvat suoranaisesti työntekijän fyysisten panosten määrän, työolosuhteiden sekä työtavan ja -menetelmän seurauksena syntyvästä kuormittumisesta. Suhde maksimaaliseen kuormittumiseen riippuu luonnollisesti myös työntekijän suorituskyvystä.

— Työasenteet ovat motivoitumisen, työntekijän persoonallisuuden, tarpeiden tyydyttymisen ja työntekijään kohdistuvien vaikutusten seurauksena.

¹⁾ Kuormittumisella tarkoitetaan työn aiheuttamaa tekijöiden ja olosuhteiden vaikutusta elimistön tasapainotilassa muutoksen.



Kuva 2. Työsuorituksen vaikuttavat tekijät ja työntutkimuksen periaatteet.
 Figure 2. Factors that affect work performance and the principles of work study.

252. *Metateorettinen teorian muodostus*

Työn systeemikuvaus perustuu suureen määrään kirjallisuustietoja, jotka sisältävät joukon käsitteitä. Näiden tarkempi analysointi oletetaan hyödylliseksi teoreettisen mallin täsmentämisen ja teorian muodostuksen kannalta. Teoria rajoitetaan tässä käsittämään kahdella tavalla. Toisen määritelmän mukaan teoria tarkoittaa tieteen tuloksia systemattisesti järjestettynä kokonaisuutena, ja toisen mukaan se tarkoittaa tutkijan apuvälineenä käytettävää loogista instrumenttia (N a g e l 1961). Edellisessä tapauksessa teorian käsitetään muodostuvan useista toisistaan riippuvista väittämistä. Jälkimmäisessä tapauksessa teoria muodostaa kielen, jonka avulla tutkija operoi jakaessaan tutkittavaa asiaa osiin, kuvatessaan ja selittäessään sitä (E s k o l a 1962).

Tässä yhteydessä käytetään teorian laadintaan H e i s k a s e n (1972) esittämää M-67-metateoriaa, jonka on osoitettu olevan "teorian-teorian" molemmissa edellä mainituissa merkityksissä. Systeemikuvauksen alkiot on esitetty analysoituina ja kirjallisuudessa mainittujen käsitteiden mukaisesti luetteloituina liitteessä 1. Systeemikuvauksessa pääalkioina oleville käsitteille suoritettiin formaalinen analyysi, jonka tuloksena päädyttiin seuraavaan luetteloon:

Määritelty käsite, Co_1^0	Määrittelevä käsite, Co_1^1	" Co_1^0 :n aiheuttaa" eli määrittelymuuttuja, p_1	"Miksi aiheuttaa" eli määrittelymuuttuja, p_2
tuotos	hyödyke	työsuoritus	—
ansio	korvaus	tuotos	—
työsuoritus	toiminta	työntekijä	tuotoksen aikaan saamiseksi
työkyky	resurssi	—,,—	—
vaikutukset	muutos	työsuoritus	—
työntekijään	tunteiden	työntekijä, vaikutukset työntekijään	—
työhalu	kombinaatio	—	—
ympäristötekijät	ulkoisia	—	—
työmenetelmät	tekijöitä	työntekijä,	tuotoksen aikaan saamiseksi
ja -tavat	menettelytapoja	ympäristö	—,,—
päätösprosessi	hermotoimintaa	työntekijä	—,,—
refleksit ja	—,,—	—,,—	—,,—
vaistot	—,,—	—,,—	—,,—

Analysoidut käsitteet jaetaan ryhmiin käyttäen kriteerinä määrittelevän käsitteen "asia tai tapahtuma"-valintaa.

Asiat:
 työn tuotos
 ansio
 työkyky
 työhalu
 ympäristötekijät
 työmenetelmät ja -tavat

Tapahtumat (prosessit):
 työsuoritus
 vaikutukset työntekijään
 päätösprosessi
 refleksit ja vaistot

Asiat jaetaan edelleen kriteerin "resurssit tai tunteet" mukaan:

Resurssit	Tunteet	Muut
työkyky	työhalu	työn tuotos ansio ympäristötekijät työmenetelmät ja -tavat

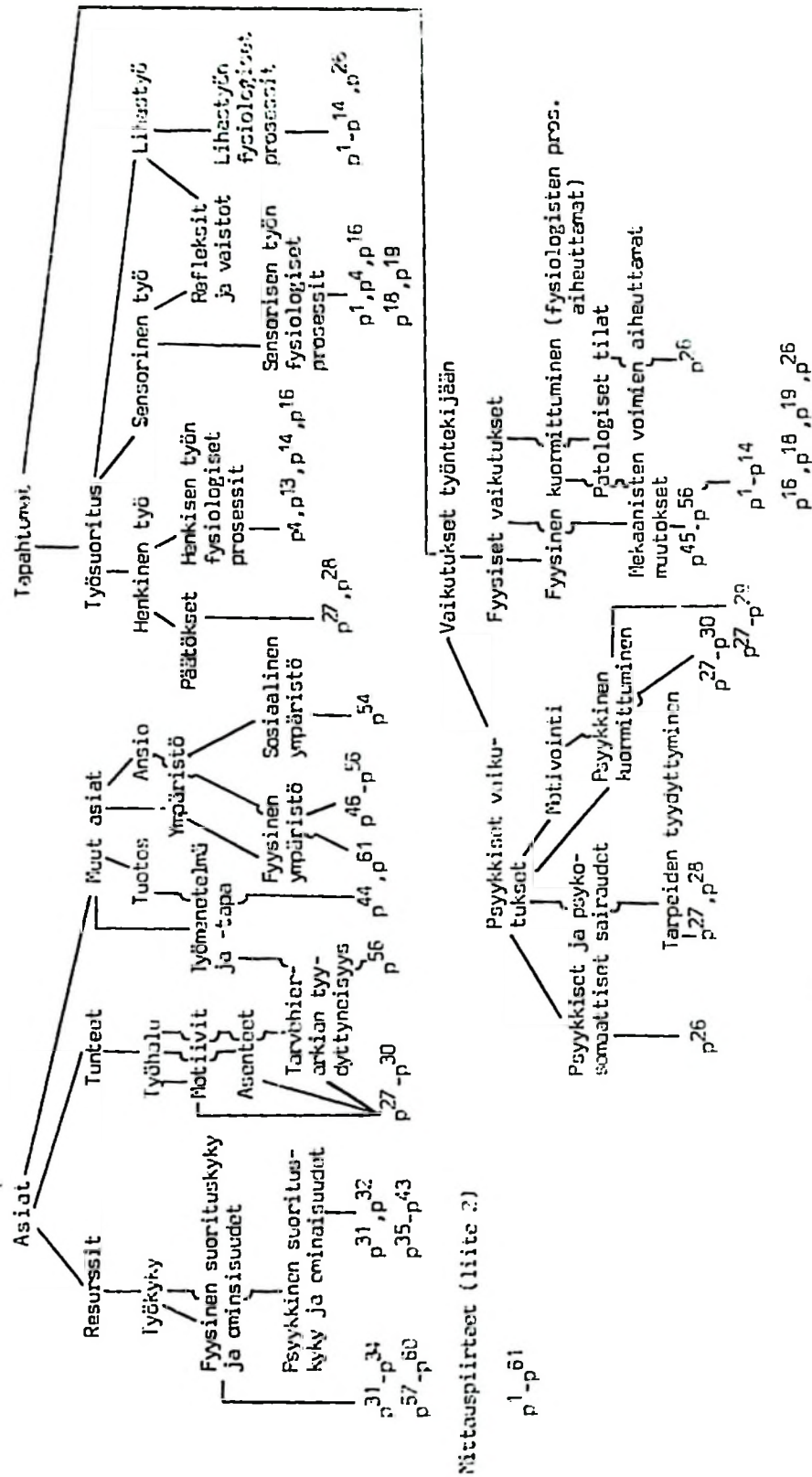
Käsitteet määritellään seuraavasti: "Työkyky" tarkoittaa niitä työntekijän fyysisiä ja psyykkisiä ominaisuuksia, jotka vaikuttavat työsuoritukseen. "Työhalu" tarkoittaa niitä motiivien asenteiden ja muiden psyykkisten tunteiden kombinaatioita, jotka määräävät sen, kuinka tehokkaasti työntekijä käyttää resurssiaan työntekoon. "Työn tuotos" on työsuorituksen tuloksena syntyvä hyödyke. "Ansio" on työntekijän saama korvaus työsuorituksesta. "Ympäristötekijät" ovat työntekoon vaikuttavia ulkoisia joko fyysisiä tai sosiaalisia tekijöitä. "Työmenetelmät ja -tavat" ovat työn suorittamiseen valittuja tai ympäristön määräämiä menettelytapoja.

"Työsuoritus" on työntekijän henkisen, sensorisen tai fyysisen kapasiteetin käyttöä työn tuotoksen aikaan saamiseksi. "Päätösprosessi" on henkisen kapasiteetin käyttöä työn tuotoksen aikaan saamiseksi. "Refleksit ja vaistot" ovat työntekijän sensorisen ja fyysisen kapasiteetin käyttöä. "Vaikutukset työntekijään" ovat työsuorituksen seurauksena työntekijään kohdistuvia fyysisiä, henkisiä, sensorisia tai aineellisia vaikutuksia.

Kuvassa 3 on käsitteet jaettu edelleen alakäsitteiksi. Käsitteiden analysointi osoittaa, että kuvassa 1 työhalun ala-alkioiksi kuvatut motivointi ja tarpeiden tyydyttyminen ovat tapahtumia ja työntekijään kohdistuvia vaikutuksia. Sen sijaan motiivit ja tarvehierarkian tyydyttyneisyys ovat työhaluun liittyviä työntekijän ominaisuuksia. Päätösprosessi taas on työsuoritukseen liittyvä ala-alkio. Metateoreettisen tulkinnan mukaan työntekijän työkyky, työhalu, työsuoritus, ympäristö, työmenetelmä ja -tapa, tuotos ja ansio ovat kvantitatiivisuuden tasoltaan korkeimpia systeemimallissa esiintyviä realiteoreettisia käsitteitä.

Analysoidut käsitteet on kuvassa 4 koottu oliomalliksi. Tässä tutkimuksessa mielenkiinto kohdistuu erityisesti työntekijän sisäisiin prosesseihin ja hänen vuorovaikutukseensa työntekijän kohteen (raaka-aineen ja tuotteen) kanssa. Sen tähden oliomalliinkin on kuvattu työntekijän sisäinen vuorovaikutus työsuorituksen ja työntekijään kohdistuvien vaikutusten sekä työn tuotoksen ja työolosuhteiden välillä.

Elävä organismi on systeemi, joka pyrkii säilyttämään tietyn tasapainotilan. Jos jokin vaikutus aiheuttaa poikkeaman tasapainotilasta, pyrkii elimistö eliminoidaan kuormituksen haittavaikutuksen (esim. S e l e y 1950). Eliön olemassaolon kannalta on tärkeää, että mitä suuremmasta tasapainohäiriöstä on kysymys sitä ensisijaisempi on haittavaikutuksen eliminointi muihin saman aikaisiin vaikutuksiin verrattuna. Ergonomisella tasolla esimerkiksi elimistön kannalta liiallinen energian



Kuva 3. Työsuorituksen vaikuttavat tekijät käsitteellisesti.

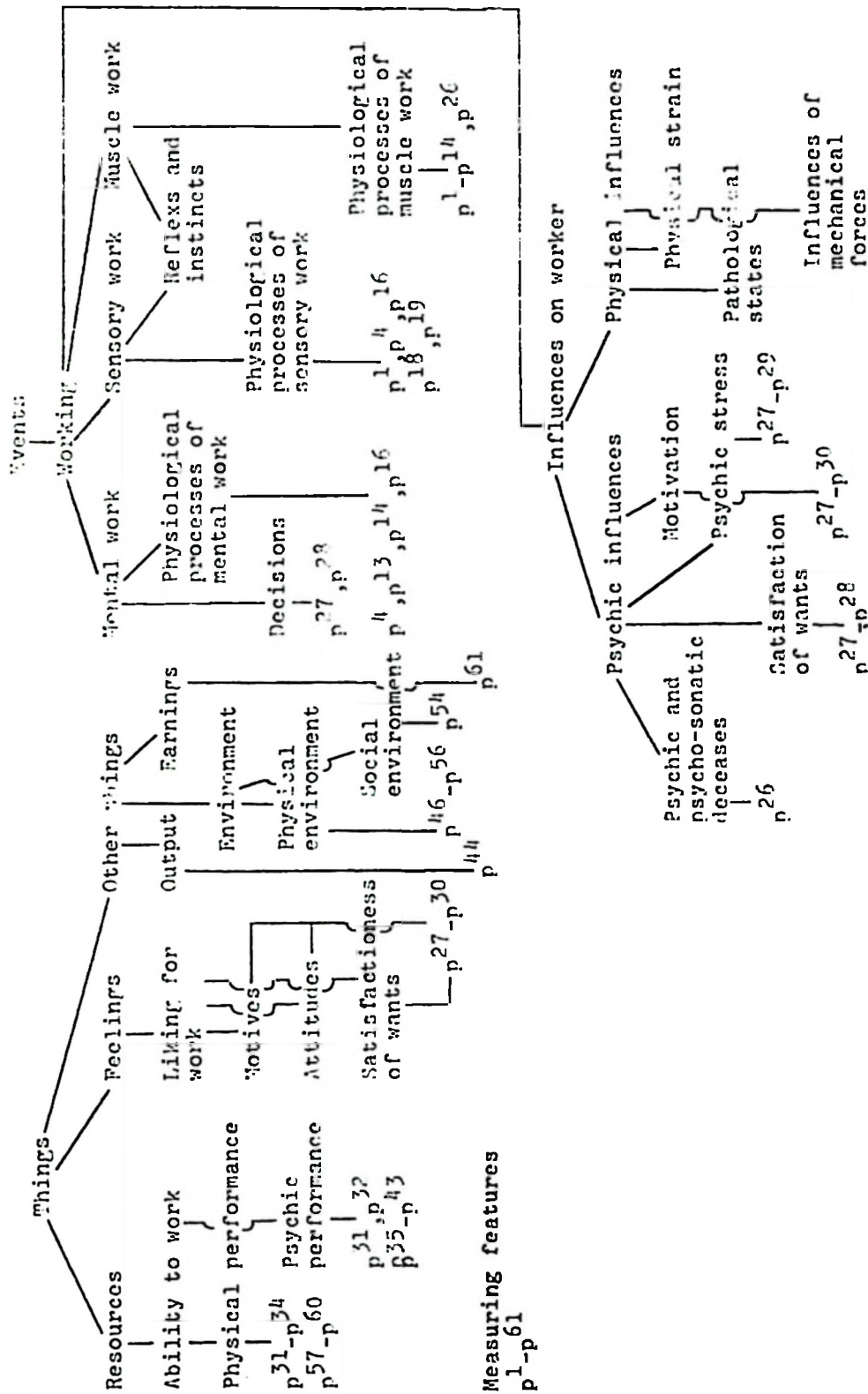
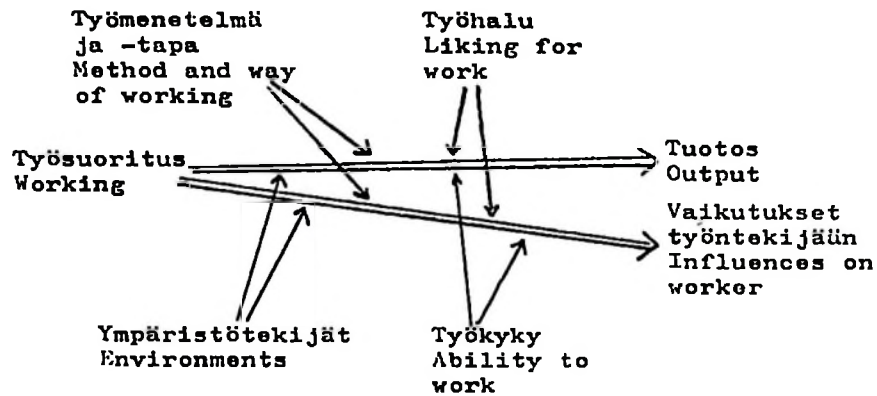


Figure 3. Factors that affect work performance as a hierarchy of concepts.



Kuva 4. Analysoidut käsitteet oliomallina.
 Figure. 4. The analysed concepts as a being model.

kulutus rajoittaa työvauhtia, vaikka muut toiminnan ehdot eivät sitä edellytäkään. Voidaan olettaa, että jos jokin eliöön vaikuttava tekijä saa tiloja, jotka uhkaavat eliön tasapainotilaa enemmän kuin muut vaikutukset, niin kyseinen tekijä hallitsee eliön käyttäytymistä.

Tämä tahon käyttäytymisen hallinnan periaate näyttää soveltuvan selitysmalliksi paitsi fysiologisten myös psykologisten ilmiöiden kyseessä ollen. Esimerkiksi Wolfin (1970) työviihtyvyysteorian mukaan minkä tahansa aktiivisen tai tyydytetyn tarpeen tyydytysryityksen estyminen aiheuttaa työttyymättömyyttä. Voidaan selittää, että tuon tarpeen merkitys hallitsee muiden tarpeiden merkityksiä yksilön käyttäytymisessä. Vastaavasti voimakas fyysinen vaikutus paitsi, että se voi estää tai hidastaa työsuoritusta, voi estää tiettyjen tarpeiden tyydyttymistä.

Oliomallissa työsuoritus ja tuotos sekä työsuoritus ja työntekijään kohdistuvat vaikutukset ovat vaihdossa keskenään. Tuohon vaihtosuhteeseen vaikuttavat työntekijän käytössä olevat resurssit ja tunteet sekä työolosuhteet eli ympäristö. Edellä hahmotellun käyttäytymismallin mukaan mikä tahansa vaikuttavista tekijäryhmistä voi olla vaihtosuhdetta määräävä tekijä. Jos jonkin tekijän vaikutus on muita huomattavasti suurempi, on se tuotosta tai kuormittumista hallitseva tekijä. Oliomalliin ei ole kuvattu takaisinkytkentöjä. Kuitenkin vaikuttavat tekijät muuttuvat työnteon seurauksena ja tällöin niiden vaikutus vaihtosuhteeseen myös muuttuu.

Edellä hahmoteltuja periaatteita nimitetään tässä vaikutusten hallinnan teoriaksi. Todetaan metateorian tarjonnan yleistävän kielen, jonka avulla on laadittu hypoteettinen, riittävän yleinen teoria, jotta se kattaa koko tutkimustehtävän sen poikkitieteellisestä luonteesta huolimatta. Tätä teoriaa pyritään tutkimuksen empirisessä osassa testaamaan ja soveltamaan.

3. EMPIIRINEN TUTKIMUS

31. Tutkimustehtävä

Tämän empiirisen osan tarkoituksena on rakentaa teoreettisessa osassa kuvatus viitekehyksen mukaiset mallit käytännön metsätyöstä kerätyillä aineistoilla. Täten tutkitaan viitekehyksen alkioiden relevanttiutta tutkittavien työmenetelmien ja olosuhdekombinaatioiden kyseessä ollen käytettävän mittaustekniikan puitteissa.

Koska luvussa 242 (s. 25) esitetyn periaatteen mukaan ei kaikkien riippuvuus-suhteiden todennäköisyyttä voida todeta koko metsätyöpopulaatiossa, olennaisimmaksi tutkimustehtäväksi jää teoreettisessa osassa esitettyjen yleistävien periaatteiden edelleen kehittäminen empiirisestä aineistosta saatavien viitteiden perusteella.

32. Tutkimusaineisto

321. Tutkimukseen valitut työmenetelmät

Työmenetelmiksi valittiin kaksi taimitarhatyömenetelmää ja kaksi kuitupuun tekomenetelmää. Tekomenetelmät edustavat tyypillistä vaihtelevissa olosuhteissa tapahtuvaa harkintaa vaativaa työtä. Taimitarhan työmenetelmät taas edustavat ver-raten stabiileissa olosuhteissa suoritettavaa rutiininomaista työtä.

Taimitarhatyössä työmenetelmä 1 oli Nisula-rullataimien leikkaus ja niputus käsityövälinettä käyttäen. Työmenetelmä 2 oli avojuuristen männyntaimien nosto ja niputus. Rullataimien leikkaus suoritettiin leikkausveitsellä lyömällä. Työryhmän muodostivat kaksi työntekijää, joista tutkittiin työaikaan nähden minimitekijänä olevaa työntekijää. Hänen tehtävänään oli nostaa rulla pöydälle, avata se ja leikata taimet erilleen sekä puhdistaa pöytä. Taimien nosto suoritettiin käsin sen jälkeen, kun ne oli koneellisesti irrotettu maasta. Työvaiheina olivat taimen irrotus maasta, taimien niputus sekä nipun valeistutus.

Tekomenetelmä 2 oli kuitupuun hakkuu palstatien varteen kourakasoihin taksojen edellyttämiä laatuvaatimuksia käyttäen (Työvaihetaksat... 1974). Teko suoritettiin noin 3-metriseksi ja tynkäkarsituksi ajouravälillä 20 m. Tekomenetelmä 1 oli "vyöhykehakkuumenetelmä", jolla pyrittiin kasaustyön keventämiseen. Menetelmässä kourakasat tehdään sellaiselle vyöhykkeelle, jolle kuormain ulottuu palsta-

tieltä käsin. Vyöhykkeen leveys on siis riippuvainen käytettävissä olevan kuormaimen ulottuvuudesta. Tässä tutkimuksessa oli käytettävissä vain 5 m ulottuvuuden omaava vakiokuormain, joten vyöhyke jouduttiin määrittämään verraten kapeaksi. Jotta vyöhyke voitaisiin käyttää mahdollisimman tehokkaasti hyväksi, pienennettiin kasan kokovaatimusta. Kasauksessa käytettiin seuraavia työohjeita:

— Menetelmällä pyritään keventämään kasausta siten, että pölkkyjen kantamista vältetään mahdollisimman paljon. Sen tähden kasojen välimatkaa pyritään pienentämään muodostamalla normaalia pienempiä kouraisuyksiköitä leveämmälle alueelle. Kantamisen sijasta mahdollisimman moni pölkky ”pyöräytetään” tai ”suoritaan” kouraisutaakkaan nostokoukkua apuna käyttäen.

— Kouraisutaakkojen päät sijoitetaan 0,5...4,0 metrin etäisyydelle ajouran reunasta kuitenkin niin, että kourakuormain ulottuu niihin.

— Kouraisutaakkojen suunta määräytyy puiden kaatosuunnan mukaan. Kuitenkin on vältettävä kasaamista selvästi kouraisua haittaavaan paikkaan.

— Hakkuutähteitä ei tarvitse raivata pois kasan alta.

— Kouraisutaakan toiseen päähän (n. 2,0 metrin päähän kasan päästä) sijoitetaan yksi aluspuu.

— Kouraisutaakan ajouran puoleinen pää pyritään saamaan tasaiseksi.

— Kouraisutaakan koon tulisi olla vähintään 0,3 m³.

— Eri puulajit siirretään omiksi kouraisutaakoiksi.

— Kouraisutaakkojen muodostamisessa on suunnattua kaatoa käytettävä hyväksi tehokkaasti ja kaatosuunnat harkittava hyvin.

— Kouraisutaakan välissä tai päällä ei saa olla oksia.

Ajouraväli ja puutavaran laatuvaatimukset olivat samat kummassakin menetelmässä. Kasaus suoritettiin yhden rungon pöllit kerrallaan.

322. Aineiston keruu, laajuus ja laatu

3221. Aineiston keruu

Kenttätöissä suoritettiin aikatutkimus käyttäen sykemittauslaitteistoon yhdistettyä koodinäppäimistöä. Työvaiheet erotettiin seuraavasti:

Rullataimien leikkaus

- rullien nosto pöydälle
- Taimien irrotus
- Pöydän puhdistus
- Aputyöt
- Kcskeytykset

Männyn taimien nosto

- Taimien irrotus lapiolla
- Taimien niputus
- Nipun sitominen
- Valeistutus
- Aputyöt
- Keskeytykset

Hakkuu

Runkokohtainen tehoaika

- Siirtyminen rungolta toiselle
- Tyven puhdistus
- Kaato
- Kaadon apuajat
- Karsinta
- Katkonta
- Aluspuun teko
- Kasaus

Keskeytykset

(vrt. Skoglig... 1963)

Työvaihejaottelu katsottiin riittäväksi sen vuoksi, että tutkimustehtävän kannalta mielenkiinto kohdistuu tehoaikaan, eikä aineiston koko tee mahdolliseksi esim. keskeytysaikojen analyysiä.

Sykemittaus suoritettiin telemetrisesti Medicin Biotelemetry System IC-45:ttä käyttäen. Laitteisto on esitetty liitteessä 3. Työvaiheittainen koodaus suoritettiin aikatutkimuksen yhteydessä magneettinauhalle, jonne myös EKG-käyrä taltioitiin samanaikaisesti toiselle radalle. Kuormittumisen indikaattorina käytettiin siis sydämen sykettä, jota pidetään nykyään kaikkein käyttökelpoisempänä ja kokonaiskuormitusta monipuolisimmin ilmaisevana (esim. van Loon ym. 1971, Rohmert 1973). Puutavaran teon kaltaisessa raskaassa ruumiillisessa työssä syke korreloi voimakkaimmin energian kulutuksen kanssa. Sen lisäksi siihen vaikuttavat lämpötila, ilman kosteus ja liike, koehenkilön ominaisuudet, tunnetila, väsymys ja stressi, kehon mukautuminen työhön, vuorokauden aika, ateriasta kulunut aika, tupakointi, kehon lämpötila, kuormittuvat lihasryhmät, staattisen työn osuus, työtahti ja ympäristön erilaiset ärsykkeet (vrt. Oja 1968, Burger 1969).

Työntekijöiden verenpaine mitattiin aamulla ennen työn aloittamista ja työpäivän päättyessä n. 5 min. levon jälkeen istuallaan ja sen jälkeen seisten verenkierron ylikuormittumisen toteamiseksi. Samalla mitattiin myös syke (vrt. Lundgren 1969). Tutkimuksen lopussa koehenkilöt testattiin submaksimaalisessa pyöräergometritestissä sekä suoritettiin psykologiset testit ja haastattelu.

Työvaikeustekijöinä mitattiin tai arvioitiin seuraavat tekijät:

Rullataimien leikkaus ja männyn

taimien nosto:

- Taimien pituus
- Lämpötila
- Kelloaika

Hakkuu:

- Rungon $d_{1.3}$
- Käyttöosan pituus
- Pölkkyjen lukumäärä
- Oksaisuusluokka
- Kelloaika
- Siirtymismatka puulta puulle
- Ksm. kausumatka/puu
- Lumen syvyys
- Jalan painuma lumeen
- Maaston kaltevuus
- Lämpötila
- Puuston pohjapinta-ala
- Puulaji

Rungon kuutiomäärä laskettiin Iivessalon pystypuiden kuutioimistaulukolla. Työvaikeustekijät olivat valinnaisina muuttujina aineiston regressioanalyysikäsitellyssä.

Hakkuussa yhtä työmenetelmää tehtiin puoli työpäivää ja taimitarhatyössä yksi tunti kerrallaan. Työmenetelmää vaihdettiin siten, että se sattui eri päivinä eri ajankohtiin. Työpäivän pituus sekä taukojen määrä ja ajoitus pyrittiin pitämään suunnilleen vakioina eri päivinä.

3222. Aineiston laajuus ja laatu

Hakkuussa yhtä koehenkilöä tutkittiin viikon ajan ja taimitarhatyössä kaksi päivää. Työmaat sijaitsivat Suonenjoen ja Padasjoen kunnissa. Aineiston koko ja tärkeimmät työvaikeustekijät on esitetty taulukossa 1.

Taimitarhatyöntekijät työskentelivät varsin samanlaisissa olosuhteissa. Työvaikeustekijöistä taimien laatu pysyi lähes vakiona koko tutkimuksen ajan, joten sen ei voi olettaa tulevan merkitsevänä tekijänä selitysmalleihin.

Kuitupuun teossa koko aineisto käsittää yli 1 500 puun teon. Kolme teko miestä työskenteli mäntyvaltaisessa ja kaksi kuusivaltaisessa metsässä. Lunta oli kahden työntekijän palstoilla. Rungon koko, maastovaikeus, leimikon tiheys ja jäävän puuston määrä on kaikilla ollut samaa luokkaa. Samalle työntekijälle

Taulukko 1. Aineiston koko ja työmaiden työvaikeustekijät.

Table 1. The size of material and working conditions.

Työntekijä, no Worker, no.	Rullataimien leikkaus Cutting of roll-seedlings						Taimien nosto Lifting of seedlings					
	Rullien lukumäärä, kpl Amount of rolls	Puulaji Species of tree	Taimien pituus, cm Length of seedlings, cm		Lämpötila, C° Temperature, C°		Nippujen lukumäärä, kpl Amount of bundles	Puulaji Species of tree	Taimien pituus, cm Length of seedlings, cm		Lämpötila, C° Temperature, C°	
			\bar{x}	s	\bar{x}	s			\bar{x}	s	\bar{x}	s
1	121	ku	30	2.0	15.1	3.6	118	mä	20	1.0	15.1	3.6
2	132	»	»	»	10.1	5.3	81	»	»	»	10.1	5.3
3	33	»	»	»	13.6	1.8	93	»	»	»	13.6	1.8
4	157	»	»	»	14.2	6.3	124	»	»	»	14.2	6.3
5	149	»	»	»	14.3	6.4	138	»	»	»	14.3	6.4

Hakkuu: Työmenetelmä 1, Cutting: Work method 1

Työntekijä, no Worker, no.	Runkoja, kpl Stems, units			Rungon keski- koko, m ³ Average volume of trees		Oks. lk, ksm Branch- iness class	Maas- to- luok- ka Ter- rain class	Leimi- kon tiheys, m ³ /ha Density of stand, m ³ /ha	Jäävä puusto, m ³ /ha Re- maining trees, m ³ /ha	Lumen- syvyys, cm Depth of snow, cm		Upotta- vuus, cm Impression of foot, cm		Lämpö- tila, C° Tempera- ture, C°	
	Mä Pn.	Ku Sp.	Ko Br.	\bar{x}	s					\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
	1	263	—	7	0.06	0.05	1.2	I	45	120	45.1	5.2	5.5	0.1	5.2
2	270	—	9	0.07	0.06	1.3	I	44	120	38.5	5.3	5.0	0.1	5.3	7.2
3	66	—	14	0.07	0.09	2.4	I	42	140	—	—	—	—	18.5	2.8
4	1	76	8	0.08	0.09	2.2	I	50	140	—	—	—	—	12.1	2.4
5	—	139	2	0.06	0.05	1.7	I	55	130	—	—	—	—	10.0	0.2

Hakkuu: Työmenetelmä 2, Cutting: Work method 2

1	87	4	8	0.07	0.07	1.6	I	40	120	40.6	7.2	6.0	0.1	8.4	7.5
2	262	—	11	0.07	0.06	1.6	I	46	120	50.3	6.3	7.0	0.1	5.8	7.3
3	107	—	14	0.07	0.06	2.1	I	44	140	—	—	—	—	21.1	1.9
4	—	61	10	0.07	0.05	2.2	I	55	140	—	—	—	—	10.8	1.2
5	—	140	3	0.10	0.07	2.6	I	47	130	—	—	—	—	7.9	1.3

\bar{x} = Keskiarvo, Mean s = Keskihajonta, Standard deviation

valittiin kumpaakin työmenetelmää varten mahdollisimman samanlaiset palstat. Näin pyrittiin menetelmien väliset erot saamaan varmemmin esiin.

323. Koehenkilöt

3231. Koehenkilöiden valinta

Koehenkilöiksi valittiin kyseisiin töihin tottuneita, oman ilmoituksensa mukaan terveitä työntekijöitä. Muita vaatimuksia heille ei asetettu, vaan pyrkimyksenä oli satunnaisesti valita ominaisuuksiltaan erilaisia henkilöitä.

Taulukko 2. Koehenkilöiden fyysiset ominaisuudet.
Table 2. Physical characteristics of the test subjects.

Koehenkilö, no Subject, no	Ikä, v Age, year	Pituus, cm Height, cm	Paino, kg Weight, kg	Hapenotto- kyky, ml/kg/min Max. O ₂ uptake, ml/kg/min	Suku- puoli Sex	Näkö, 0 = huono 3 = hyvä Sight, 0 = bad 3 = good	Terveystila Health	Verenpaine, mmHg Blood pressure, mmHg
Taimitarhatyöntekijät, Nursery workers								
1	46	165	63	37	♀	0	Raaja- ja hartiakipuja, muuten hyvä	118/83
2	36	167	65	35	♀	1	raajojen puutumista, vagotoninen reaktio	110/72
3	33	160	45	48	♀	2	hyvä	118/78
4	48	160	55	26	♀	1	koronaarimuutoksia, väsymystä	134/101
5	20	159	48	50	♀	3	hartiakipuja, muuten hyvä	111/72
Tekomiehet, Loggers								
1	26	179	76	45	♂	—	hyvä	115/75
2	39	176	73	55	♂	—	hartia- ja jalkakipuja, muuten hyvä	114/68
3	32	168	78	30	♂	—	hyvä	130/75
4	52	170	73	48	♂	—	jalkojen väsymistä	148/98
5	32	178	69	43	♂	—	hyvä	124/74

3232. Koehenkilöiden fyysiset ominaisuudet

Koehenkilöiden fyysiset ominaisuudet on esitetty taulukossa 2. Hapenotto-
kyky mitattiin submaksimaalisella pyöräergometritestillä, jonka yhteydessä suori-
tettiin EKG-tutkimus. Verenpaineet on mitattu aina työpäivän alussa. Muu ter-
veydentila selvitetään haastattelulla.

Neljän taimitarhatyöntekijän suorituskyky vastaa keskitasoa tai hyvää keski-
tasoa. Yhdessä tapauksessa suorituskyky on heikohko. Tällä työntekijällä 4 on
myös todettu väsymystä aiheuttavia koronaarimuutoksia ja korkeahko veren-
paine. Muilla työntekijöillä terveydentila on hyvä, vain joitakin kipuoireita on
esiintynyt.

Hakkuumiesten suorituskyky on Åstrand-indeksillä¹⁾ mitattuna katsottava
yhtä poikkeusta lukuunottamatta muuhun väestöön verrattuna hyvää tai hyvää
keskitasoa vastaavaksi. Liikalihavuutta ei ($\frac{\text{paino}}{\text{pituus} - 100}$) -indeksillä mitattuna
esiintynyt. Terveystila on kaikilla ollut verraten hyvä ja verenpaine-
arvot normaaleja (vrt. Heikinheimo ym. 1972). Ainoastaan työntekijällä 4 esiintyy
jalkojen väsymistä.

¹⁾ Åstrand-indeksi ilmaisee työntekijän hapenottokyvyn suhteessa koehenkilön painoon.

Taulukko 3. Koehenkilöiden psyykkiset ja psykomotoriset piirteet.
 Table 3. Psychologic and psycho-motoric characteristics of the test subjects.

Koehenkilö, no, Sijainti, n:o	Yleisälykkyyttä ¹⁾ , Intelligence	Avaruudellinen kuvitelukyky ¹⁾ Spatial performance	Tekniset taipumukset ¹⁾ Technical inclinations	Havainnon valppaus ¹⁾ Perception	Käsien koordinaatioikyky ¹⁾ , Coordination ability of hands	Epäneuroottisuus ¹⁾ , Non-neurotic tendency	Elämänyönteisyys ¹⁾ , Appreciative view of life	Sosiaalinen aktiivisuus ¹⁾ , Social activity	Tunnollisuus ¹⁾ , Conscientiousness	Itsetietoisuus ¹⁾ , Self-confidence	Suorittumistarve ²⁾ , Need for performance	Työn suunnittelukyky ²⁾ , Planning ability of work	Asenne työtä kohtaan ⁴⁾ Attitude towards work
Taimitarhatyöntekijät, Nursery workers													
1	4	1	1	3	3	4	5	3	3	4	3	2	44
2	4	2	1	2	1	3	2	2	4	4	2	2	35
3	4	4	1	4	4	4	3	2	4	2	2	2	53
4	4	2	1	2	1	1	2	4	4	3	4	4	42
5	5	3	1	4	3	3	1	3	4	1	2	4	33
Tekomiehet, Loggers													
1	4	6	2	4	2	6	3	3	5	5	1	4	107
2	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	1	139
3	4	3	4	5	4	4	2	3	3	3	3	5	109
4	1	2	1	2	3	2	3	3	4	6	4	3	93
5	1	2	1	4	4	3	3	3	5	4	2	2	119

¹⁾ 1 = kysistä piirrettä vähän ... 7 = piirrettä paljon

²⁾ 0 = » » » ... 4 = » »

³⁾ Arvosteltu subjektiivisesti asteikolla 1...5 (hyvä—huono).

⁴⁾ Suuri arvo osoittaa positiivista asennetta. (Maksimit 150 ja 70).

3233. Koehenkilöiden psyykkiset ja psykomotoriset ominaisuudet

Koehenkilöt testattiin Työterveyslaitoksen testisarjalla, ja lisäksi suoritettiin asennetesti. Testatut ominaisuudet on työntekijöittäin esitetty taulukossa 3.

Asennetestillä mitattiin työntekijän asennetta taimitarha- ja hakkuutyötä kohtaan sekä suorittumistarvetta työssään. Testien reliabiliteetti oli kysymysten karsinnan jälkeen 0.79...0.82, mitä on pidettävä varsin hyvänä. Testiosoiden karsinta suoritettiin niiden ja koko testin pistemäärän välisten korrelaatiokertoimen perusteella siten, että alle 0.2 kertoimen omaavat osiot poistettiin (vrt. Guilford 1965). Riliabiliteetti laskettiin kaavalla:

$$r = \frac{n}{n-1} \left(\frac{S_i^2 - pq}{S_i^2} \right)$$

jossa n = koehenkilöiden lukumäärä

S_i^2 = koko testin varianssi

pq = osioiden varianssien summa

Seuraavassa tarkastellaan testituloksia suhteessa Työterveyslaitoksessa teollisuustyöntekijä-populaatiosta saatuun normaalijakautumaan. Voidaan todeta taimitarhatyöntekijäin olleen älykkyydeltään keskitasoa. Avaruudellinen kuvittelukyky ja tekniset taipumukset ovat keskitason alapuolella. Havainnon valppaus ja käsien koordinoitukyky on työntekijöillä ollut keskitasoa tai sen alapuolella. Neuroottisuutta on esiintynyt ja elämänmyönteisyys on vaihdellut lähes koko skaalan läpi. Sosiaalinen aktiivisuus, tunnollisuus ja itsetietoisuus on ollut keskitasoa tai keskitasoa heikompaa. Suoriutumistarve ja asenne työtä kohtaan näyttävät vaihtelevan verraten paljon.

Tekomiesten yleisälykkyys on havaittu keskitasoiseksi tai heikommaksi. Avaruudellinen kuvittelukyky ja havainnon valppaus vaihtelevat keskitason molemmien puolin. Tekniset taipumukset ja käsien koordinoitukyky ovat olleet keskitasoa tai keskitasoa heikompia. Neuroottisuus on vaihdellut huomattavasti, samoin tunnollisuus ja itsetietoisuus. Elämänmyönteisyys ja sosiaalinen aktiivisuus olivat keskitason alapuolella. Suoriutumistarve, asenne työtä kohtaan ja arvioitu työn suunnittelukyky vaihtelivat huomattavasti työntekijästä toiseen.

33. Aineiston käsittely

Aikatutkimus- ja sykehavainnot tulostettiin Työterveyslaitoksen analysaattorilla. Sykearvona käytettiin kunkin työvaiheen lopussa havaittua arvoa. Käytäntö omaksuttiin sen vuoksi, että tällöin syke on parhaiten asettunut työvaiheen edellyttämälle rasittavuustasolle. Aineistosta piirrettiin myös jatkuvaa sykekäyrää.

Aineisto käsiteltiin pääasiassa tilastomatematisesti. Koska aineisto ei ole edustava näyte mistään tietystä populaatiosta, ei pyritty ominaisarvojen estimointiin, vaan lähinnä syy-seuraussuhteiden selvittämiseen. Tällöin ei helposti tehdä vääriä johtopäätöksiä, jos voidaan havaita kaikki oleelliset ominaisuudet, jotka vaikuttavat tutkittavien ominaisuuksien suhteisiin (vrt. Hoel 1964).

Tässä tapauksessa syysuhteiden selvittelyä vaikeuttaa paitsi vaikuttavien tekijöiden runsaus, myös eräiden tekijöiden vähäinen varianssi. Toisaalta juuri muutujien runsauden ja aineiston käytännön syistä rajoitetun koon vuoksi vähemmän oleellisten tekijöiden vaihtelun minimointi ja pysyttäminen mahdollisimman saman suuruisena vertailtavien luokkien sisällä auttaa muiden tekijöiden riippuvuussuhteiden selville saamista toimien tilastomatematiikassa tunnetun "balancing"-ilmiön tapaan (Snedecor ym. 1967). Tähän pyrittiin muun muassa balansoimalla työvaikeustekijöiden vaihtelua työmenetelmien välillä.

332. Tilastollisten menetelmien käyttö

Tässä tutkimuksessa suurelta osin on kysymyksessä regressio-ongelma eli jonkin tekijän arvoihin vaikuttavien tekijöiden tutkiminen. Vaikuttavina tekijöinä voisivat periaatteessa olla sekä mitatut muuttujat että muuttujaryhmät, jos ryhmä

osoittautuisi hypoteesien täsmentämisen kannalta tarkoituksenmukaisemmaksi. Vaihtoehtoisia menetelmiä tässä tilanteessa on käsitelty mm. M ä k e l ä (1972). Voidaan todeta valikoivan regressioanalyysin tarjoavan yksinkertaisempia menetelmiä tehokkaamman lähtökohdan suurehkon muuttujajoukon käsittelyyn.

Täysin koneellisesta valikoivan regressioanalyysin käytöstä on kuitenkin varoitettu, koska keskinäisten korrelaatioiden vuoksi malliin eivät saata tulla kaikki oleellisesti vaikuttavat tekijät. Lisäksi tuloksista voi tulla sekavia ja vaikeasti tulkittavia. Tässä yhteydessä on painotettu myös residuaalien tutkimisen tarpeellisuutta (D r a p e r ym. 1968). Muuttujien valintaa on kehitetty teknologisissa tutkimuksissa mm. seuraavasti:

- Käytetään selittäjinä faktoripistemääriä (M ä k e l ä 1968)
- Valitaan mahdolliset selittäjät faktorianalyysin avulla (H a r s t e l a 1970)
- Luovutaan täysin automaattisesta ohjelmasta, jolloin voidaan kokeilla useampia selittäjäkombinaatioita seuraavan vaiheen pohjana (K ä r k k ä i n e n 1969)
- Tulosten tulkintavaiheessa tutkitaan, missä määrin mallista poisjääneet muuttujat selittävät jäännösvarianssia eri analyysivaiheissa (H a r s t e l a ym. 1971)

Jos muuttujajoukko on rajattu tai alkuperäisten hypoteesien mukaan jokin muuttuja, joka on jäänyt mallista, vaikuttaisi oleelliselta selittäjältä, voidaan riippuvuuksia tutkia myös yhden selittäjän mallilla. Tällöin voidaan käyttää tavanomaista regressioanalyysiä tehokkaampia menetelmiä esim. ekologisia muuttujia riippuvuuksien löytämiseksi (K ä r k k ä i n e n 1973).

Tässä tutkimuksessa tutkittava kenttä tunnetaan osittain hyvin ja osittain heikosti. Lähinnä erilaisten työvaikeustekijöiden ja työn tuotoksen väliset riippuvuussuhteet tunnetaan, mutta kochenkilön ominaisuuksien ja uusien työmenetelmien vaikutusta työajan menekkiin ja siten tuotokseen ei tunneta. Myös sykkeen ja kaikkien muiden tekijäryhmien väliset riippuvuussuhteet tunnetaan puutteellisesti. Faktorianalyysi regressiomallin lähtökohtana ei kuitenkaan vaikuta hyvältä yleismenetelmältä, koska suuri osa muuttujista on varsin konkreettisia ja niiden yhdistäminen vaikuttaa väkivaltaiselta. Esim. työvaikeustekijöiden keskinäiset korrelaatiot ovat usein satunnaisluonteisia.

Sen sijaan työntekijän ominaisuuksia, etenkin psyykkisiä ominaisuuksia, kuvaavat muuttujat ovat luonteeltaan abstrakteja, ja niiden sisältämän informaation tiivistäminen selityksen pohjaksi voi osoittautua teorian muodostuksen kannalta hedelmälliseksi. Faktorianalyysiä ei katsottu kuitenkaan voitavan käyttää tavanomaiseen tapaan, koska työntekijäjoukon pienen koon vuoksi, psykologiset ja tysiologiset muuttujat voivat korreloida satunnaisesti ja korrelaatiot eivät edusta mitään rajattua tai tunnettua populaatioita. Menettelyä on perusteltu ja selitetty luvussa 3411 (s. 44). Faktori- ja korrelaatioanalyysit perustuvat tässä tutkimuksessa lineaarisiin riippuvuuksiin ja muodostavat siten huonosti tunnetun kentän todellisuuden karkean aproksimaation (vrt. V a h e r v u o ym. 1958).

Selittäjien interkorrelaatioiden haitallista vaikutusta mallien selitettävyyteen pyritään faktorianalyysin käytön lisäksi vähentämään korrelaatioanalyysin ja osittain sidottujen mallien avulla. Koska joskus analyysin seuraavassa vaiheessa jokin muuttuja voi muuttua merkitseväksi selittäjäksi, on malleihin asetettu teorian muodostuksen kannalta tärkeitä sidottuja muuttujia (vrt. Draper ym. 1968).

Koska riippuvuuksien muotoa ei tarkasti tunneta tai ne saattavat vaihdella koehenkilöstä toiseen, on malleihin kokeiltu suurta joukkoa erilaisia transformaatioita. Työmenetelmien vaikutus on otettu malleihin mukaan muodostamalla dikotomisia muuttujia. Erillisissä analyyseissä todettiin, että työmenetelmät ovat luonteeltaan niin lähellä toisiaan, että muuttujien yhteydet säilyvät samanlaisina eri työmenetelmissä.

Eräitä syy-seuraussuhteita on myös jouduttu tutkimaan tätä varten suunnitellulla, graafiseen tarkasteluun, iterointiin ja tilastollisiin menetelmiin perustuvalla laskentamenettelyllä, koska funktiomuoto osoittautui liian monimutkaiseksi regressio-analyysiä varten. Menettely on perusteltu luvussa 345.

34. Tutkimustulokset

341. Työajan menekkiin vaikuttavat tekijät

3411. Rullataimien leikkaus ja taimien nosto

Rulla- ja taiminippukohtaisia tehotyöaikoja kuvasivat seuraavat regressioyhtälöt:

	R^2
$y_1 = 127,6 - 62,4x_3^x - 1,0(+E14)\log x_{14}^x$	51,7 %
$y_2 = 117,4 - 36,9x_3^x$	6,5 %
$y_3 = 92,0 - 45,2x_3^x + 0,003x_7^2$	10,0 %
$y_4 = 78,5 + 26,1x_3^x + 0,1x_{14}^x$	3,2 %
$y_5 = 176,3 + 41,9x_3^x - 16,67\log x_{14}^x + 0,007x_{14}^x$	23,7 %
$y_A = 137,5 - 40,4x_3^x - 5,4x_{29}^x$	11,4 %
$y_i =$ rulla- ja taiminippukohtainen tehotyöaika, cmin	
$i =$ työntekijän numero	
$A =$ kaikki työntekijät	
$x_3 =$ työmenetelmä 1=1, työmenetelmä 2=0	
$x_7 =$ lämpötila, 0.1 C°	
$x_{14} =$ aika työn aloittamisen jälkeen, 1/100 t	
$x_{29} =$ elämänmyönteisyys	
$R^2 =$ selitysaste	

Malleissa olevat selittävät muuttujat selittävät F-testin mukaan jäännösvarianssia vähintään 5 % riskillä. Korrelaatiomatriisien tarkastelussa todettiin lämpötilan ja työn aloittamisesta kuluneen ajan korreloivan voimakkaasti keskenään, joten ei voida päätellä, kumpi tekijöistä vaikuttaa työajan menekkiin tai onko molemmilla todellista merkitystä työajan menekin suhteen. Malleissa y_2 , y_4 ja y_A myös työmenetelmän ja lämpötilan sekä työmenetelmän ja ajan korrelaatiokertoimien itseisarvot olivat yli 0,4. Täten myös näissä tapauksissa lämpötila tai työpäivän ajankohta voisi selittää työajanmenekkiä toisenlaisen koejärjestelyn kyseessä ollen. Työntekijän ominaisuuksia kuvaavia muuttujia sallittiin tulla malleihin vain kaksi kerrallaan työntekijäin pienen lukumäärän vuoksi.

Testiedellytysten voimassaoloa kontrolloitiin suorittamalla mallien residuaalitarkastelu virheiden normaalijakautuneisuuden, varianssien samansuuruisuuden ja virheiden riippumattomuuden toteamiseksi. Residuaalien jakautuma todettiin graafisesti vain lievästi vinoksi, mutta varianssien havaittiin kasvavan y -muuttujan kasvaessa. Testien tarkastamiseksi suoritettiin analyysit käyttämällä y :n logaritmia. Virheiden riippumattomuutta testattiin Durbin—Watsonin-testillä (vrt. Durbin ym. 1951). Saadut testiarvot ylittivät testisuureen d_2 , jolloin riippumattomuushypoteesia ei hylätä 5 % riskillä. Selitettävän muuttujan logaritmeille suoritettu analyysi antoi tulokseksi samat selittävät muuttujat ja eräissä tapauksissa korkeammat selitysasteet.

Selitysasteet ovat malleissa jääneet yhtä poikkeusta lukuunottamatta alhaisiksi. Näin ollen jotkin huomioimattomat tekijät ovat aiheuttaneet varianssia työajan menekkiin. Esimerkiksi työpäivän ajankohta saattaa olla tehokkaampi selittäjä kuin näissä analyyseissä tuli esiin, koska koejärjestely oli sellainen, että työtä tehtiin tunnin jaksoina. Työntekijän ominaisuudet korreloivat osittain voimakkaasti keskenään, joten pelkän valikoivan regressioanalyysin perusteella on vaikea selvittää työhön vaikuttavia ominaisuuksia. Tämän vuoksi suoritettiin ominaisuuksien ryhmittely faktoreiksi.

Työtieteen teorian muodostuksen kannalta on tarkoituksenmukaista määrittää ”taipumus ja kyky tehdä kyseinen työ nopeasti tai vähän kuormittavasti” ja jakaa se toisistaan riippumattomiin aladimensioihin. Tällöin päädytään faktoreihin, jotka kuvaavat ”taipumusta ja kykyä tehdä jokin työn osa nopeasti tai vähällä kuormittumisella”. Näihin faktoreihin ei kuitenkaan päästä ryhmittelemällä toisen käsiteryhmän tekijöitä eli psykologisia tai fysiologisia muuttujia niiden keskinäisten korrelaatioiden avulla, kuten tavallisesti faktorianalyyseissä tehdään (vrt. Vahervuo ym. 1958). Voihan esim. älykkyys ja koordinoitukyky satunnaisesti korreloida voimakkaasti keskenään, mutta esim. työn suunnittelussa saattaa vain älykkyudesta olla oleellista apua ja sahan käsittelyssä vain koordinoituvuutta. Erityisesti tässä aineistossa tämä on otettava huomioon, koska koehenkilöjoukon pienuudesta johtuen kykyjen korrelointi voi osittain olla satunnaisuudesta, ja näin ollen ei voida olettaa, että korrelaatioiden syynä välttämättä on jokin yleiseksi lainalaisuudeksi luonnehdittava tekijä, jota muodostettava faktori kuvaisi.

Faktorianalyysi mahdollistaa testisuureiden keskinäisten korrelaatioiden tarkastelun siinä mielessä, että jos jokin muodostetulla faktorilla voimakkaan latauksen omaava muuttuja tai faktori itse selittää selitettävän muuttujan varianssia, voidaan päätellä, että myös muilla voimakkaan latauksen omaavilla muuttujilla voi olla merkitsevä selitysvaikutus y-muuttujan varianssiin nähden, vaikka ne eivät olisikaan tulleet esiin valikoivassa regressioanalyysissä.

Kuten edellä jo todettiin näiden faktoreiden muodostuksen on kuitenkin lähdeittävä työtieteellisestä eikä psykologis-fysiologisesta käsitteistöä liikkelle. Sen tähden tässä kehitetään tekniikkaa, jolla voidaan muodostaa työn analysoinnista lähtevä käsitteistö ja faktorit niiden tekijöiden korrelaatioiden perusteella, joiden oletettiin vaikuttavan johonkin työn osaan.

Analyyisin kulku on seuraava:

- työn osittelu erilaisten vaatimusten mukaan
- oletus niistä tekijöistä, jotka vaikuttavat kunkin työosan suoritukseen
- faktoreiden muodostus em. tekijöistä
- faktorilatausten selitysvaikutuksen tutkiminen selitettävän muuttujan suhteen.

Työ jaettiin seuraaviin osiin:

- a) työnsuunnittelu ja järjestely
- b) työvälineiden käyttö ja työosien nopeampoinen suoritus
- c) työn fyysisesti raskaiden osien suoritus
- d) kaikki työosat.

Kohdan a katsottiin muodostuvan kaikista työvaiheista, kohdan c lähinnä rullien nostosta ja taimien irrotuksesta lapiolla ja kohdan b lähinnä taimien irrotuksesta ja nipun sitomisesta.

Gläserin (1952) mukaan työn fysiologisesti edullinen suoritus riippuu työtä helpottavien keinojen tajuamisesta ja työhön sopeutumisesta, organisaatiokyvystä, fyysisistä ominaisuuksista ja työtahdista. Tämän käsitteistön ja Ghisellin ym. (1969) esittämän kykytestijaottelun mukaan katsottiin em. työosiin (a...d) vaikuttavan seuraavien tekijöiden ja kykyjen:

- a) työtä helpottavien keinojen tajuaminen — älykkyys, avaruudelliset kyvyt
- b) organisaatiokyky — avaruudelliset ja motoriset kyvyt
- c) fyysiset ominaisuudet — fyysinen suorituskyky
- d) työtahti — asenne, suoriutumistarve, luonne.

Ammatti- ja teollisuustyöntekijöiden ammattimenestyksen ennustamisessa on ammatista riippuen päättelyyn ja eliminointiin liittyvillä älykkyystesteillä avaruudellisiin suhteisiin ja havainnon valppauteen liittyvillä spatiaalisilla testeillä, motorisilla testeillä sekä intressi- ja persoonallisuustesteillä saatu lupaavia validiteettejä (vrt. Ghiselli 1969). Kohdissa a—d mainituista kykyryhmistä valittiin jokaista kohtaa kuvaamaan 2—3 persoonallisuus- tai kykytestiä, joista muodostettiin faktori.

Faktorien muodostaminen pelkästään valittujen testivariaabelien korrelaatioiden perusteella ei ole perusteltua siksi, että näin kunkin variaabelin painotus

yhdistelmävariabelin arvojen määrittäessä saattaa muodostua sattuman perusteella. Tämän vuoksi faktori pyrittiin asettamaan variaabelivektorien parvessa kahden parhaiten y-muuttujan kanssa korreloivan vektorin keskelle niiden määrittämässä avaruustasossa. Jos vain yksi variaabeli korreloi voimakkaasti y-muuttujan kanssa, asetettiin faktori tämän muuttujan suuntaiseksi. Menettely perustuu siihen ajatukseen, että näin parhaiten y:n varianssia selittävät variaabelit tulevat selittämään muita variaabeleita suuremman osan faktorin A varianssista, koska

$$\sigma_A^2 = \sum_1^n a_j^2, \text{ jossa } n = Z_1 \text{ variaabeleiden lukumäärä}$$

$$\sigma_A^2 = \Lambda:n \text{ varianssi}$$

$$a_j = \text{variaabelin } Z_j \text{ lataus faktorilla } A$$

$$a_j = r_{Z_j A}, \text{ jossa } r = \text{korrelaatiokerroin} \\ (\text{vrt. V a h e r v u o ym. 1958}).$$

Jos kolmen variaabelin tapauksessa faktori A asetetaan kahden parhaiten y:n kanssa korreloivan variaabelin keskelle ja variaabeleiden pituus oletetaan 1:ksi, niin:

$$a_1 = a_2 = \cos \frac{\varphi}{2}, \quad \varphi = \arccos r_{12}$$

Soveltamalla vektorianalyysin kosinilauseetta saadaan kolmannen variaabelin latauksen laskemiseen kaavat:

$$\varphi' = \arccos \frac{1 + (\cos \frac{\varphi}{2})^2 - x^2}{2 \cos \frac{\varphi}{2}} \quad \varphi' = \arccos r_{Z_3 A}$$

$$x^2 = \frac{1}{2}(2\sin \frac{\beta}{2})^2 + \frac{1}{2}(\sin \frac{\alpha}{2})^2 + \frac{1}{2}(2\sin \frac{\delta}{2})^2, \quad \beta = \arccos r_{13} \\ \delta = \arccos r_{23}$$

Uusi variaabeli, faktori A selittää tietyn osan σ_A^2 muuttujan y varianssista, jonka ilmaisee korrelaatio r_{Ay} .

Näin päädytään uusiin matemaattisesti muodostettuihin variaabeleihin, joiden avulla voidaan jokaiselle koehenkilölle määrittää lähtövariaabeleiden eräällä tavalla painotettu yhdistelmä. Painotus ei luultavasti ole paras mahdollinen ja sitä voitaisiin periaatteessa parantaa kokeilemalla erilaisia rotaatioita. Periaatetasolla lienee kuitenkin todettavissa se, kuinka hyviä selittäjiä lähtövariaabeleiden yhdistelmät ovat, ja ovatko ne parempia selittäjiä kuin lähtövariaabelit yksin.

Koska lähtövariaabelit on käsitelty abstraktisuushierarkiassa alemalle tasolle kuuluviksi "reaalisemmiksi" suureiksi, ei synny faktorianalyysin käytön yhteydessä yleistä tulkintavaikeutta siitä, vaikuttavatko faktorit variaabeleihin vai päinvastoin. Luvussa 252 (s. 30) suoritettussa metateoreettisessa käsitteen muodostuksessa työkyky on kuvattu teoreettiseksi käsitteeksi, jonka määrittelevät psyykkiset ja fyysiset ominaisuudet. Työkykyä kuvaavat fysiologis-psykologiset ominaisuudet

ovat motivaation kanssa samalla kvantitatiivisuuden tasolla. Myös niiden mittauspiirteet ovat kaikki samalla tasolla, ja niistä vain yhdistetään uudet työkykyä ja -halua kuvaavat käsitteet.

Taimitarhatyötä suorittaneelle koehenkilöjoukolla saatiin seuraavat faktorit:

1. "Työn suunnittelukyky"	lataus:
— älykkyys	0,87
— avaruudellinen kuvittelukyky	0,87
— havainnon valppaus	0,56
2. "Työn nopeatempoisten osien suorituskkyky"	
— havainnon valppaus	0,89
— käsien koordinoitukyky	0,52
— näkö	0,89
3. "Työn fyysisesti raskaiden osien suorituskkyky"	
— Åstrand-indeksi	0,90
— ikä	— 0,90
4. "Asenne"	
— asenne työtä kohtaan	0,56
— elämänmyönteisyys	1,00
— tunnollisuus	— 0,22
5. "Suoriutumistarve" -faktori	
— suoriutumistarve	0,92
— sosiaalinen aktiivisuus	0,92

Työtahti-tekijää selittämään muodostettiin kaksi faktoria: työmotivaatioon läheisesti liittyvä suoriutumistarpeen ja eräiden persoonallisuuden piirteiden sekä motiiveja määrävien asenteiden ja persoonallisuuden piirteiden muodostamat faktorit (vrt. Ghiselli ym. 1969). Nämä kaksi faktoria korreloivat keskenään verraten heikosti.

Faktoreiden muodostamistapa ei eliminoi faktoreiden keskinäisiä korrelaatioita, ja täten tulkintavaikeuksia voi syntyä, jos korrelaatiot ovat voimakkaita. Tässä tapauksessa korrelaatiot muodostuivat taulukon 4 mukaisiksi, kun kunkin koehenkilön testiavot summattiin faktoreittain painottamalla ne faktorilatauksilla.

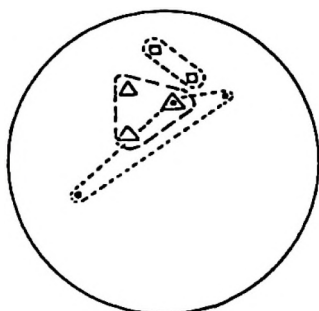
On todettava, että ainoastaan työmotivaatioon liittyvät faktorit lähestyivät lineaarisen riippumattomuuden tavoitetta. Vähemmän korreloivan faktorirakenteen muodostamismahdollisuuksia tutkittiin graafisesti kolmiulotteisessa avaruudessa, jolloin variaabeleiden sijainti pallomallissa vastasi suunnilleen kuvan 5 esittämää tapausta.

Kuvasta havaitaan, että vektoreiden virittämään avaruuteen on erittäin vaikea sijoittaa faktorivektoreita, jotka olisivat lähempänä ortogonaalista rakennetta ja kuvaisivat samalla hyvin kunkin vektorijoukon varianssia. Näin ollen on todettava, että muista psykologis-fysiologisista muuttujista on pystytty erottamaan

Taulukko 4. Faktoreiden 1—5 korrelaatiomatriisi.

Table 4. Correlations between factors 1—5.

Faktori <i>Factor</i>	1	2	3	4
1	—			
2	0.97	—		
3	0.83	0.90	—	
4	-0.26	-0.16	-0.40	—
5	-0.53	-0.47	-0.69	0.04



• = faktorin 1 variaabelit, variables of factor 1
 △ = " 2 " " factor 2
 □ = " 3 " " factor 3

Kuva 5. Faktoreiden 1...3 vektorijoukot pallomallissa.

Figure 5. The vector sets of factors 1...3 in a spherical model.

niiden kanssa heikosti korreloiviksi vain "asenne"- ja "suoriutumistarve"-faktorien kuvaamat muuttujajoukot.

Hiukan ortogonaalisempaan suuntaan faktorirakennetta muutti faktorin 1 uudelleen konstruointi, kun avaruudellinen kuvittelukyky-muuttujalle, joka myös selitti parhaiten työajan varianssia, annettiin painoluku 1,00. Uusi korrelaatiomatriisi on seuraava:

Taulukko 5. Faktoreiden 1—5 lopullinen korrelaatiomatriisi.

Table 5. Final correlations between factors 1—5.

Faktori <i>Factor</i>	1	2	3	4
1	—			
2	0.93	—		
3	0.82	0.90	—	
4	-0.27	-0.16	-0.40	—
5	-0.51	-0.47	-0.69	0.04

Tämä uusi rakenne, jota jäljempänä käytetään, etsittiin faktorianalyysin ja Varimax-rotation avulla.

Valikoiva regressioanalyysi, jossa muuten olivat samat muuttujat kuin aikaisemminkin esitetyissä, mutta työntekijän ominaisuudet oli kuvattu faktoreilla, antoi tulokseksi seuraavan mallin:

R

$$y_A = 111,6 - 27,3x_3^{xx} - 0,71x_{24} + 0,031x_{14}^{2xx} - 26,0x_{14}^{xx} + 1187,1 \log x_{14}^x + 0,0051x_7^{2x} \quad 12,0 \%$$

x_{24} = "asenne"-faktori. Yhtälön selitysaste on vain hieman korkeampi kuin aikaisemmin esitetyn. Mukaan malliin on tullut myös muuttujia, jotka aikaisemmin esitetystä mallista puuttuvat. Elämänmyönteisyyden hallitsema asenne on siis ollut ainoa tilastollisesti merkitsevä työn tuotosta selittävä työntekijöiden ominaisuus.

Työajan menekin riippuvuutta faktoreista tarkasteltiin työmenetelmittäin myös korrelaatioanalyysillä käyttäen työajan regressio-tasoitettuja keskiarvoja. Asenne-faktorin lisäksi ainoastaan "suoritumistarve"-faktori korreloi yli 0,50 kertoimella taimien noston työajan menekin kanssa. Korrelaatiokerroin oli $-0,56$. Tuloksia selitetään lähemmin luvussa 35 (s. 85).

3412. Kuitupuun teko pälstatien varten

Vaikuttavia tekijöitä tutkittiin ensin työmenetelmittäin valikoivan regressio-analyysin tekniikkaa käyttäen. Koska molemmissa työmenetelmissä todettiin samat tekijät vaikuttaviksi, päädyttiin malleihin, joissa työmenetelmä on mukana dikotoomisena muuttujana. Selitysasteen suhteen parhaiten runkokohtaista työaika selittäviksi malleiksi saatiin seuraavat:

R²

$$y_1 = 140,1 + 18,6x_{30}^x - 36,9x_{26}^x + 2,3x_{30} \cdot x_{31}^x - 0,2x_{30}^{2x} + 0,1x_{33}^{2x} \quad 62,1 \%$$

$$y_2 = 64,4 + 16,3x_{30}^x + 7,7x_{31} + 1,8x_{33}^x - 0,2x_{30}^{2x} - 0,04x_{32} - 14,1x_{26}^x \quad 56,6 \%$$

$$y_3 = 232,9 - 8,73x_{26} + 25,4x_{30}^{xx} + 0,08x_{33} + 26,26x_{31}^x + 0,099 \frac{x_5^{2xx}}{x_{33}} - 0,37x_{30}^{2xx} + 1,05x_{30}x_{33}^{xx} - 6,25x_{38}^x \quad 74,2 \%$$

$$y_4 = -48,81 - 17,63x_{26}^x + 4,73x_{30}^x - 1,00x_{33} + 22,26x_{31}^{xx} + 85,57 \log x_{30}^{xx} + 1,62x_{30}x_{33}^x + 2,76 \frac{x_5^x}{x_{33}} \quad 87,1 \%$$

$$y_5 = 303,77 - 35,60x_{26}^x + 23,74x_{33}^x - 13,52x_{30}^{xx} - 26,19x_{31}^x + 7,23x_{31}^{xx} + 0,11x_{30}x_{32}^{xx} + 1,99x_{30}x_{33}^{xx} - 0,67x_{32}^{xx} - 3,21x_{33}^{2x} - 85,00 \log x_{40}^x \quad 88,4 \%$$

$$y_A = 8,67 - 14,93x_{26}^{xx} + 14,06x_{42}^{xx} + 0,050 \left(\frac{x_5}{x_{33}} \right)^{2xx} + 3,38x_{33}^{xx} + 15,98x_{30}^{xx} + 23,42x_{31}^{xx} - 4,24x_{44}^x \quad 60,5 \%$$

Kasaustyövaiheen työaikaa kuvaamaan saatiin seuraavat mallit:

	R ²
$y_1 = 29.77 + 2.74x_{30}^{xx} - 15.15x_{26}^{xx} + 0.005x_{30}x_{32}^{xx} + 1.03x_{30}x_{31}^{xx}$	56.5 %
$y_2 = 11.32 + 3.74x_{30}^{xx} - 3.84x_{26}^x$	53.9 %
$y_3 = 1.66 + 1.57x_{26}^x + 10.50x_{30}^{xx} + 0.95x_{33}^x + 4.93x_{21}^x - 0.13x_{30}^{2xx}$	43.0 %
$y_4 = 39.58 - 5.69x_{26}^x + 7.48x_{30}^{xx} - 0.24x_{33}^x - 3.63x_{31}^x - 1.35x_{40}^{2xx}$	77.9 %
$y_5 = 42.63 - 6.06x_{26}^x - 3.00x_{32}^x - 0.0031x_{30}^x - 2.79x_{31}^x + 0.024x_{30}x_{32}^{xx} + 0.66x_{30}^x x_{33}^x$	63.1 %
$y_A = 24.22 - 5.84x_{26}^x - 2.72x_{42}^{xx} + 0.0022\left(\frac{x_5}{x_{33}}\right)^2 + 0.63x_{33}^x + 5.07x_{30}^{xx} + 2.44x_{31}^x + 0.43x_{44}^x$	45.6 %

y_i = runkokohtainen tehotyöaika, cmin

i = työntekijän no

Λ = kaikki työntekijät

x_{30} = rungon tilavuus, 1/100 m³

x_{26} = työmenetelmä 1 = 1, työmenetelmä 2 = 0

x_{31} = oksaisuusluokka

x_{33} = siirtymismatka puulta puulle, m

x_{32} = ajankohta työpäivän aloittamisesta lukien, 1/100 tuntia

x_5 = siirtymisaika puulta puulle, cmin

x_{38} = lämpötila, C°+20

x_{40} = työpäivän järjestys no

x_{42} = avaruudellinen kuvittelukyky

x_{44} = havainnon valppaus

R² = selitysaste

Malleissa on tähdellä merkitty selittäjät, jotka vähintään 5 % riskillä selittävät merkittävästi jäännösvarianssia. Kaikki mukana olevat selittäjät, työmenetelmää lukuunottamatta, ovat kuitenkin jossain analyysin vaiheessa olleet merkittäviä selittäjiä. Korrelaatiomatriisien tarkastelu osoitti, että työvaikeustekijöistä lämpötila on jäänyt pois useista malleista, vaikka se ei kaikissa tapauksissa olekaan voimakkaasti korreloinut muiden muuttujien kanssa. Pois jäänti on toisaalta

ymmärrettävää lämpötilan verraten pienen vaihteluvälin vuoksi. Työntekijää kuvaavista muuttujista ovat tulleet malliin mukaan spatiaalista kykyä kuvaavat havainnon valppaus ja avaruudellinen kuvittelukyky, joilla kuitenkin on toisella runko-kohtaisen työajan ja toisella kasausajan mallissa hypoteesien vastainen kerroin.

Voidaan todeta, että tavallisimmat työvaikeutta kuvaavat muuttujat, rungon koko, oksaisuus, siirtymismatka (\approx tiheys) ja osittain lämpötila ovat selittäneet merkittävästi työajan menettä. Lisäksi merkittävänä selittäjänä on yleensä joko siirtymisnopeutta tai työpäivän ajankohtaa kuvaava muuttuja, jotka molemmat, malliin yhdistettynä, kuvaavat työtahdin muutoksia. Työmenetelmä on muilla paitsi työntekijällä 3 ollut merkittävä dikotoominen muuttuja. Luvun 22 (s. 12) systeemimalliin sovellettuna, voidaan todeta ympäristötekijöiden, työmenetelmän ja työsuoritusta säätelevän työntekijän sisäisen järjestelmän (päätös-, työkyky-, refleksit ja vaihtot) vaikuttaneen työn tuotokseen.

Työntekijän ominaisuuksia kuvaavista muuttujista muodostettiin faktorit edellisessä luvussa kuvatulla tekniikalla. Faktoreiden keskinäisiä korrelaatioita pyrittiin alentamaan valitsemalla voimakkaimmin työajan menekin kanssa korreloivan ominaisuuden kanssa vektorin asettamistason määrittäjäksi eräissä tapauksissa muu kuin toiseksi parhaiten korreloiva ominaisuus. Ominaisuudet saivat seuraavat lataukset faktoreilla:

1. "Työn suunnittelukyky"	lataus
— älykyys	0,83
— avaruudellinen kuvittelukyky	0,83
— havainnon valppaus	0,42
2. "Työn nopeitempoisten osien ¹⁾ suorituskkyky"	
— havainnon valppaus	0,79
— käsien koordinoitukyky	0,79
— tekniset taipumukset	0,52
3. "Työn fyysisesti raskaiden osien suorituskkyky"	
— Åstrand-indeksi	1,00
— ikä	— 0,40
4. "Asenne"	
— asenne työtä kohtaan	1,00
— elämänmyönteisyys	0,16
— tunnollisuus	— 0,30
5. "Suoriutumistarve"	
— suoriutumistarve	1,00
— epäneuroottisuus	— 0,83

Faktorien väliset korrelaatiot muodostuivat huomattavasti alhaisemmiksi kuin taimitarhatyössä, kuten taulukosta 6 nähdään.

¹⁾ Työn osa nimitystä käytetään tässä metsätyötieteen termistöön vakiintuneiden työvaiheiden sisältämistä tarkemmin määrittelemättömistä alaosista.

Taulukko 6. Faktoreiden 1—5 väliset korrelaatiot.
Table 6. Correlations between factors 1—5.

Faktori Factor	1	2	3	4
1	—			
2	0.44	—		
3	0.26	—0.23	—	
4	0.36	0.66	0.52	—
5	—0.56	—0.03	—0.35	—0.07

Työajan menekkiä kuvaavat regressiomallit saivat seuraavan muodon, kun selittäjinä käytettiin faktoreita:

Runkokohtainen työaika:

R^2

$$y_A = 227.56 - 21.33x_{26}^{**} - 1.49x_{62}^{**} + 0.41\left(\frac{x_5}{x_{33}}\right)^2 + 0.17x_{33}^{2*} - 2.63x_{60}^{**} + 16.21x_{30}^{**}$$

62.3 %

Kasausaika:

$$y_A = 84.66 - 6.75x_{26}^{**} - 0.17x_{62}^{**} - 0.0003\left(\frac{x_5}{x_{33}}\right)^2 + 0.18x_{33}^{2*} - 1.78x_{60}^{**} + 5.13x_{30}^{**}$$

52.2 %

X_{60} = "Työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky"-faktori

X_{62} = "Asenne"-faktori

Mallien selitysasteet ovat hieman nousseet verrattuna malleihin, joissa alkuperäiset kykytestien tulokset olivat muuttujina.

Työntekijäkohtaisten mallien selitysasteet ovat, metsätyöntutkimusaineistoille ominaisen suuren hajonnan huomioon ottaen, verraten korkeita. Tosin niihin on päästy useilla transformaatioita ja suurta muuttujajoukkoa käyttäen, mutta vapausasteiden suuren lukumäärän huomioon ottaen menettely on perusteltua.

Residuaalitarkastelut osoittivat jakaantumia lievästi vinoiksi, mikä on tyyppistä työntutkimusaineistoille. Vinous oli kuitenkin niin lievä, ettei sen katsottu vaikuttavan tehtäviin johtopäätöksiin. Koska varianssi näytti kasvavan y-muuttujan kasvaessa, suoritettiin analyysit y:n logaritmitransformaatiolla. Se ei kuitenkaan vaikuttanut selittävien muuttujien merkitsevyyteen. Virheiden riippumattomuushypoteesi todettiin paikkansa pitäväksi 5 % riskillä Durbin—Watsonin testillä.

Työvaiheittaiset regressioanalyysit on esitetty liitteessä 4. Työntekijäkohtaisissa malleissa samat tekijät ovat selittäneet työajan menekkiä kuin runkokohtaistakin työaika. Työmenetelmä 1 on muilla paitsi työntekijällä 3 lyhentänyt merkittävästi kasaustyöaika. Työntekijällä 3 työmenetelmä ei ole selittänyt merkittävästi työaika. Silmävaraisesti voitiinkin huomioida, ettei työntekijä joko osannut tai

halunnut käyttää hyväksi työmenetelmän suoma etua lyhentää kasaumatkaa. Työntekijöillä 3 ja 4 on kaatoaika ollut merkittävästi pitempi työmenetelmässä 1 kuin 2. Tämän johtunee siitä, että on pyritty tarkempaan kaadon suuntaukseen. Työntekijällä 1 on menetelmän vaikutus kuitenkin ollut päinvastainen.

Työmenetelmittäisessä korrelaatioanalyyseissä yli 0,5 kerroin saatiin työajanmenekin ja faktoreiden välille seuraavissa tapauksissa:

	Työm. 1	Työm. 2	Työm. 1	Työm. 2
	Runkokohtainen työaika		Kasausaika	
— ”Työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky”-faktori	—	—	— 0,94	— 0,80
— ”Asenne”-faktori	—	—	— 0,64	— 0,77
— ”Suoriutumistarve”-faktori	— 0,54	— 0,61	—	—

Tuloksia on selitetty luvussa 35 (s. 85).

342. Sydämen sykkeeseen vaikuttavat tekijät

3421. Rullataimien leikkaus ja taimien nosto

Sydämen syketaajuutta kuvaamaan saatiin valikoivalla regressioanalyyseillä seuraavat mallit:

	R^2
$y_1 = 71,9 + 32,6x_3^{xxx} + 5,45 \log x_{14}^x - 0,02x_{14}^x$	76,1 %
$y_2 = 175,3 + 28,5x_3^x + 0,0012x_7^{2x} - 2,28 \log x_7^x$	16,5 %
$y_3 = 1025,6 + 16,7x_3^x - 239,4 \log x_7^x + 1,8x_7^x$	55,0 %
$y_4 = 453,3 + 9,5x_3^x - 75,0 \log x_{14}^{xx} + 0,2x_{14}^x$	70,0 %
$y_5 = 107,8 + 27,4x_3^{xx} - 4,0 \log x_{14}^x + 0,0008x_7^{2x}$	57,3 %
$y_A = 267,3 + 21,3x_3^{xxx} + 0,9x_{22}^{xx} - 75,9 \log x_7^x - 0,3x_{21}^x$ $- 0,004x_7^{2x} + 1,8x_7^x - 0,02x_{14}^{xx} + 2,7 \log x_{14}^x$	53,7 %

- y_i = työvaiheiden kestolla punnittu syketaajuus
 tehotyön aikana, kertaa/min
 i = työntekijän numero
 A = kaikki työntekijät
 x_3 = työmenetelmä (1=1, 2=0)
 x_7 = lämpötila, 0.1 C°
 x_{14} = aika työn aloittamisesta lukien, 1/100 t
 x_{21} = asennetestipistemäärä
 x_{22} = Åstrand-indeksi
 R^2 = selitysaste

Mallien selitysasteet ovat tyydyttäviä verrattuna siihen, mitä yleensä syketutkimuksissa on onnistuttu saamaan (esim. Vik 1971). Kaikki mukana olevat muuttujat ovat jossain analyysin vaiheessa selittäneet merkitsevästi y :n varianssia. Korrelaatioanalyysi osoittaa, että malleissa $y_1 \dots y_4$ lämpötilan ja ajan korrelaatio on ollut korkea, joten niistä vain toinen on tullut mukaan malliin, vaikka molemmat saattavat olla merkitseviä selittäjiä kunkin työntekijän osalta. Mallissa y mukana olevat selittäjät x_{21} ja x_{22} korreloivat voimakkaasti useiden psykologisten ja fysiologisten muuttujien kanssa, joten johtopäätösten teko ilman faktori-tarkastelua on erittäin vaikeaa.

Residuaalitarkastelu suoritettiin testiedellytysten voimassaolon selvittämiseksi. Virheiden jakautuma oli vain lievästi vino. Virheiden riippumattomuus oli Durbin—Watsonin-testin mukaan voimassa 5 % riskillä. Varianssien samansuuruisuus y -muuttujan arvojen suhteen näytti myös olevan voimassa.

Työntekijän ominaisuuksien vaikutuksen selvittämiseen käytettiin samoja faktoreita kuin työajanmenekinkin selvittämiseen. Käytettäessä faktoreita työntekijää kuvaavana muuttujana, saatiin valikoivassa regressioanalyysissä seuraava malli:

$$\begin{aligned}
 y_A &= 92,9 - 7,59x_3^{**} + 0,34x_{23}^{**} + 0,19x_3x_7^{***} \\
 &\quad - 0,0057x_{14} + 0,15x_{24}^{**} - 0,00024x_7^{2**}
 \end{aligned}
 \qquad R^2 \qquad 53,4 \%$$

x_{23} = "Työn raskaiden osien suorituskyky"-faktori

x_{24} = "Suoriutumistarve"-faktori

Mallin selitysaste on suunnilleen sama kuin mallin, jossa alkuperäiset testi-arvot olivat selittäjinä. Korrelaatioanalyysi osoitti seuraavia korrelaatioiden olemassaolon faktoreiden ja sykkeen perusteella laskettujen kuormittumisprosenttien

välillä (vrt. lukua 3441). Asetelmaan on merkitty vain yli 0,5 arvoiset korrelaatiokertoimet. Asetelman luvut on laskettu ilman poikkeavaa työntekijää 4.

	Rullataimen leikkaus	Taimien nosto
"Työn suunnittelukyky"-faktori	— 0,67	—
"Työn nopeatempoisten osien suorituskky"-faktori	— 0,56	—
"Työn fyysisesti raskaiden osien suorituskky"-faktori	— 0,55	—
"Suoriutumistarve"-faktori	0,86	0,70

Regressiomallissa riippuvuuksien suunta on päinvastainen faktorin 3 osalta kuin korrelaatiotarkastelussa. Ero johtuu poikkeavan työntekijän 4 vaikutuksesta. Lähemmin tuloksia on selitetty luvussa 35. (s. 85).

3422. Kuitupuun teko palstatien varteen

Kuitupuun teossa sydämen syketaajuudelle saatiin seuraavat runkokohtaista, työvaiheiden kestolle painotettua, keskiarvoa kuvaavat regressiomallit:

	R ²
$y_1 = 141,96 + 0,10x_{30}x_{31}^x + 1,96x_{33}^{xx} + 0,94x_{26}^- - 10,83 \log x_{40}^{xx} - 0,089x_{33}^{2xx} + 0,23 \frac{x_5}{x_{33}}$	31,0 %
$y_2 = 112,13 + 0,98x_{26}^+ + 0,17x_{30}^x + 0,26x_{33}^x + 0,90x_{31}^x + 0,55x_{36}^{xx}$	10,1 %
$y_3 = 130,73 - 10,96x_{26}^x + 0,21x_{30}^- - 0,82x_{33}^x + 10,24x_{31}^{xx} - 0,000051x_{32}^{2x} + 1,36x_{40}^{2x}$	3,7 %
$y_4 = 60,42 + 18,68x_{26}^x - 0,02x_{30}^+ + 2,0x_{33}^x + 1,44x_{31}^x - 3,52x_{26}^x x_{33}^x - 0,79x_{40}^{2x} + 1,15x_{38}^x + 0,013 \frac{x_5^{2x}}{x_{33}}$	12,0 %
$y_5 = -142,34 - 8,70x_{26}^x - 0,76x_{33}^x + 0,30x_{30}^x + 1,61x_{31}^x + 9,75x_{39}^x - 0,0051 \frac{x_5^2}{x_{33}} - 0,069x_{32}^{xx} - 2,86x_{26}^x x_{31}^x$	63,2 %
$y_A = 218,27 + 0,14x_{26}^- - 1,98x_{64}^{xx} + 0,17 \frac{x_5}{x_{33}} + 0,27x_{33}^x - 0,0045 \left(\frac{x_5}{x_{33}} \right)^{2x} - 3,52x_{40}^{xx} - 2,54x_{46}^{xx}$	36,6 %

Vastaavat yhtälöt kasaustyövaiheen lopussa havaituille sykearvoille ovat:

$$y_1 = 145,62 + 0,24x_{30}^{xx} + 0,40x_{33}^{xx} + 0,89x_{26} - 0,75x_{40}^{2xx} \quad 29,5 \%$$

$$y_2 = 109,18 - 3,72x_{26} + 0,72x_{30}^{xx} + 0,15x_{33} - 1,26x_{31} + 0,58x_{38}^{xx} \quad 5,8 \%$$

$$y_3 = 74,07 + 34,81x_{26}^x - 0,72x_{30}^x + 0,80x_{33}^x + 34,94x_{31}^x \\ - 18,33x_{26}^{xx}x_{31}^{xx} - 0,14x_{32}^x + 14,62 \log x_{30}^{xx} - 4,84x_{31}^{2x} \\ + 4,79 \log x_{32}^x \quad 27,8 \%$$

$$y_4 = 101,53 + 2,85x_{26} + 0,20x_{30}^x - 0,0016x_{33} + 0,88x_{31} \\ - 0,0097 \frac{x_5^{2x}}{x_{33}} \quad 6,4 \%$$

$$y_5 = - 90,40 + 11,79x_{26}^x + 15,4x_{33}^{xx} + 1,36x_{30}^{xx} + 2,74x_{31}^x \\ - 1,47x_{33}^{2xx} + 6,04x_{38}^x - 5,07x_{26}^x x_{33}^x - 0,0066 \frac{x_5^{2x}}{x_{33}} \quad 37,4 \%$$

$$y_A = 115,10 - 3,60x_{26} + 0,69x_{30}^{xx} + 0,16x_{33} - 1,20x_{31} + 0,60x_{38}^x \\ + 0,12x_{51}^x - 2,1x_{46}^x \quad 20,1 \%$$

y_i = syke, kertaa/min, i = työntekijän n:o, A = kaikki työntekijät

x_{26} = työmenetelmä (1=1, 2=0)

x_5 = siirtymisaika, cmin

x_{30} = rungon tilavuus, 1/100 m³

x_{31} = oksaisuusluokka

x_{32} = aika työpäivän alusta, 1/100 tuntia

x_{33} = siirtymismatka puulta puulle, m

x_{38} = lämpötila, C°

x_{40} = työpäivän järjestysnumero

x_{46} = epäneuroottisuus

x_{51} = Åstrand-indeksi

x_{64} = ikä, v

R^2 = selitysaste

Taulukko 7. Kasojen koot ja keskimääräiset kasausmatkat työntekijöittäin ja menetelmittään.
 Table 7. Average volume of piles and bunching distances in different working methods.

Työntekijä, n:o Worker, nr.	Kasakoko, 0,01 m ³ Volume of pile, 0,01 m ³				Polkkyjen kasausmatka, m Bunching distance, m			
	Työmenetelmä Work method 1		Työmenetelmä Work method 2		Työmenetelmä Work method 1		Työmenetelmä Work method 2	
	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s	\bar{x}	s
1	20.0	35.3	55.6	83.0	2.5	1.6	3.3	2.1
2	25.3	28.6	28.2	56.6	2.5	2.5	2.2	1.3
3	25.0	33.2	35.7	22.3	3,4	2,0	3,1	1,8
4	31.8	20.6	41.6	30.8	2,0	1,1	2,7	1,3
5	27.6	14.0	29.9	12.4	1,6	0,8	2,2	1,1
\bar{x}	25.9	26.3	38.2	41.0	2.4	1.6	2.7	1.5

\bar{x} = keskiarvo, mean

s = keskihajonta, standard deviation

Kaikki tärkeimmiksi oletetut työvaikeustekijät esiintyvät malleissa. Yhtiä poikkeusta lukuunottamatta rungon koon kasvu ja oksaisuuden lisääntyminen ovat lisänneet sykettä. Poikkeus työntekijän viisi osalta selittynee ainakin osittain rungon tilavuuden ja oksaisuuden välisen korrelaation avulla. Useimmissa malleissa esiintyy muuttujana myös joko työpäivän ajankohta tai työtahtia kuvaava siirtymisnopeus. Siirtymisnopeuden kasvu on luonnollisesti lisännyt sykettä. Samoin kuin työaikaakin kuvaavissa malleissa esiintyy myös eräissä tapauksissa työpäivän järjestysnumero osoittamassa sykkeen muutosta tutkimusjakson aikana.

Työmenetelmä ei ole vaikuttanut samanlailla kaikkien tekomiesten osalta. Työntekijöillä 1, 2 ja kasausvyöhykkeen osalta 4 ei työmenetelmä ole merkittävästi selittänyt sykkeen varianssia. Sen sijaan työntekijöiden 3 ja 5 syke on ollut työmenetelmää 1 tehtäessä alhaisempi kuin työmenetelmää 2. On mahdollista, että työntekijöiden 1, 2 ja 4 osalta syketaso on työmenetelmää 1 käytettäessä noussut kiivaamman työtahdin seurauksena, koska muissakin työvaiheissa kuin kasauksessa työmenetelmä on selittänyt työajan menekkiä merkittävästi. Erityisesti työntekijöillä 2 ja 4 myös karsinta-aika on ollut pienempi työmenetelmässä 1.

Omalta osaltaan sitä, kuinka työntekijä on osannut käyttää kasausvyöhykettä ja kasan kokovaatimuksen alenemista hyväkseen, kuvaavat kasojen keskikoot ja keskimääräiset kasausmatkat eri menetelmissä.

Havaitaan, että työntekijöillä 2 ja 3 polkkyjen kasausmatka on ollut työmenetelmää 1 tehtäessä suurempi kuin työmenetelmää 2 tehtäessä. Toisaalta heidän kohdallaan myös leimikon tiheys on ollut hieman pienempi työmenetelmää 1 tehtäessä. Tiheyttä kuvaava siirtymismatka onkin mukana regressiomalleissa. Kaikilla työntekijöillä on kasan koko pienempi käytettäessä työmenetelmää 1. Ero on t-testin mukaan tilastollisesti merkittävä työntekijöillä 1, 3 ja 4.

Näin ollen kasojen kokoja ja keskimääräisiä pölkkyjen siirtelymatkoja tarkastelemalla ei löydetä syytä siihen, miksi joillakin työntekijöillä työmenetelmä ei ole selittänyt merkitsevästi sykettä. Sen sijaan aikaisempien tutkimusten palstalle ja ajouran varteen teon ajanmenekin croon verrattuna (vrt. Kahala 1969) vyöhykkekasauksen ja ajouran varteen kasauksen välillä työn tuotoserot eri menetelmissä ovat työntekijöillä 1, 2, 4 ja 5 suuret, joten on ilmeistä, että työmenetelmää 1 on tehty nopeammalla työtahdilla. Tähän viittaa myös se, että runkokohtaiset työajat ovat olleet prosentuaalisesti lähes yhtä paljon nopeampia kuin kasausajatkin työmenetelmää 1 tehtäessä. Kiivaampi työtahti voi selittää sen, ettei sykkeessä ole eroa kaikkien työntekijöiden osalta.

Kun valikoivassa regressioanalyysissä käytettiin muuttujina faktoreita alkuperäisten testiarvojen sijasta päädyttiin malleihin:

Runkokohtainen syke:

$$Y_A = 123,74 + 0,37x_{26} - 0,69x_{62}^{**} + 0,44x_{59}^{**} + 0,14\frac{x_5}{x_{33}} + 0,26x_{33}^x - 0,0034\left(\frac{x_5}{x_{33}}\right)^{2x} - 2,79x_{40}^{**} \quad R = 33,1 \%$$

Kasausyke:

$$Y_A = 116,56 - 3,59x_{26} + 0,71x_{30}^{**} + 0,14x_{33} - 1,20x_{31} + 0,60x_{35}^x + 0,13x_{60} - 0,7x_{62} \quad 22,7 \%$$

x_{59}^{**} = "Työn nopeatempoisten osien suorituskyky"-faktori

x_{60} = "Työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky"-faktori

x_{62}^{**} = "Suoriutumistarve"-faktori

Selitysasteet ovat samaa suuruusluokkaa kuin mallien, joissa alkuperäiset testiarvot ovat muuttujina. Tuloksia on analysoitu tarkemmin luvussa 35. (s. 115).

Regressiomallien selitysasteet vaihtelevat verraten paljon, ja muutamaa poikkeusta lukuunottamatta selitysasteet ovat alhaisia. Residuaalitarkastelu osoitti, että testiedellytykset ovat voimassa.

Yli 0,5:n korrelaatiokertoimet työntekijän keskimääräisen kuormittumisprosentin ja eri faktoreiden välillä on esitetty seuraavassa asetelmassa.

	Runkokoht. k-%		K-% kasauksessa	
	Työmen. 1	Työmen. 2	Työmen. 1	Työmen. 2
"Työn suunnittelukyky"-faktori	0,99	0,83	—	—
"Työn nopeatempoisten osien suorituskyky"-faktorit	—	0,71	—	—
"Työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky"-faktori	—	—	0,89	0,73
"Asenne"-faktori	—	—	—	0,54
"Suoriutumistarve"-faktori	—0,69	—0,69	—0,65	—0,72
(Työtaito	—	—	—0,76	—0,64)

Voimakas, mutta alkuperäisen hypoteesin kanssa vastakkaismerkkinen korrelaatio vallitsee faktorin 1 ja runkokohtaisen kuormittumisen välillä. Eli työn suunnittelukyvyyn, jossa tekijöinä ovat älykkyys, avaruudellinen kuvittelukyky ja havainnon valppaus, paraneminen on lisännyt kuormittumista. Koska vastaavaa negatiivista korrelaatiota työajan menekin suhteen ei ole havaittu, ei ilmiötä voida selittää kiivaammalla työtahdillakaan, joten voidaan vain todeta, ettei alkuperäinen hypoteesi saa tukea. Sama voidaan todeta faktorin 2 ja kuormittumisen välisestä korrelaatiosta. Sen sijaan "asenne"-faktorin ja kuormittumisen positiivinen korrelaatio voidaan selittää kiivaamman työtahdin aiheuttamaksi.

Hyvä fyysinen suorituskyky näyttää nostaneen kuormittumista. Sen sijaan suoriutumistarpeen kasvu on sitä alentanut, samoin subjektiivisesti arvioitu työtaito kasaustyövaiheessa. Tarkemmin tuloksia on analysoitu luvussa 35 (s. 85).

343. Suhteellinen työaika ja siihen vaikuttavat tekijät

3431. Rullataimien leikkaus ja taimien nosto

Taulukossa 8 on esitetty rullataimien leikkauksen ja männyn taimien noston keskimääräiset ja suhteelliset työajan menekit sekä regressiomuuttujien suhteen tasoitetuista keskiarvoista lasketut suhteelliset työajan menekit rulla- ja nippukoh- taisina tehoaikoina.

Keskiarvojen suhteellinen varianssi on tässä aineistossa pienempää kuin esim. V ö r y (1954) raportoi puutavaran hakkuusta. Arvosteltaessa tuloksia variaatio- kertoimella todetaan, että tehotyöaikojen keskiarvot ovat hajonneet vähemmän kuin suhteellinen työaika. Taimien noston osalta ero on tilastollisesti merkitsevä.

Keskiarvojen tasoitus regressiomuuttujilla on lisännyt suhteellista hajontaa molemmissa tapauksissa ja taimien noston kohdalla ero on 10 % riskillä tilastol- lisesti merkitsevä. Regressiomuuttujien suhteen tasoitetut suhteelliset työajat ovat hajonneet vähemmän kuin regressiomuuttujien suhteen tasoitetut tehotyöajat molemmissa työmuodoissa, mutta suurempikin ero, suhteellisen työajan ja rulla- taimien leikkauksen työajan välinen, on merkitsevä vasta 25 % riskillä.

Taulukko 8. Tehotyöajan menekit sekä suhteelliset työajat rullataimien leikkauksessa ja männyn taimien nostossa.

Table 8. Effective and relative working times in nursery work.

Työntekijä, no Worker, no.	Tehotyöaika, cmin Effective working time, cmin		Suhteellinen työaika Relative working time		Regr. muuttujien suhteen tasoitettut tehotyöajat Effective working time, adjusted in relation to regression variables		Regr. muuttujien suhteen tasoitettut suhteelliset työajat Relative working time, adjusted in relation to regression variables	
	Rullien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedlings	Rullien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedlings	Rullien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedlings	Rullien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedlings
	1	70	117	100	167	65	127	100
2	110	117	100	106	80	117	100	146
3	72	119	100	165	103	149	100	145
4	78	140	100	180	79	105	100	133
5	112	118	100	105	53	95	100	179
\bar{x}	88.4	122.2	100	144.6	76.0	118.6	100	159.6
SD	20.8	10.1	—	36.2	18.7	20.9	—	26.1
CV	23.5	8.3	—	25.0	24.6	17.6	—	16.3
DI								

\bar{x} = Keskiarvo, Mean

SD = Keskihajonta, Standard deviation

CV = Variaatiokerroin, Coefficient of variation

DI = Merkitsevät erot on merkitty hakasilla (riski 0,05)¹⁾. Significant differences (risk 0,05).

¹⁾ Erojen merkittävyys on testattu kaavalla $F = (CV_1)^2 / (CV_2)^2$ (vrt. Mäkinen 1974). Testaus on yhdensuuntainen eli onko $CV_1 > CV_2$.

Vertailevan aikatuokkimuksen perinteellinen tulkinta ei saa tukaa tästä aineistosta. Kuitenkin käytettäessä regressiomuuttujia keskiarvojen tasoitukseen näyttäisi suhteellisten työaikojen käyttö pienentävän suhteellista hajontaa, vaikka tätä hypoteesia ei ole voitu tilastollisesti hyväksyä. Toisaalta kuitenkin on huomattava vapausasteiden pieni lukumäärä, joka tekee testistä "varovaisen". Regressiotasoituksen käyttö työmenetelmiä verrattaessa on perusteltu lähtökohta, koska ei ole tarkoituksenmukaista suorittaa työajan menekivertailua erilaisista olosuhteista kerätystä aineistosta yrittämättä muuntaa tuloksia samalla työvaikeustasolle. Kaikki työntekijäkohtaiset työaikojen erot ovat saman suuntaisia, joten siinä suhteessa vertailevan työntutkimuksen periaate näyttää relevantilta.

Suhteellisten työaikojen eroja pyrittiin selittämään samoilla faktoreilla kuin tehotyöaikojakin. Taulukossa 9 on esitetty keskiarvojen ja regressioyhtälöiden perusteella laskettujen suhteellisten tehotyöaikojen ja faktoreiden väliset korrelaatiot.

Parhaiten suhteellista työajan eroa on selittänyt "asenne"-faktori. Regressiomuuttujien suhteen tasoitettujen työaikojen eron ja faktoreiden 2 ja 3 välillä on

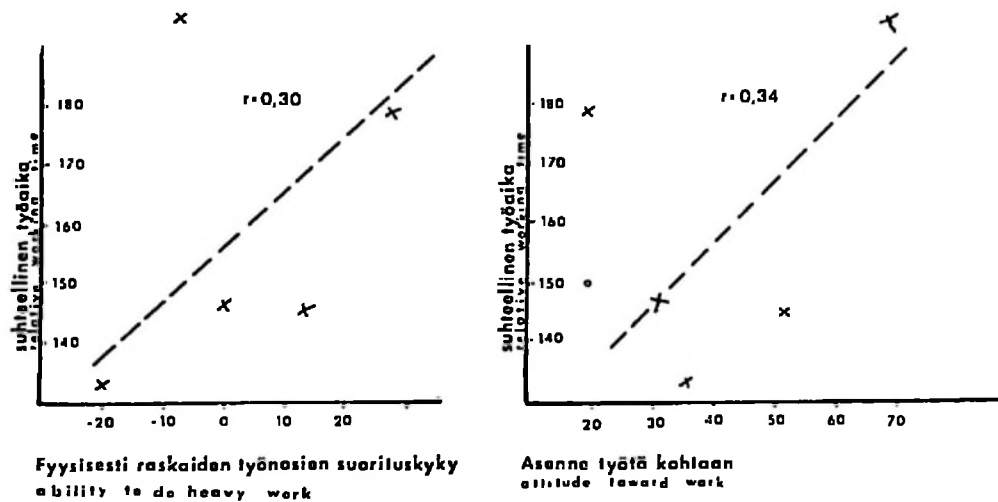
Taulukko 9. Suhteellisten tehotyöaikojen ja koehenkilöitä kuvaavien faktoreiden väliset korrelaatiokertoimet taimitarhatyössä.

Table 9. Correlations between relative working times and factors describing workers in nursery work.

Suhteellinen tehotyöaika Relative working time	Faktori, no Factor, no.				
	1	2	3	4	5
Keskiarvojen perusteella Calculated by means	-0.16	-0.22	-0.64	0.67	0.58
Regressiomuuttujien suhteen tasoitettuna Adjusted in relation to regression variables ..	0.07	0.27	0.30	0.34	-0.09

myös lievä riippuvuus, mutta mitkään korrelaatiokertoimet eivät osoittaudu merkitseväksi edes 10 % riskitasolla.¹⁾

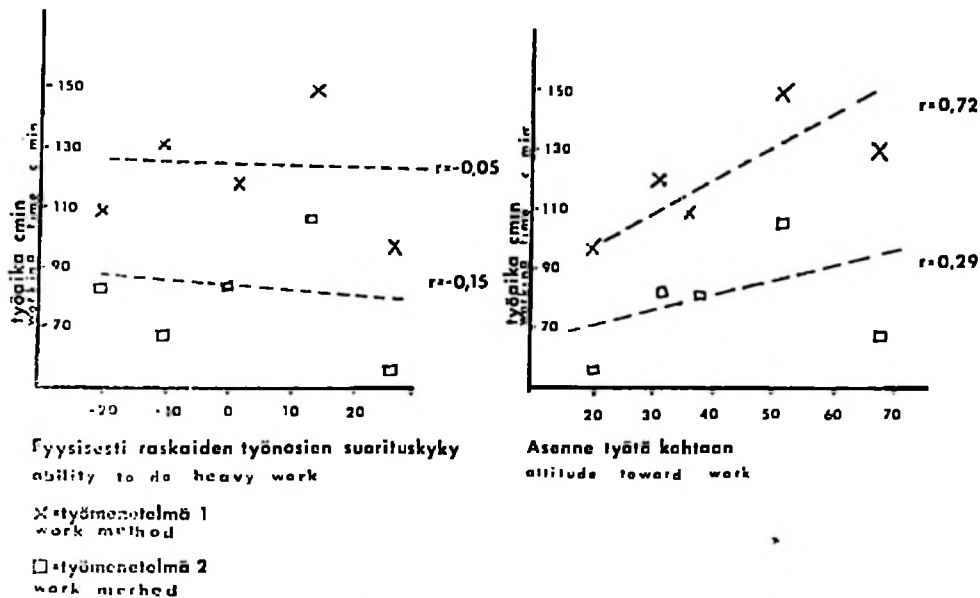
Kuvassa 6 on esitetty regressiomuuttujien suhteen tasoitettujen työaikojen eron ja faktoreiden 3 ja 4 väliset riippuvuudet. Työmenetelmien työajanmenekien suhteellinen ero näyttää kasvaneen sekä fyysisen suorituskyvyn että positiivisten asenteiden vahvistuessa. Kuvasta 7 voidaan todeta, ettei fyysinen suorituskyky näytä olevan selvästi riippuvuussuhteessa työajan menekin kanssa kummassakaan työmenetelmässä. Sen sijaan "asenne"-faktori näyttää selittävän työajan menekkiä paremmin. Korrelaatiokerroin "asenne"-faktoriin ja taimien noston työajan menekin välillä on verraten vahva 0,72 ja poikkeaa n. 15 % riskillä nol-



Kuva 6. Suhteellisen tehotyöajan ja eräiden työntekijää kuvaavien faktoreiden väliset riippuvuudet taimitarhatyössä.

Figure 6. Correlations between relative productive working time and some factors illustrating the worker, nursery work.

¹⁾ Merkitsevyyttä testattiin kaavalla $t = |r| \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$



Kuva 7. Tehotyöajan ja eräiden työntekijää kuvaavien tekijöiden väliset riippuvuudet taimitarhutyössä.

Figure 7. Correlations between productive working time and some factors illustrating the worker, nursery work.

lasta. Toisin sanoen työtä kohtaan koettu asenne on vaikuttanut fyysisesti kevyemmän työmenetelmän kyseessä ollen siten, että positiivisen asenteen voimistuessa työn tuotos on pienentynyt. Sen sijaan fyysisesti raskaamman työmenetelmän eli rullataimien leikkauksen työajan menekkiin asenne-faktorilla ei ole ollut yhtä selvää vaikutusta.

Vastaavasti "suoriutumistarve"-faktorin ja työajan menekin välillä on negatiivinen korrelaatio taimien nostossa, mutta rullataimien leikkauksessa ei ole selvää korrelaatiota em. muuttujien välillä.

3432. Kuitupuun teko palstatien varteen

Taulukkoon 10 on koottu keskimääräiset ja suhteelliset työajan menekit sekä regressiomuuttujien suhteen tasoitettujen keskiarvot ja niistä lasketut suhteelliset työajan menekit menetelmiä 1 ja 2 käytettäessä.

Keskiarvojen suhteellinen varianssi on ollut suunnilleen samaa luokkaa kuin taimitarhutyössä eli selvästi alle Vöryn (1954) käsisaha-aikakaudelta raportoiden variaatiokertoimien. Sen sijaan Samstein ym. (1969) julkaisusta voidaan laskea vain n. 13 % variaatiokertoimia. Tehotyöaikojen keskiarvojen ja suhteellisen työajan hajontojen välillä ei ole samansuuntaista eroavuutta tai tilastollisesti merkitseviä eroja. Myöskään siitä, lisääkö tai vähentääkö regressiotasoitus suhteellista hajontaa, ei tulosten valossa voida tehdä johtopäätöksiä.

Taulukko 10. Tehotyöajan menekit sekä suhteelliset työajat runkokohtaisina ja kasaustyövaiheen osalta työmenetelmiä 1 ja 2 käytettäessä kuitupuun teossa.
Table 10. Effective and relative working times in making pulpwood.

Työntekijän no Worker, no.	Runkokohtaiset työajat, <i>Per-stem</i> working times							
	Tehotyöaika, cmin Effective working time, cmin		Suhteellinen tehotyöaika Relative working time		Regr. muuttujien suhteen tasoitetut tehotyöajat, cmin Effective working time, adjusted in relation to regression variables		Regr. muuttujien suhteen tasoitetut suhteelliset työajat Relative working time, adjusted in relation to regression variables	
	Työmen. Work method 1 — x	Työmen. Work method 2 — x	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2
1	220	293	100	133	268	305	100	114
2	176	185	100	105	189	202	100	107
3	242	250	100	103	307	316	100	103
4	220	227	100	103	157	175	100	111
5	171	304	100	178	337	373	100	111
\bar{x}	206	252	100	124	252	274	100	109
SD	30.8	48.7	—	32.5	76.6	82.9	—	4.2
CV	15.0	19.3	—	26.2	30.4	30.3	—	3.9
DI								

Kasauksen työajat — *Working times in bunching*

1	45	70	100	156	59	74	100	125
2	41	43	100	105	38	41	100	108
3	79	84	100	106	87	86	100	99
4	71	72	100	101	70	76	100	109
5	50	77	100	154	71	77	100	108
\bar{x}	57	69	100	124	65	71	100	110
SD	16.7	15.6	—	28.0	18.1	17.2	—	9.4
CV	29.5	22.6	—	22.6	27.8	24.2	—	8.5
DI								

\bar{x} = Keskiarvo, *Mean*

SD = Keskihajonta, *Standard deviation*

CV = Variaatiokerroin, *Coefficient of variation*

DI = Merkitsevät erot merkitty hakasilla (riski 0,05), *Significant differences (risk 0,05)*

Taulukko 11. Suhteellisten regressiomuuttujien suhteen tasoitettujen tehotyöaikojen ja koehenkilöitä kuvaavien faktoreiden väliset korrelaatiotoimet kuitupuun teossa.
Table 11. Correlations between relative, regression adjusted working times and factors describing workers in making pulpwood.

Suhteellinen tehotyöaika Relative working time	Faktori, no Factor, no.				
	1	2	3	4	5
Runkokohtainen — <i>Per-stem</i>	—0.11	—0.84*	0.55	—0.33	—0.41
Kasaustyövaiheen — <i>In bunching</i>	0.38	—0.59	0.63	—0.17	—0.69

* Poikkeaa merkitsevästi nolasta 10 %, riskillä — *Significant correlation (risk 0,10)*

Sen sijaan regressiomuuttujilla tasoitetuista keskiarvoista lasketut suhteelliset työajat ovat hajonneet 5 % riskillä merkitsevästi vähemmän kuin itse regressiomuuttujien suhteen tasoitetut työmenetelmittäiset keskiarvot. Näin ollen vertailevan aikatutkimuksen periaate saa siltä osin tukea, että työvaikeustekijöiden suhteen samalle tasolle tasoitettujen suhteellisten työaikojen käyttö tutkimustuloksina pienentää suhteellista hajontaa verrattuna siihen, että käytetään menetelmäkohtaisia työaikoja. Saman suuntainen, mutta tilastollisesti ei-merkitsevä tulos saatiin myös taimitarhatyössä. Kuitenkaan vertailevan aikatutkimuksen jyrkempi tulkinta, jonka mukaan suhteelliset työajat eivät työntekijöittäin tai pienien työntekijäryhmien keskiarvoina eroaisi toisistaan käytännöllisesti katsoen ollenkaan, ei saa tukea tästä aineistosta. Suurimmillaan ero kahden työntekijän välillä on 13 %.

On luonnollista, että vasta kun molempien työmenetelmien osalta tulokset "tasoitetaan" samalle työvaikeustasolle, menetelmien vertailu on oikeutettua. Täten se, ettei vertailevan aikatutkimuksen periaate toteutunut miltään osin pelkkiä aritmeettisiä keskiarvoja vertailemalla, on selitettävissä sillä, että työntekijöittäin menetelmien väliset työvaikeuserot ovat vaihdelleet.

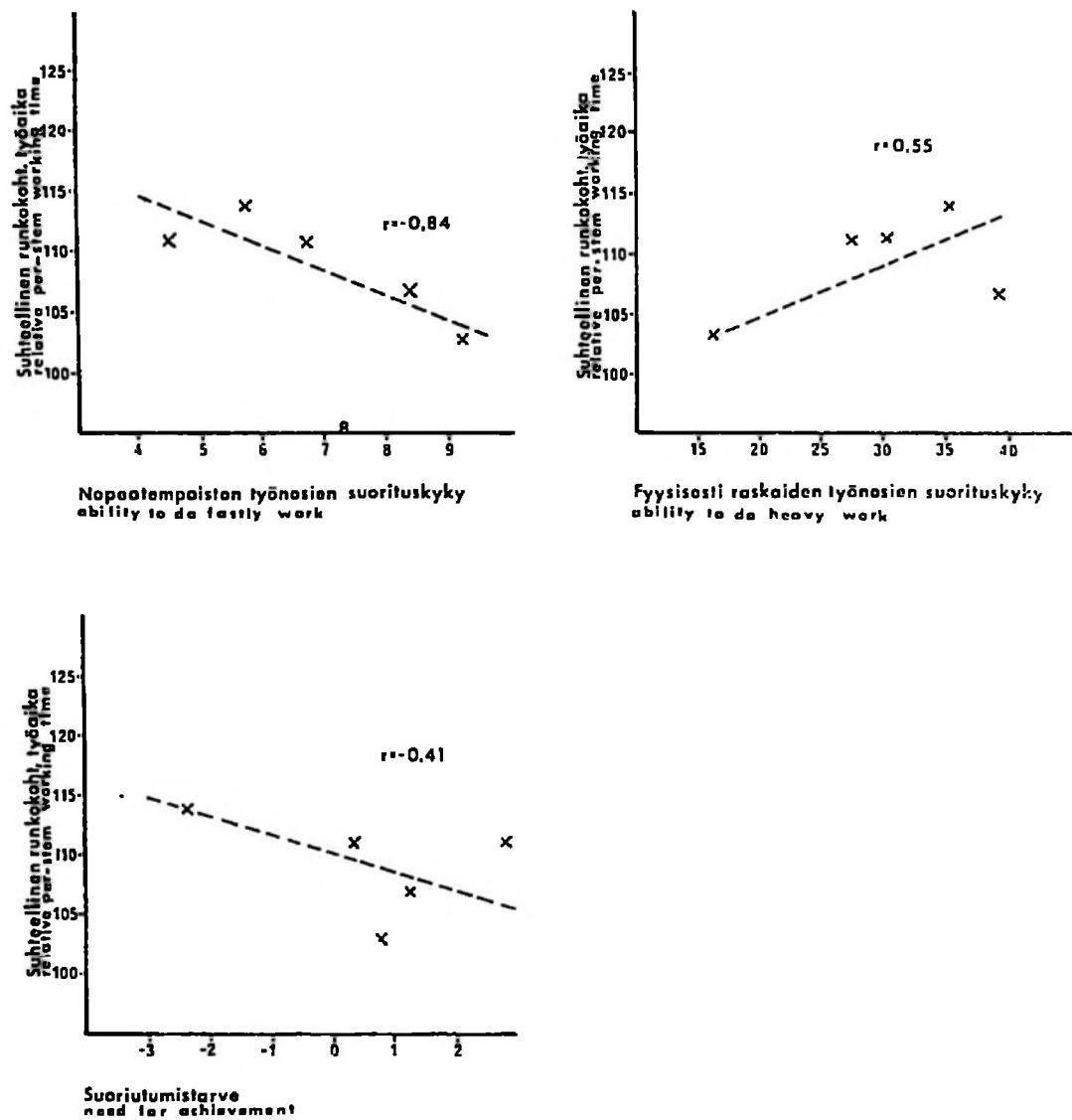
Suhteellisten työaikojen ja tehotyöaikojen analysoinnin yhteydessä esitettyjen faktoreiden korrelaatiot ilmenevät oheisesta taulukosta 11.

Faktorit näyttävät selittävän suhteellista työaikaa vähän paremmin kuin taimitarhatyössä. Kuitenkin pienistä vapausasteiden lukumääristä johtuen vain "työn nopeatempoisten osien suorituskky"-faktori korreloi 10 % riskillä merkitsevästi suhteellisen runkokohtaisen työajan kanssa. Tämän faktorin lisäksi vähän heikompi, mutta molempien suhteellisten työaikojen suhteen samansuuntainen, riippuvuus näyttää olevan faktoreilla: "fyysisesti raskaiden työn osien suorituskky" ja "suoriutumistarve".

Kuvassa 8 on havainnollistettu suhteellisten työaikojen ja faktoreiden välisiä riippuvuuksia. Kun samanaikaisesti tarkastellaan työmenetelmittäisten työaikojen ja faktoreiden välisiä riippuvuuksia, voidaan havaita faktorin 2 vaikuttaneen ennen kaikkea muuhun kuin kasaustyöhön. Korrelaatiot kasaustyöajan menekin kanssa ovat erittäin heikot. Kuvasta 9 voidaan havaita, että faktori 2:n arvon lisäys näyttää lisäävän työajan menekkiä suunnilleen yhtä paljon kummassakin menetelmässä, mutta korrelaatiot ovat verraten heikkoja. Täten mitä suuremmaksi työajat muodostuvat sitä pienemmäksi muuttuu niiden suhteellinen ero. "Työn nopeatempoisten osien suorituskky"-faktori on siis korreloinut negatiivisesti työn tuotokseen muussa kuin kasaustyövaiheissa, josta suhteellisten työajan erojen korrelaatiokin sen kanssa johtuu.

Koska työaikojen ja faktorin 2 väliset korrelaatiot ovat heikkoja ja alkuperäisen hypoteesin suhteen vastakkaismerkkisiä, on kyseenalaista voidaanko näin pienen vapausastemäärän kyseessä ollen pitää suhteellisenkaan työajan ja faktorin 2 välistä korrelaatiota relevanttina.

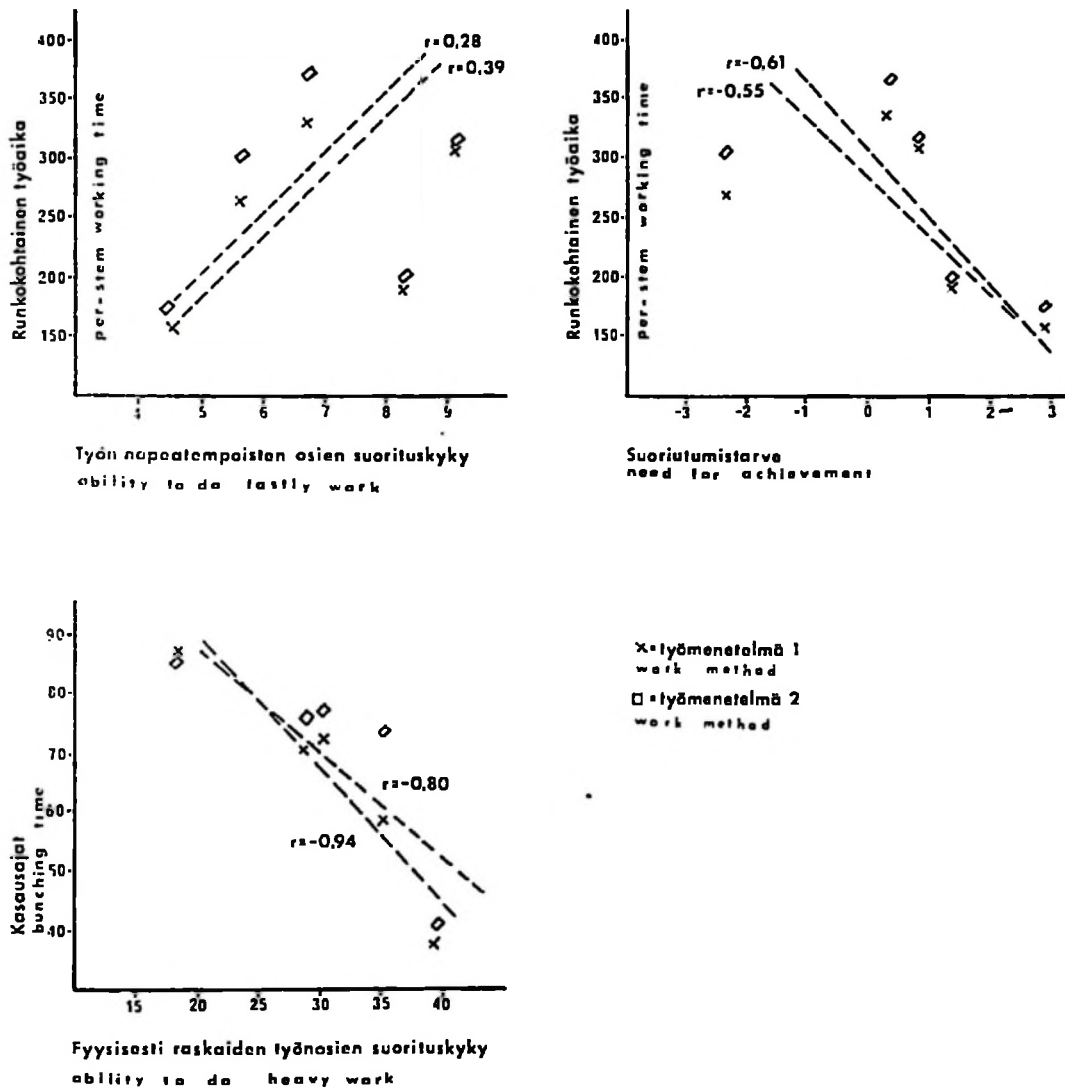
Kasausaikojen ja faktorin 3 väliset korrelaatiot ovat verraten vahvat ja regressio näyttää jyrkemältä nopeammassa työmenetelmässä 1, mikä selittää sen, että



Kuva 8. Suhteellisten teho-työaikojen ja eräiden työntekijää kuvaavien faktoroiden väliset riippuvuudet kuitupuun teossa.

Figure 8. Correlations between relative productive working times and some factors illustrating the worker, cutting of pulpwood.

työaikojen kasvaessa ja fyysisen suorituskyvyn aletessa työaikojen suhteellinen ero pienenee. Suoritusmäärän ja työajan korrelaatio on saman suuntainen kuin edellä kuvattukin, mutta regressio on jyrkempi raskaamman työmenetelmän 2 kanssa, mikä selittää positiivisen korrelaation.



Kuva 9. Tehotyöaikojen ja eräiden työntekijää kuvaavien faktoreiden väliset riippuvuudet kuitupuun teossa.

Figure 9. Correlations between productive working time and some factors illustrating the worker, cutting of pulpwood.

344. Suhteellinen syke ja kuormittuminen sekä niihin vaikuttavat tekijät

3441. Rullataimien leikkaus ja taimien nosto

Taulukossa 12 on esitetty rullataimien leikkauksessa ja männyn taimien nostossa havaitut keskimääräiset ja suhteelliset sydämen syketaajuudet sekä regressio-muuttujien suhteen tasoitettut sykkeet sekä niistä lasketut suhteelliset sykkeet.

Taulukko 12. Sydämen syketaajuudet sekä suhteelliset sykearvot rullataimien leikkauksessa ja männyn taimien nostossa.

Table 12. Pulse rates and relative pulse rates in nursery work.

Työn tekijä, no Worker, n.	Syke/min Pulse rate		Suhteellinen syke Relative pulse rate		Regr. muuttujien suhteen tasoitetut sykkeet Pulse rate, adjusted in relation to regression variables		Regr. muuttujien suhteen tasoitetut suhteelliset sykkeet Relative, regression adjusted pulse rate	
	Rulla- taimien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedling	Rulla- taimien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedling	Rulla- taimien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedling	Rulla- taimien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedling
	\bar{x}	\bar{x}						
1	122	97	100	80	129	97	100	75
2	114	99	100	87	109	80	100	74
3	130	100	100	77	103	87	100	84
4	98	97	100	99	94	84	100	90
5	123	105	100	85	126	98	100	78
\bar{x}	117.4	99.6	100	85.6	112.0	89.2	100	80.2
SD	12.2	3.3	—	8.5	15.0	8.0	—	6.7
CV	10.4	3.3	—	9.9	13.3	8.9	—	8.3
DI								

\bar{x} = Keskiarvo, Mean

SD = Keskiarvo, Standard deviation

CV = Variaatiokerroin, Coefficient of variation

DI = 5 % riskillä merkitsevät erot on merkitty hakasilla, Significant differences (risk 0.05)

Kevyemmässä työssä eli männyn taimien nostossa sykekeskiarvojen hajonta on ollut huomattavasti vähäisempää kuin rullataimien leikkauksessa, joskaan ero ei regressiotasoinnituksen jälkeen ole enää merkitsevä kuin 25 % riskillä. Puutavaran teossa sykkeen suhteelliset hajonnat ovat Loonin ym. (1971) mukaan olleet 9 % luokkaa, ja Samsetin ym. (1969) julkaisusta voidaan laskea 6...10 % suhteellisia hajontoja, joihin nähden tässä saadut hajonnat ovat samaa suuruusluokkaa. Variaatiokertoimella arvosteltuna suhteellisen sykkeen hajonta on merkitsevästi suurempi kuin taimien nostossa havaittu. Rullataimien leikkauksen suhteen ero on päinvastainen, mutta ei tilastollisesti merkitsevä. Regressiotasointus on lisännyt suhteellista hajontaa. Regressiomuuttujien suhteen tasoitetuista keskiarvoista laskettu suhteellinen syke on hajonnut vähemmän kuin työmenetelmäkohdittaiset tasoitetut keskiarvot. Kuitenkin suurempikin ero on merkitsevä vasta 25 % riskillä, mutta testituloksia arvosteltaessa on jälleen muistettava vapausasteiden pieni lukumäärä.

Vertailevan työntutkimuksen periaate on täten saanut tukea vain siltä osin, että työmenetelmien väliset syke-erot ovat samansuuntaisia ja regressiotasoinnituksen jälkeen suhteellisen sykkeen varianssi on vähän pienempi kuin työmenetelmäkohdittaisen sykekeskiarvojen.

Taulukko 13. Regressiionmuuttujien suhteen tasoitettuja sykekeskiarvoja vastaavat kuormittumisprosentit rullataimien leikkauksessa ja männyn taimien nostossa.

Table 13. Work strain procents corresponding regression adjusted pulse rates.

Työntekijä, no Worker, n _i	Kuormittumis-% Work strain percent		Suhteellinen kuormittumis-% Relative work strain percent	
	Rullataimien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedling	Rullataimien leikkaus Cutting of rolls	Taimien nosto Lifting of seedling
1	50	15	100	30
2	38	14	100	37
3	25	12	100	48
4	12	2	100	17
5	38	16	100	42
\bar{x}	23.6	11.8	100	34.8
SD	14.5	5.7	—	11.9
CV	44.5	48.3	—	34.2
DI				

 \bar{x} = Keskiarvo, Mean

SD = Keskihajonta, Standard deviation

CV = Varianstokerroin, Coefficient of variation

DI = 5 % riskillä merkitsevät erot merkitty hakasilla, Significant differences (risk 0.05)

Työntekijöittäin määritettiin submaksimaalisella pyöraergometritestillä sykekeskiarvoja vastaavat kuormittumisprosentit, jotka saatiin työsykkeen ja leposykkeeseen erotuksen suhteena laboratoriossa mitatun maksimi- ja leposykkeeseen. Tämän tunnuksen käyttökelpoisuus on seurausta siitä, että raskassa ruumiillisessa työssä hapenkulutus on yleensä lineaarisessa riippuvuussuhteessa sykkeen kanssa (esim. S a m s e t ym. 1969).

Taulukosta 13 voidaan todeta, että kuormittumisprosentti on hajonnut suhteellisesti enemmän kuin sykekeskiarvot. Saman suuntainen tulos voidaan havaita myös S a m s e t i n (1969) ja L o o n i n ym. (1971) julkaisuista. Näistä ensin mainitun mukaan voidaan laskea hapenkulutusprosentin variaatiokertoimeksi arvoja 13 . . . 21 % ja jälkimmäisessä energian kulutuksen sisäisen hajonnan on todettu nousevan yli 20 %. Tässä aineistossa variaatio oli vielä suurempaa, johon on voinut vaikuttaa submaksimaalisen testin epätarkkuus (vrt. esim. P a r t a n e n ym. 1969). Kaiken kaikkiaan raskaanpää työtä eli rullataimien leikkausta on osittain tehty sellaisella kuormittumistasolla, joka lienee ylikuormittumistasolla tai lähellä tuota rajaa ja samalla myös työn miellyttävyyssrajan tuntumassa (vrt. A n d e r s e n ym. 1970).

Suhteellinen kuormittumisprosentin hajonta oli pienempi kuin menetelmäkohtaisten prosenttien, mutta suurempikin ero on vain 25 % riskillä merkitsevä. Vertailevan työntutkimuksen periaate saa tässäkin tapauksessa tukea vain erojen samansuuntaisuuden osalta, ja vain hypoteettisesti voidaan olettaa suhteellisten arvojen varianssi keskiarvojen varianssia pienemmäksi.

Suhteellisen sykkeen ja kuormittumisprosentin sekä työntekijöitä kuvaavien faktoreiden väliset korrelaatiot on esitetty seuraavassa taulukossa.

Taulukko 14. Suhteellisten regressiomuuttujilla tasoitettujen sykekeskiarvojen ja kuormittumisprosenttien korrelaatiot työntekijää kuvaavien faktoreiden kanssa taimitarhatyössä.

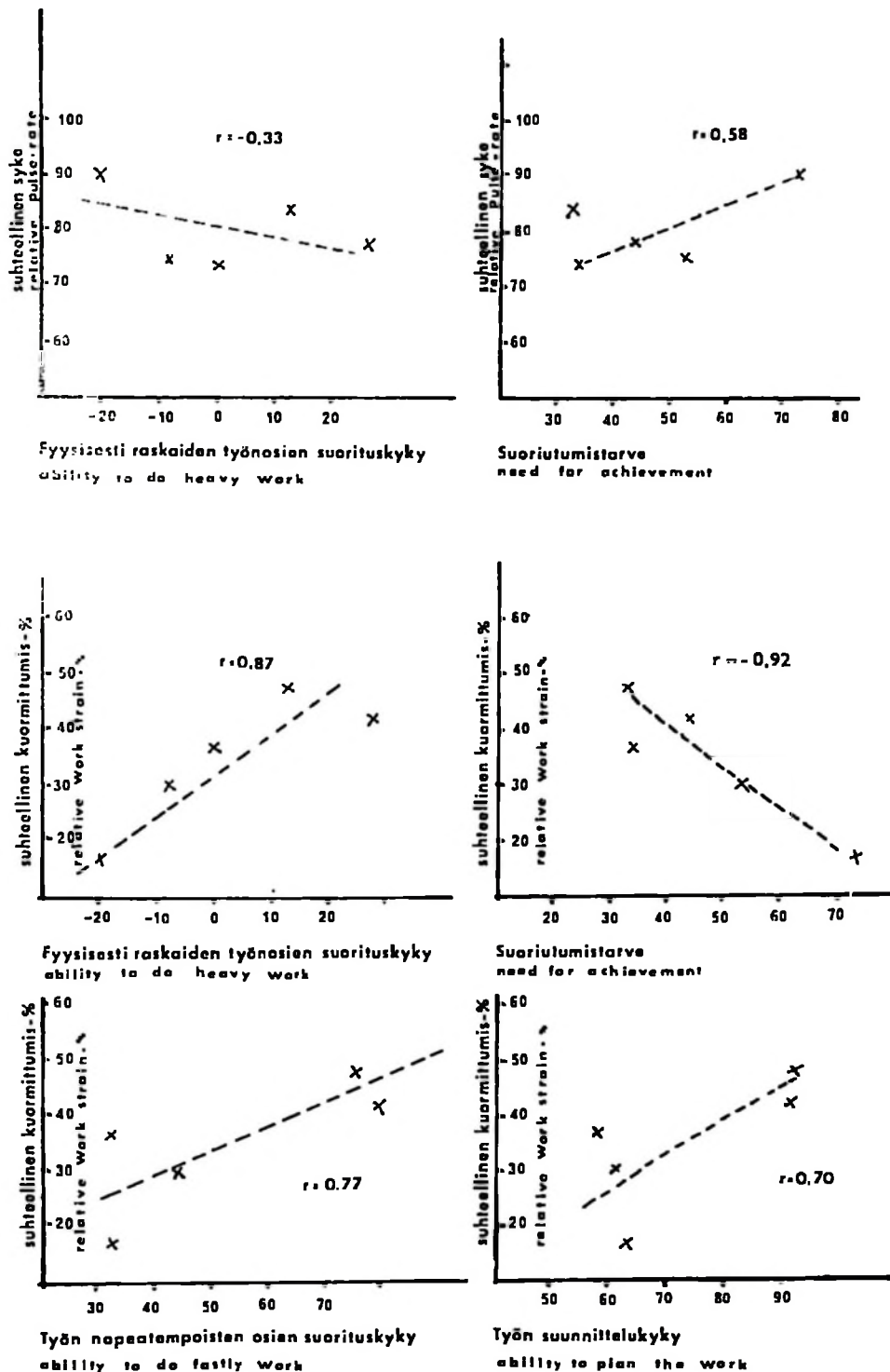
Table 14. Correlation between relative pulse rates, relative work strain proccents and factors describing workers in nursery work.

	Faktori, no, Factor, n.				
	1	2	3	4	5
Syke — Pulse rate	0,18	0,01	-0,33	-0,10	0,58
Kuormittumis-% — Work strain procent ..	0,70	0,77	0,87*	-0,07	-0,92*

* Merkitsevästi nolasta poikkeavia 5 % riskillä
Significant correlations (risk 0,05)

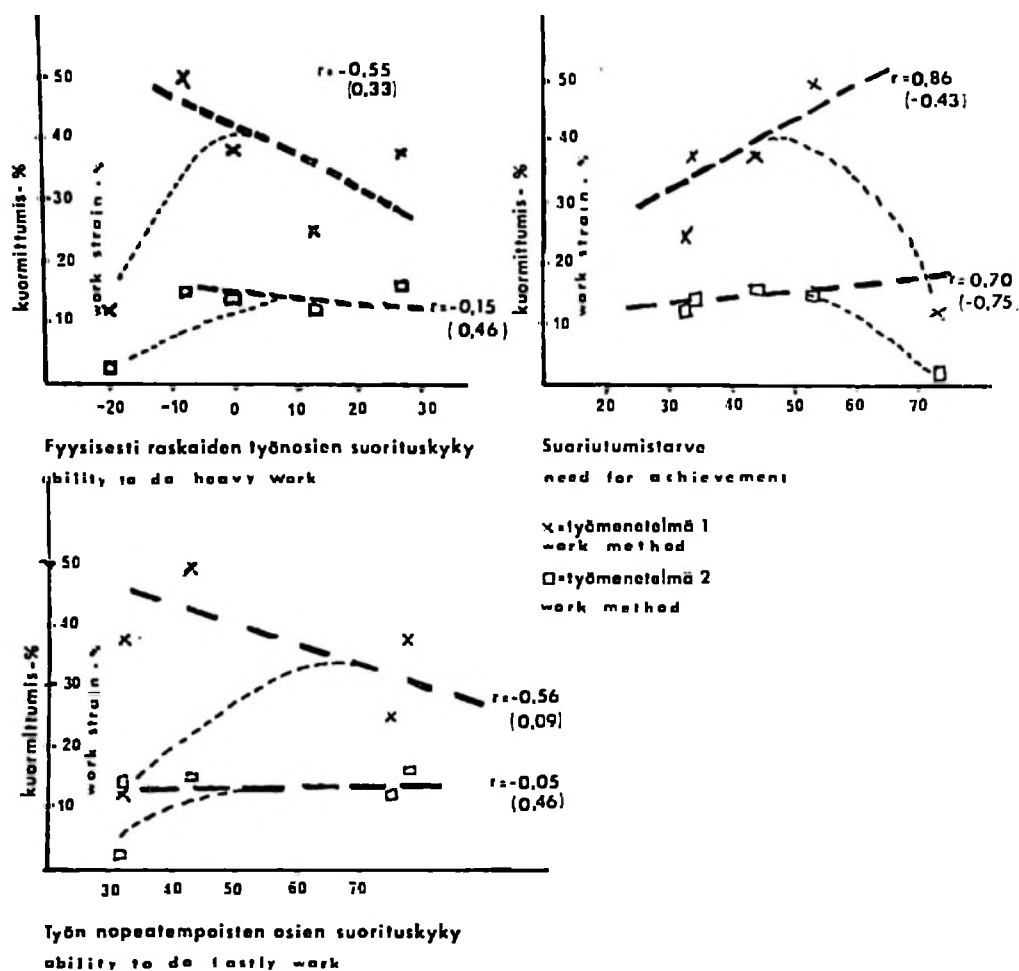
Sykekeskiarvojen suhteellisiin arvoihin näyttävät vaikuttaneen ”suoriutumistarve”- ja ”fyysisesti raskaiden työn osien suorituskyky”-faktorit. Korrelaatiot ovat kuitenkin verraten heikkoja ja kuormittumisprosentin vastaaviin korrelaatioihin nähden vastakkaismerkkisiä. Sen sijaan kuormittumisprosentin ja vastaavien faktoreiden korrelaatiot ovat tilastollisesti merkitseviä, ja myös faktoreiden 1 ja 2 osalta on saatu verraten suuri korrelaatiokerroin. Kuormittumisprosenttia pidetäänkin yleisesti sykettä parempana elimistön fysiologisen tilan selittäjänä (vrt. Lundgren 1969).

Kuvassa 10 on esitetty suhteellisten sykearvojen ja faktoreiden 3 ja 5 väliset riippuvuudet, joista voidaan todeta verraten heikot regressiot. Kuvasta 10 nähdään myös kuormittumisprosentin ja faktoreiden 1...3 ja 5 väliset riippuvuudet, joista erikoisesti faktorit 3 ja 5 näyttävät selittävän suhteellista kuormittumista voimakkaan regression välityksellä. Kuvassa 11 on havainnollistettu kuormittumisprosentin riippuvuutta faktoreista 2, 3 ja 4. Havaitaan, että työntekijän 4 arvot poikkeavat tasollisesti huomattavasti muista ja pienen vapausaste määrän vuoksi yksi poikkeava havainto muuttaa täysin regression ja huonontaa korrelaatiota (luvut suluissa). Jos poikkeava havainto jätetään ottamatta huomioon näyttää suorituskyvyn ja psykomotooristen kykyjen kasvaessa kuormittuminen alenevan raskaamman työmenetelmän kyseessä ollen. Sen sijaan suoriutumistarpeen voimistuessa näyttää työntekijä kuormittavan itsenään enemmän. Kevyemmän työmenetelmän yhteydessä eivät faktorit näytä yhtä hyvin selittävän kuormittumista.



Kuva 10. Suhteellisten sykearvojen ja kuormittumisprosenttien sekä eräiden työntekijää kuvaavien faktoreiden väliset riippuvuudet taimitarhatyössä.

Figure 10. Correlations between relative pulse-rate values and strain percentages and some factors illustrating the worker, nursery work.



Kuva 11. Kuormittumisprosentin ja eräiden työntekijää kuvaavien faktoreiden väliset riippuvuudet taimitarhatyössä.

Figure 11. Correlations between the strain percentage and some factors illustrating the worker, nursery work.

3442. Kuitupuun teko palsttien varteen

Syketaajuuksien keskiarvot ja suhteelliset arvot sekä regressiomuuttujien suhteen tasoitettujen keskiarvot ja niistä lasketut suhteelliset arvot on esitetty taulukossa 15 työntekijöittäin ja työmenetelmittäin.

Sykkeen suhteelliset hajonnat ovat tässä aineistossa samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmissakin tutkimuksissa (vrt. Samset ym. 1969, Loon ym. 1971). Suhteellisten sykearvojen hajonta on merkittävästi pienempää kuin työmenetelmäkohtaisten keskiarvojen. Sama suunta on havaittavissa myös regressiotasoituksen jälkeen, joskin ero on merkittävä vasta 10 % riskitasolla. Saman suuntainen, mutta tilastollisesti ei-merkittävä tulos saatiin myös taimitarhatyöstä regressiotasoituksen jälkeen.

Taulukko 15. Sydämen syketaajuudet sekä suhteelliset sykearvot työmenetelmittäin kuitupuun teossa.

Table 15. Pulse rates and relative pulse rates in making pulpwood.

Työntekijä, no Worker, no.	Runkokohtaiset painotetut sykkeet, <i>Weighted, per-stem pulse rate</i>							
	Syke/min Pulse rate		Suhteellinen syke Relative pulse rate		Regr. muuttujien suhteen tasoitettut sykkeet Pulse rate, adjusted in relation to regression variables		Regr. muuttujien suhteen tasoitettut suhteelliset sykkeet Relative, regression adjusted pulse rate	
	Työmen. Work method 1 \bar{x}	Työmen. Work method 2 \bar{x}	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2
1	145	142	100	98	150	149	100	99
2	123	122	100	99	133	132	100	99
3	146	151	100	103	146	157	100	108
4	109	106	100	97	107	106	100	99
5	124	128	100	103	122	138	100	113
\bar{x}	129	130	100	100	132	136	100	104
SD	15.9	17.5	—	2.8	17.6	19.6	—	6.5
CV	12.3	13.5	—	2.8	13.3	14.4	—	6.3
DI								
	Kasaussykkeet — <i>Pulse rates in bunching</i>							
1	144	143	100	99	150	149	100	99
2	128	127	100	99	129	133	100	103
3	147	152	100	103	114	125	100	110
4	106	105	100	99	107	104	100	97
5	132	132	100	100	133	147	100	111
\bar{x}	131	132	100	100	126	132	100	104
SD	16.3	17.9	—	1.7	16.9	18.4	—	6.3
CV	12.4	13.6	—	1.7	13.4	13.9	—	6.1
DI								

\bar{x} Keskiarvo, *Mean*

SD = Keskihajonta, *Standard deviation*

CV = Varianttiokerroin, *Coefficient of variation*

DI = 5 % riskillä merkitsevät erot on merkitty hakasilla
Significant differences (risk 0,05)

Vertailevan työntutkimuksen periaate näyttää saavan tukea siinä muodossa, että kahden fyysisesti raskaan työmenetelmän vertailussa suhteellisten sykearvojen käyttö pienentää suhteellista varianssia työntekijöiden välillä työmenetelmäkohdaisiin keskiarvoihin verrattuna. Tässä aineistossa eivät kuitenkaan kaikki työntekijittäiset erot ole saman suuntaisia. Tilastollista päättelyä käyttäen erot menetelmittäisten kasaussykkeiden välillä ovat kahdessa tapauksessa tilastollisesti merkitseviä (samansuuntaisesti), mutta kolmessa tapauksessa tilastollisesti merkitsevää eroa ei ole havaittu.

Kuormittumisprosentit työmenetelmittäin laskettiin edellisessä luvussa esitetyllä tavalla ja ne on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Regressiomuuttujien suhteen tasoitettuja sykekeskiarvoja vastaavat kuormittumisprosentit kuitupuun teossa.

Table 16. Work strain procents corresponding regression adjusted pulse rates in making pulpwood.

Työntekijä, no Worker, no.	Runkokohtainen Per-stem procents				Kasaustyövaiheen Procents in bunching			
	Kuormittumis-% Work strain percent		Suhteellinen k-% Relative work strain percent		Kuormittumis-% Work strain percent		Suhteellinen k-% Relative work strain percent	
	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2	Työmen. Work method 1	Työmen. Work method 2
1	66	65	100	98	66	65	100	98
2	59	58	100	98	56	59	100	105
3	59	69	100	117	30	40	100	133
4	40	39	100	98	40	37	100	93
5	43	56	100	130	52	63	100	121
\bar{x}	53	57	100	108	49	53	100	110
SD	11.3	11.5	—	14.7	14.0	13.3	—	16.6
CV	21.3	20.2	—	13.6	28.6	25.1	—	15.1
DI								

\bar{x} = Keskiarvo, Mean

SD = Keskihajonta, Standard deviation

CV = Variaatiokerroin, Coefficient of variation

DI = 5 % riskillä merkitsevät erot merkitty hakasilla
Significant differences (risk 0,05)

Taulukko 17. Suhteellisten regressiomuuttujilla tasoitettujen sykekeskiarvojen ja kuormittumisprosenttien korrelaatiot työntekijää kuvaavien faktoreiden kanssa kuitupuun teossa.

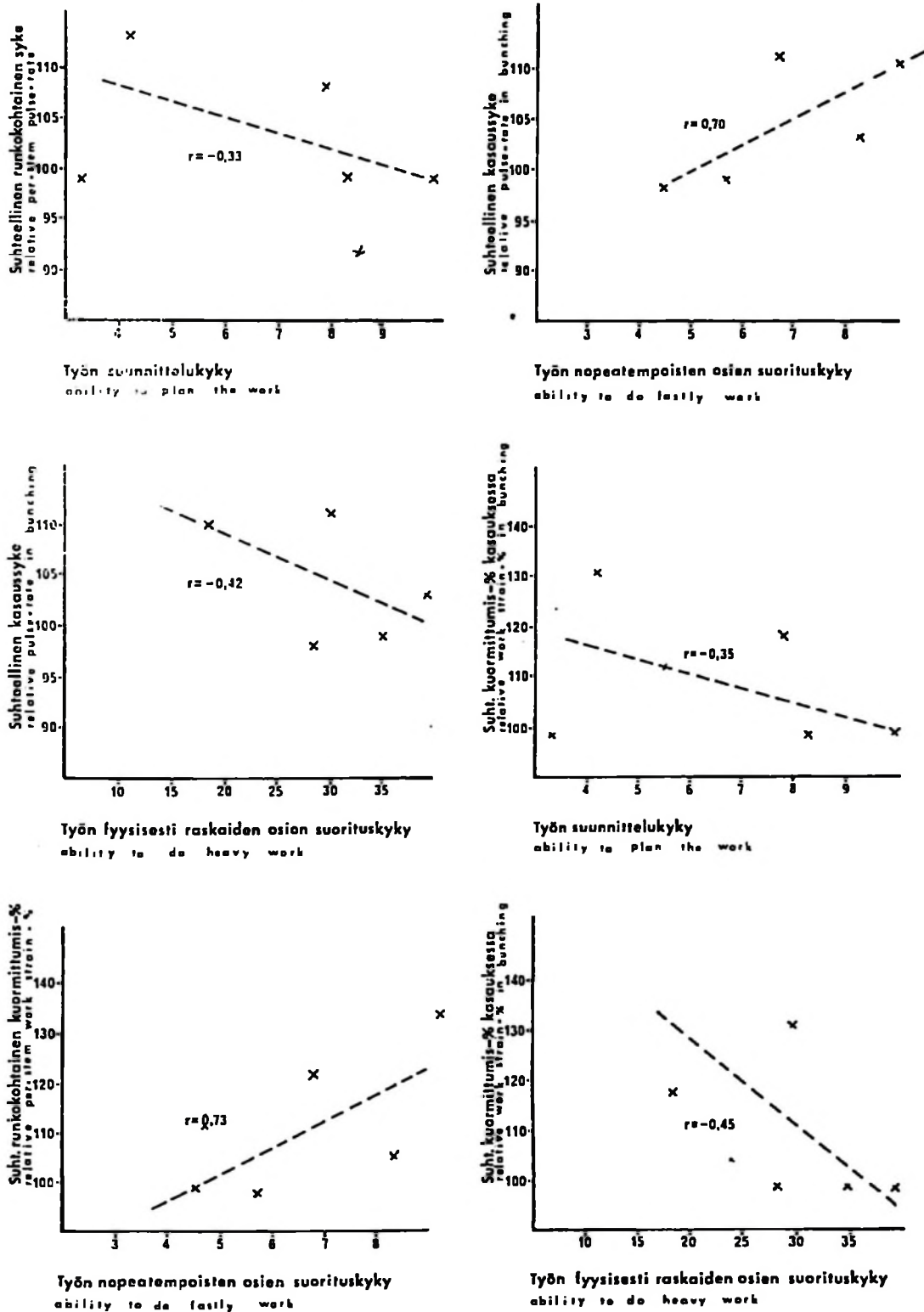
Table 17. Correlations between relative pulse rates, relative work strain procents and factors describing workers in making pulpwood.

	Faktori, no, Factor, no.				
	1	2	3	4	5
Syke: runkokohtainen — Pulse rate: Per stem	—0.33	0.36	—0.48	0.09	—0.03
kasaustyövaiheen — In bunching	—0.06	0.70	—0.42	0.38	—0.05
Kuormittumis-% — Work strain percent					
runkokohtainen — Per stem	—0.35	0.33	—0.45	0.09	—0.04
kasaustyövaiheen — In bunching	—0.03	0.73	—0.70	0.16	0.05

Kuten taimitarhatyössäkin kuormittumisprosentin suhteellinen hajonta on suurempi kuin sykearvojen. Variaatiokerroimet ovat samaa suuruusluokkaa kuin Samsetin ym. (1969) ja Loonin ym. (1971) tutkimuksissa.

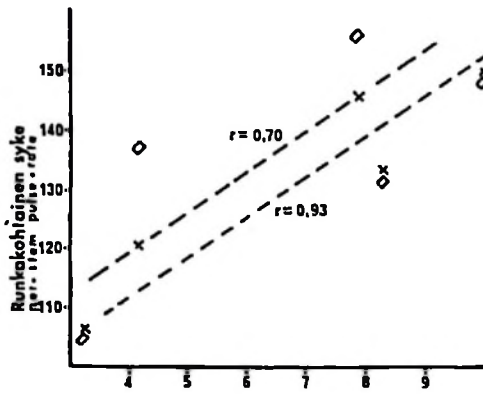
Suhteellinen kuormittumisprosentti on hajonnut suhteellisesti vähemmän kuin menetelmäkohtaiset kuormittumisprosentit, mutta erot ovat vain 10...25 % riskillä merkitseviä. Erojen samansuuntaisuuteen pätevät samat huomiot kuin sykearvoihin.

Suhteellisten sykearvojen ja kuormittumisprosenttien sekä työntekijää kuvaavien faktoreiden väliset korrelaatiot on esitetty taulukossa 17.

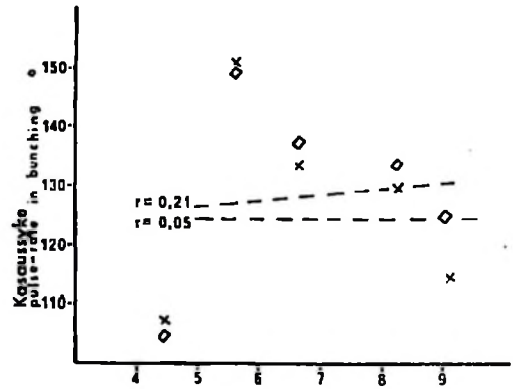


Kuva 12. Suhteellisten sykearvojen ja kuormittumisprosenttien sekä eräiden työntekijää kuvaavien tekijöiden väliset riippuvuudet kuitupuun teossa.

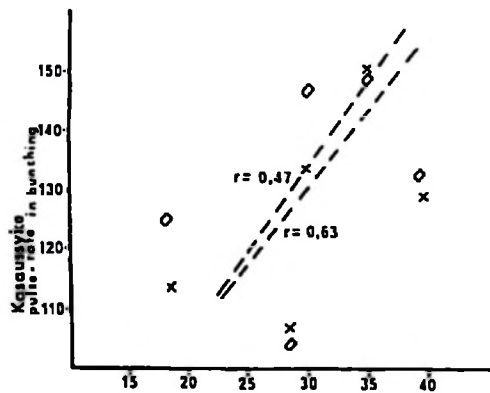
Figure 12. Correlations between relative pulse-rate values and strain percentages and some factors illustrating the worker, cutting of pulpwood.



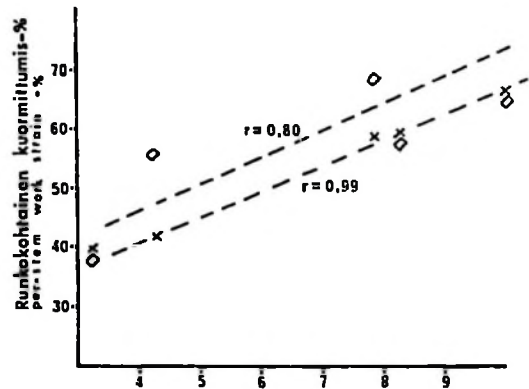
Työn suunnittelukyky
ability to plan the work



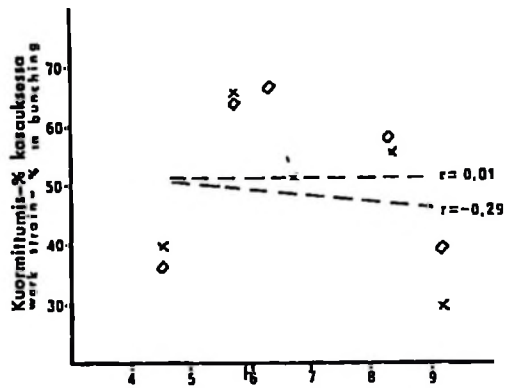
Työn nopeatempoisten osien suorituskyky
ability to do fastly work



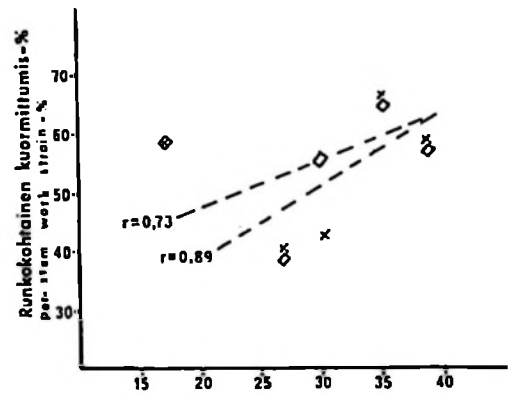
Työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky
ability to do heavy work



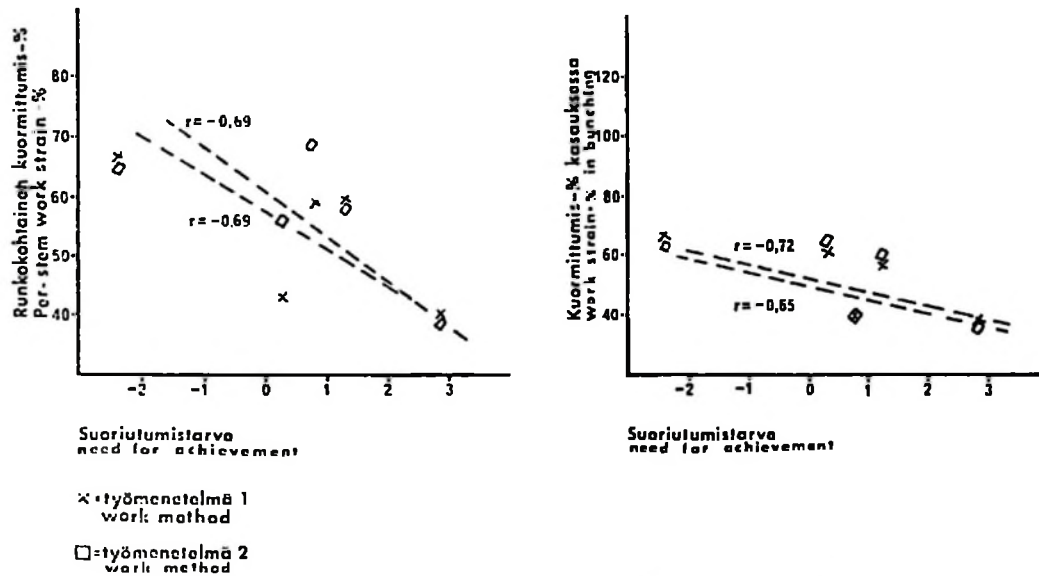
Työn suunnittelukyky
ability to plan the work



Työn nopeatempoisten osien suorituskyky
ability to do fastly work



Työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky
ability to do heavy work



Kuva 13. Sykearvojen ja kuormittumisprosenttien sekä eräiden työntekijää kuvaavien faktoreiden väliset riippuvuudet kuitupuun teossa.

Figure 13. Correlations between pulse-rate values and strain percentages and some factors illustrating the worker, cutting of pulpwood.

Suhteellisten sykearvojen ja faktoreiden väliset korrelaatiot ovat jääneet verraten heikoiksi. Voimakkain korrelaatio on "työn nopeampien osien suorituskyvyn" ja suhteellisen kasaussykkeen välillä. Samaa voidaan sanoa kuormittumisprosentin ja faktoreiden välisistä korrelaatioista. Voimakkaimmin näyttävät korreloivan faktorit 2 ja 3 kasaustyövaiheen suhteellisen kuormittavuuden kanssa. Taimitarhutyöstä poikkeavasti suoriutumistarve ei ole korreloinut suhteellisen kuormittumisen kanssa. Toisaalta suhteellinen työaika korreloi verraten vahvasti suoriutumistarpeen kanssa.

Vaikka "työn suunnittelukyky" ei ole kovin selvästi korreloinut suhteellisen sykkeen ja kuormittumisen kanssa, ovat korrelaatiot varsin vahvoja kuormittumisen kanssa. Varsinkin työmenetelmässä 1 kuormittuminen on merkittävästi noussut faktorin 1 arvojen kasvaessa. Kun molemmissa menetelmissä regressio näyttää samansuuntaiselta, selittää se suhteellisen kuormittumisen negatiivisen korrelaation (kuva 12 ja 13). Regressiot ovat kuitenkin alkuperäisten hypoteesien suhteen vastakkaismerkkisiä eli kuormittuminen on lisääntynyt työn suunnittelukykyyn parantuessa.

Vaikka suhteellinen kasaussyke näyttää korreloivan selvästi faktorin 2 kanssa, eivät kasaussykkeet ja kasaustyövaiheen kuormittuminen korreloi yhtä selvästi. Suunta on kuitenkin ollut se, että työmenetelmässä 1 korrelaatio on ollut lievästi negatiivinen. Tämä voitaisiin selittää hypoteettisesti sillä, että uudessa työmenetelmässä vaaditaan nopeaa huomiokykyä työn helpottamismahdollisuuksien tajua-miseksi, kun taas tavanomaista työmenetelmää tehdään rutiininomaisesti.

Faktori 3 korreloi positiivisesti sykearvoihin ja kuormittumiseen. Näyttää vielä siltä, että kuormittumisen kasvu on ollut voimakkaampaa työmenetelmässä 1 fyysisen suorituskyvyn lisääntyessä. Tämä selittää suhteellisen kuormittumisen ja faktorin 3 negatiivisen korrelaation. Paremman fyysisen suorituskyvyn omanneet työntekijät ovat kuormittaneet itseään enemmän. Tämän suuntaisia tuloksia on saatu aikaisemminkin (Levanto 1970). Kuvasta 9 voidaan havaita, että fyysisen suorituskyvyn kasvaessa kasaustyöajat pienenevät jyrkemmin työmenetelmässä 1 kuin 2, joten näyttäisi siltä, että työn helpottumista on kompensoitu työtahtia kiristämällä.

Vaikka suoriutumistarve ei ole selittänyt hyvin suhteellista kuormittumista, korreloi se negatiivisesti kuormittumisarvojen kanssa. Regressio on jyrkempi työmenetelmässä 2, joten suhteelliset arvot pysyvät suunnilleen samalla tasolla faktorien arvon muuttuessa. Koska suoriutumistarve vähentää myös työajan menekkiä runkokohtaisen työajan osalta, mutta ei kasaustajan osalta, on ilmeistä, että korkea suoriutumistarve on lisännyt työn tuotosta muiden työvaiheiden kuin kasauksen osalta. Sen sijaan kasaustyövaiheeseen suoriutumistarve ei näytä vaikuttaneen. On mahdollista, että kuormittumisen lasku on seurausta siitä, että paremman suoriutumistarpeen omanneet työntekijät ovat suunnitelleet työnsä huolellisemmin ja siten välttäneet kuormittumista.

345. Sykkeen vaihtelu työpäivän aikana kuitupun teossa

Regressioanalyseissa työpäivän ajankohta on tullut merkitseväksi selittäjäksi malleihin vain kahdella työntekijällä. Se on näissäkin tapauksissa selittänyt vain 2...7 % sykkeen varianssista. On kuitenkin mahdollista, että sykkeen vaihtelu työpäivän mittaan ei niinkään ole ajan kuin tehdyn työmäärän funktio, koska tietyt fysiologiset ilmiöt kuten verenkierron adaptaatio lienevät seurausta fyysisen kuormituksen suuruudesta (vrt. Vuori 1968). Lisäksi syke voi olla työmäärän tai/ja ajan monimutkainen funktio, joka ei ole yksinkertaisella muunnoksella palautettavissa lineaarisiksi. Tämän vuoksi sykettä pyrittiin selittämään työntekijän fysiologisen tilan huomioonottavalla mallilla.

Sykkeen frekvenssiin tiedetään vaikuttavan mm. tehdyn lihasenergiaa vaativan työn määrän, mutta myös elimistön sopeutumisen työn aiheuttamaan rasitukseen. Yleensä raskaassa työssä sykintänopeus muuttuu suoraviivaisesti suhteessa rasituksen lisääntymiseen, mutta lähes maksimaalisessa työssä syke nousee suhteellisesti hitaammin. Rasituksen alkuvaiheessa sykefrekvenssi on nouseva, kunnes muutamien minuutin rasituksen jälkeen saavutetaan ns. stedy-state tila. Useita tunteja kestävässä työssä sydämen minuuttivolyymi pysyy vakiona tai nousee hapenkulutuksen pysyessä samana tai noustessa. Iskuvolyymi tällöin laskee, mutta sen kompensoi sykkeen kohoaminen. Täten syke yleensä nousee rasituksen kestäessä (esim. Ekelund 1967). Nousun voi aiheuttaa myös lämpöhäihdunnan tarve. Toisaalta

syke voi pitkäkestoisen rasituksen seurauksena laskeakin, kuten on todettu yli 90 km hiihdossa. Tämä ilmiö on selitetty verenkierron tehokkaan adaptaation seuraukseksi (Vuori 1968). Myös väsymyksen on todettu vaikuttavan sykkeeseen (Taylor ym. 1957). Lundgren (1946) on havainnut metsätyöntekijäin sykearvojen pyöraergometritestissä nouseen suhteessa kuormitukseen työpäivän jälkeen työpäivän alkuun verrattuna. Hän toteaa sykkeen riippuvan tehdyn työn määrästä. Åstrand (1960) on todennut 8-tuntisen pyöraergometrikokeen 50 % hapenkulutustasolla aiheuttavan sykkeen ja hapenkulutuksen nousun, joka on selitetty ylikuormittumisen aiheuttamaksi hyötysuhteen alenemiseksi. Vastaavan ilmiön ovat Michael ym. (1961) todenneet kävely- ja pyöraergometrikokeissa. Kahdella koehenkilöllä on syke alle 40 % hapenkulutustasolla ollut aluksi vakaa tai laskeva. Kävelykokkeessa syke kääntyi nousevaksi 1...2 tunnin ja pyöraergometrikokeessa 4 tunnin jälkeen. Suuremmilla rasituksilla syke on ollut nouseva lyhyitä laskevia jaksoja lukuunottamatta.

Sykkeen kuvaamista varten tarvitaan siis jokin muuttuja, joka kuvaa elimistön fysiologista tilaa työpäivän aikana. Tässä oletetaan, että tehty työmäärä kuvaa sitä fyysisesti raskaassa työssä. Jos kehityksen etenemistä merkitään kirjaimella M ja työmäärää kirjaimella X , voidaan fysiologinen tila s ajan hetkellä t määrittää seuraavasti:

$$(1) s(t) = \int_0^t M(X(t))dt$$

Raskaassa työssä elimistön toimintaa kuvaa hyvin energian kulutus E , joten voidaan merkitä $M = E$. Energian kulutus taas ilmaistaan työmäärän funktiona. Sykemalli voidaan muotoilla seuraavaksi:

Olkoon t_j hetki, jolloin j :n puun teko alkaa ja e_j kyseisen puun teon kumulatiivinen energian kulutus. Tällöin

$$(2) e_j = \int_{t_j}^{t_{j+1}} E(X(t))dt$$

Muuttuja e_j on j :n puun käsittelyn vaatiman työmäärän yleistys. Fysiologinen kehitystila j :n puun teon alussa olkoon s_j (määrätty yhtälön 1 avulla) ja g_j syke ko. puun teon lopussa. Kun oletetaan, että syke riippuu puun teon alusta olleesta fysiologisesta kehitystilasta (s_j) sekä myös kumulatiivisesta energian kulutuksesta (e_j) puun teon aikana, niin

$$(3) g_j = g(s_j, e_j)$$

Vastaavan yhtälön operationaaliseksi saattamisen ja ratkaisun iterointimenetelyllä kasvifysiologisissa ongelmissa ovat esittäneet Hari ym. (1970). Yhtälö tulee operationaaliseksi, kun oletetaan, että g on $e:n$ lineaarinen funktio.

$$(4) \quad g(s, c) = f(s) \cdot a \cdot c$$

Yhtälössä (2) esiintyvä aikaa kuvaava parametri t_j on periaatteessa eripituisen jokaisen puun j kohdalla. Näin ollen mallissa oletetaan, että työmäärä vaikuttaa aina samalla tavoin fysiologiseen tilaan riippumatta siitä kuinka nopeasti työ tehdään. Ilmeisesti yhtälöä (3) paremmin todellisuutta kuvaa yhtälö

$$(5) \quad g_i = g(s_i, c_i, h_i),$$

jossa h_i kuvaa puunteossa käytettyä työtahtia, ja s_i on s_i^1

$$(6) \quad s_i^1(t) = \int_0^t E(X(t), H(t)) dt$$

Yhtälö (5) voitaisiin esittää myös muodossa, joka on paremmin operationaalinen

$$(7) \quad g(s_i^1, c_i, h_i) = f(s) \cdot (a_1 c + a_2 h)$$

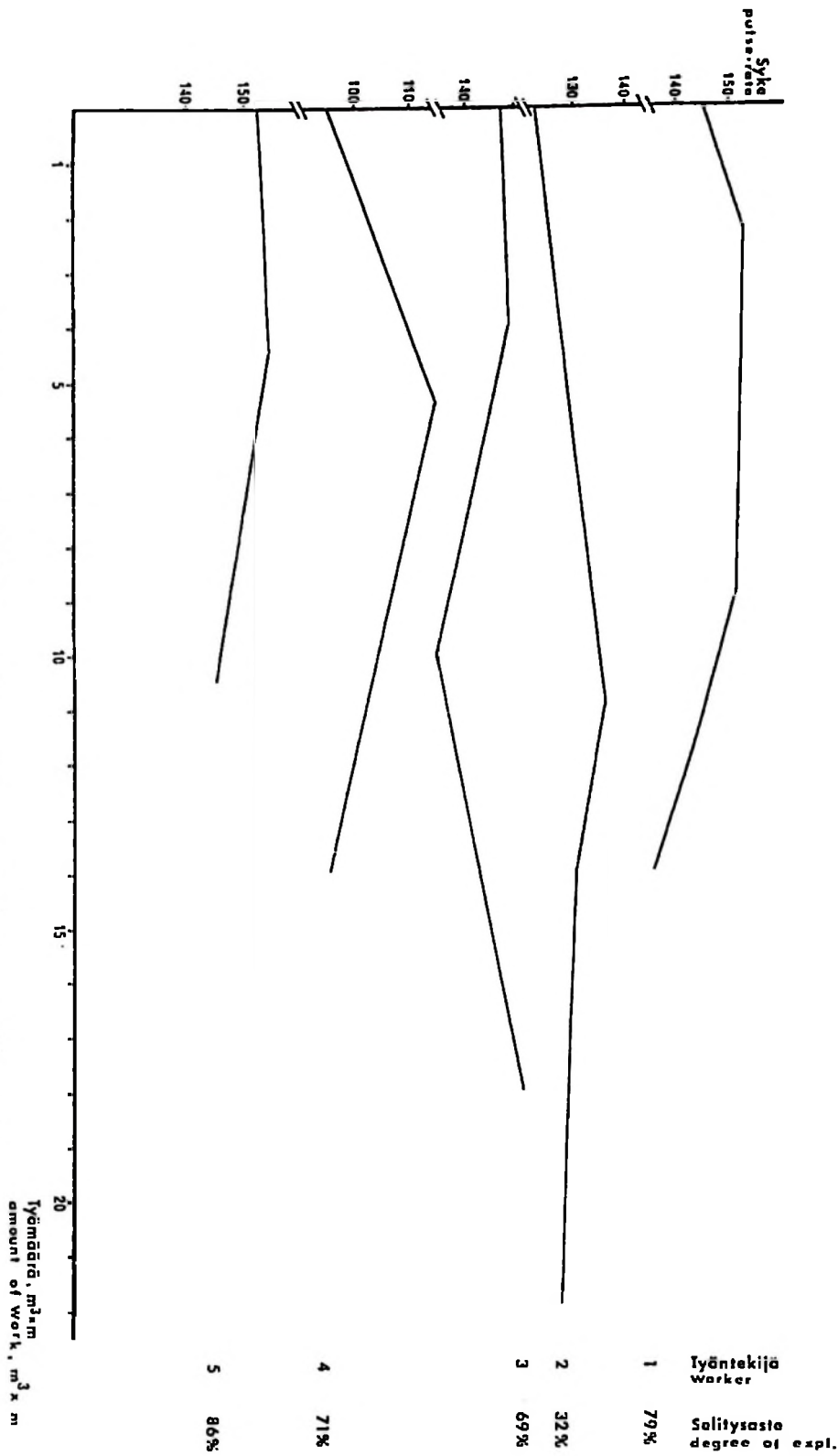
Funktio on monimutkainen $s:n$ funktio, mutta oletetaan sen jakaantuvan kolmeen lineaariseen osaan. Vakiot a_1 ja a_2 määräävät sykkeen puukohtaisen tason. Puutavaran teossa energian kulutuksen ja tehdyn työmäärän suhde regressioyhtälöiden mukaan on lineaarinen.

Eksaktimman laskentamallin puuttuessa ongelmaa lähestyttiin määrittämällä sykekäyrän käännepisteet graafisesti, ja kullekin lineaariseksi oletetulle osalle laskettiin funktion

$$(8) \quad g = a_0 + a_1 s + a_2 x + a_3 h$$

paramentit pienimmän neliösumman menetelmällä. Tämän jälkeen määritettiin selitysaste alkuperäisten sykearvojen ja kunkin lineaarisen osan laskennallisten arvojen perusteella. Lopuksi iteroitiin parasta käännepisteiden paikkaa siirtymällä 1 havainto kumpaankin suuntaan erikseen jokaisesta käännepisteestä ja suorittamalla em. laskutoimitukset, jos selitysaste nousi jatkettiin samaan suuntaan kunnes selitysaste ei enää noussut.

Mallin avulla lasketut tulokset on esitetty kuvassa 14. Siitä näkyvät myös selitysasteet (38...86%), joita voidaan pitää sekä aikaisempien tutkimusten (esim. Samset ym. 1969, Harstela ym. 1971), että tämän tutkimuksen luvussa 342 (s. 54) esitettyihin regressiomalleihin nähden korkeina. Yleensä



Kuva 14. Sykkeen ja työpäivän aikana tehdyn työmäärän riippuvuus kuitupuun teossa.
 Figure 14. Correlation between pulse rate and the amount of work done during a working day, cutting of pulpwood.

regressiomalleilla on puutavaran teossa havaittujen sykearvojen varianssista pystytty selittämään alle 50 % ja usein alle 10 %. Näin ollen mallia voidaan pitää verraten onnistuneena.

Kun tarkastellaan työntekijöiden sykearvojen kehittymistä e:n ja h:n mukaan tasoitettuna, havaitaan työpäivän alussa olleen sykkeen nousevan jakson, joka on kestänyt n. 0,5...3 tuntia. Tämä jakso voi olla viilcässä ilmastossa seurausta sydämen iskuvolyymien pienenemiseen johtavista prosesseista (vrt. Ekelund 1967). Sen jälkeen on seurannut laskeva jakso, joka voitane selittää verenkierron tehokkaan adaptaation seuraukseksi (vrt. Vuori 1968). Tämän jakson jälkeen yhdellä työntekijällä on seurannut verraten jyrkkä nouseva jakso, yhdellä työntekijällä lähes vakaa jakso ja kolmella työntekijällä työpäivä on päättynt laskevaan jaksoon.

Työpäivän aikana tehty työmäärä poikkeaa eri työntekijöillä huomattavasti. Koska kuutiomäärän ja kasaumatkan suhde ei yksin kuvaa työmäärää, korjattiin työmäärää oksaisuusluokan avulla. Jos keskimääräinen oksaisuusluokka oli 2 annettiin työmäärän pysyä samana, mutta oksaisuuden nousu 3:teen luokkaan lisäsi työmäärää 30 % (vrt. Työvaihetaksa 1974).

Sykekäyrän muoto ilmeisesti riippuu useista työntekijän ominaisuuksista esim. fyysisestä suorituskvyyvstä ja kuormitustasosta, jolla työtä tehdään. Mitään selviä riippuvuuksia tutkimuksessa mitattujen työntekijän ominaisuuksien ja käyrien muodon välillä ei työntekijäin pienen lukumäärän vuoksi voitu todeta. Ainoastaan se huomio, että huonoimman suorituskvyyvyn ja korkeimman kuormittumisasteen omanneen työntekijän sykekäyrä on työpäivän lopussa kääntynyt nousuun, viittaa väsymysreaktioon.

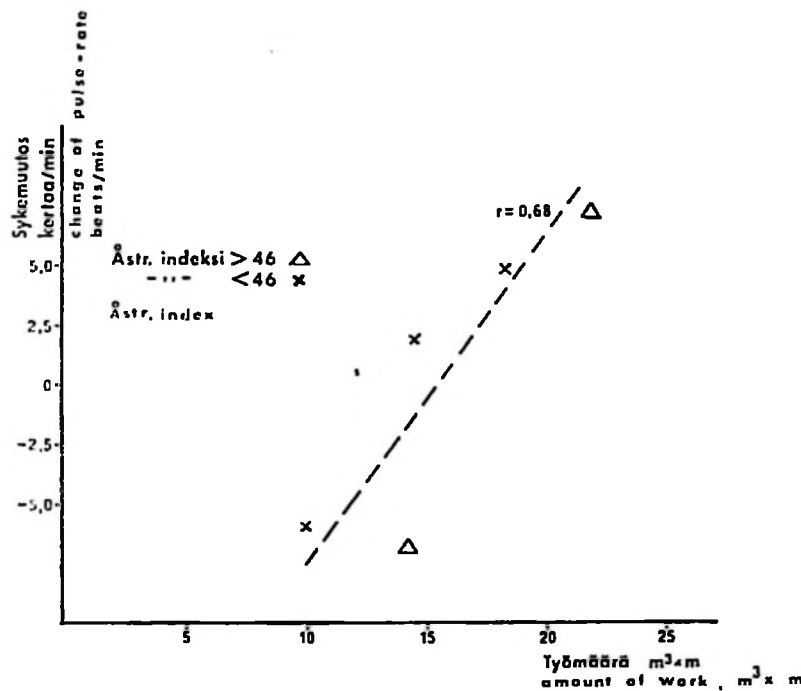
Sydämeen kohdistuvaa kuormitusta selvitettiin ennen työn alkua ja työn lopussa levossa mitattujen systolisten verenpaineiden ja työpäivän alussa ja lopussa havaittujen työsykkeiden tulona.

Työntekijä	1	työpäivän alussa	16 917	lopussa	17 079
„	2	„	14 114	„	15 698 ×
„	3	„	18 522	„	19 760 ×
„	4	„	13 823	„	13 774
„	5	„	18 911	„	19 447

× ero merkitsevä t-testillä 5 % riskillä

Yhtä poikkeusta lukuunottamatta sydämeen kohdistuva kuormitus näyttää nousseen. Erot ovat kuitenkin Studentin t-testillä laskettuna tilastollisesti merkitseviä vain kahden työntekijän osalta.

Verrattaessa sykefrekvenssiä työpäivän alussa ja lopussa voidaan havaita muutoksen korreloivan verraten vahvasti tehdyn työmäärän kanssa siten, että hyvän suorituskvyyvyn omaavat (Åstr. ind. 46) sijoittuvat regressiota kuvaavan suoran alapuolelle (kuva 15). Tämä puolestaan viittaa siihen, että syketaso työpäivän lopussa on myös fyysisen suorituskvyyvyn funktio. Voidaan olettaa, että sykkeen nouseva jakso on väsymysreaktio, mutta koska tutkimustyöpäivä oli verraten



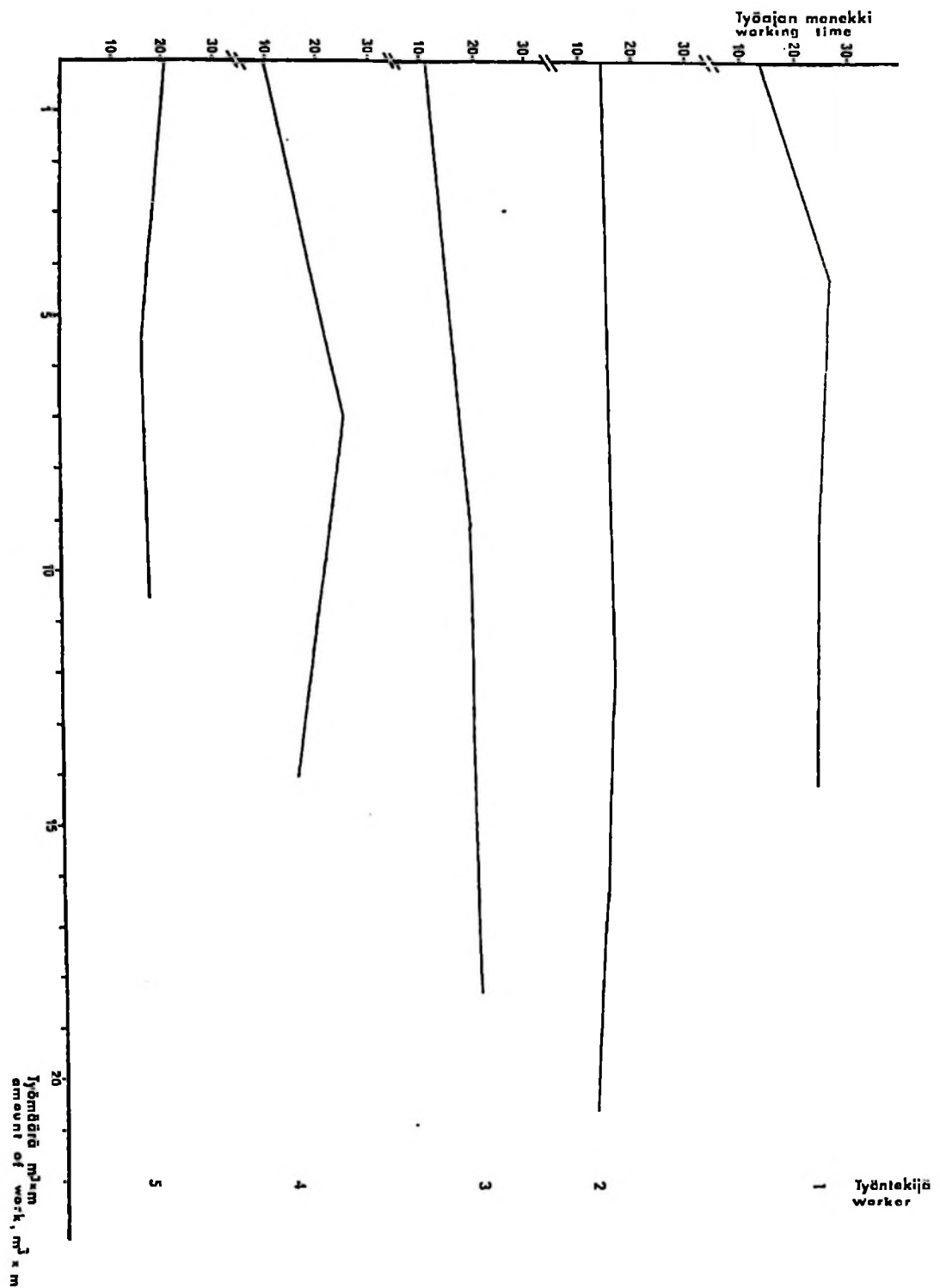
Kuva 15. Työpäivän aikana tapahtunut sykemuutos tehdyn työmäärän funktiona kuitupuun teossa.
Figure 15. Change in pulse rate during the working day as a function of the amount of work done, cutting of pulpwood.

lyhyt (n. 5 tehollista tuntia) vain suorituskyvyiltään heikoin työntekijä on saavuttanut tämän vaiheen.

Tämän hypoteesin mukaan työpäivän kumuloitua kuormittuminen on tehdyn työmäärän (energian kulutuksen) ja työntekijän fyysisen suorituskyvyn funktio. Vertailtaessa kahta työmenetelmää vaikuttaa suhteelliseen sykearvoon paitsi työntekijän ominaisuudet myös työtahti ja työpäivän pituus, jos työmenetelmissä energiankulutustaso poikkeaa toisistaan. Esimerkiksi, jos työmenetelmässä a saavutetaan sykkeen nouseva jakso, mutta työmenetelmässä b ei, alkaa syke-ero nopeasti kasvaa. Toisaalta taas koehenkilön valinta vaikuttaa siihen kuinka nopeasti tämä vaihe saavutetaan.

346. Työajan menekin vaihtelu työpäivän aikana kuitupuun teossa

Edellisessä luvussa kuvatus mallin mukaisesti tutkittiin myös työajanmenekin ($\text{cmin/m}^3 \times \text{m}$) vaihtelua käyttäen s :n määrittämiseen työmäärää ($\text{m}^3 \times \text{m}$) ja kumuloitua aikaa työpäivän alusta laskettuna. Päivän työtehokäyrän on suureen koehenkilöjoukkoon sijoitettuna todettu muodostuvan kahdesta huipusta aamu- ja iltapäivän aikana. Laskukohta sijoittuu ruokatunnin molemmiin puolin. Tämän



Kuva 16. Työtahdin ja työpäivän aikana tehdyn työmäärän riippuvuus kuitupuun teossa.
 Figure 16. Correlation between the speed of work and the amount of work done during the working day, cutting of pulpwood.

optimitilanteen selitetään olevan keskushermoston rytmillisen energiantuotannon seurausta (Oksala 1961). Työtahdin ei kuitenkaan tarvitse seurata tätä optimitilannetta. Voidaan olettaa työtahti raskaassa fyysisessä työssä myös energian kulutuksen aiheuttaman fysiologisen tilan funktioksi, jolloin mm. väsymys vaikuttaa takaisinkytkentänä työtahtiin.

Seuraavassa asetelmassa on esitetty selityssasteet käytettäessä kumpaakin s muuttujaa:

Työntekijä	Työmäärä	Aika	R (työmäärä, aika)
1	74 %	71 %	0,99
2	48 %	7 %	0,45
3	28 %	29 %	0,99
4	52 %	52 %	0,98
5	55 %	53 %	0,98

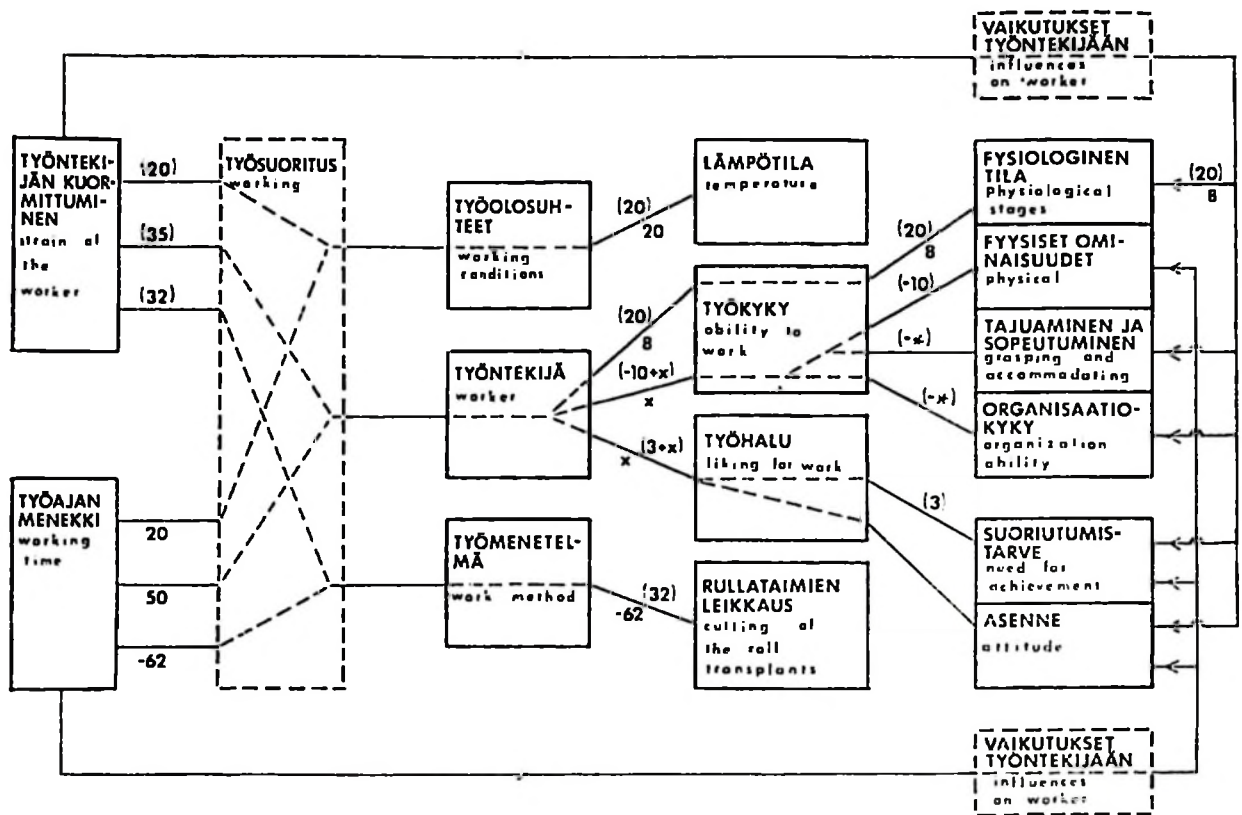
Mallien selityssasteet ovat hieman huonommat kuin vastaavien sykemallien. Yhtä poikkeusta lukuunottamatta on molemmilla laskutavoilla saatu lähes yhtä korkea selityssaste. Tämä on luonnollista, koska työmäärän ja ajan korrelaatio on tätä yhtä poikkeusta lukuunottamatta ollut hyvin korkea. Poikkeavassa yksityistapauksessa on tehty työmäärä kuitenkin osoittautunut kumuloitua työaikaa paremmaksi työtahdin selittäjäksi.

Kuvassa 16 on esitetty työajan menekki työmäärän funktiona. Työntekijällä 1, 3 ja 5 on työtahti ollut laskeva työpäivän lopussa, muilla se on ollut nouseva. Kun työntekijät 1 ja 3 työskentelivät muita korkeammalla kuormittumistasolla ja molemmilla työmäärä oli verraten suuri, viittaisi tulos väsymyksen aiheuttamaan reaktioon. Tämä selitys ei kuitenkaan sovi työntekijään 5. Sen sijaan kaikki nämä kolme työntekijää sijoittuvat kuvassa 15 sykemuutosta kuvaavan regressiosuoran yläpuolelle ja heillä oli huonompi fyysinen suorituskyky kuin työntekijöillä 2 ja 4.

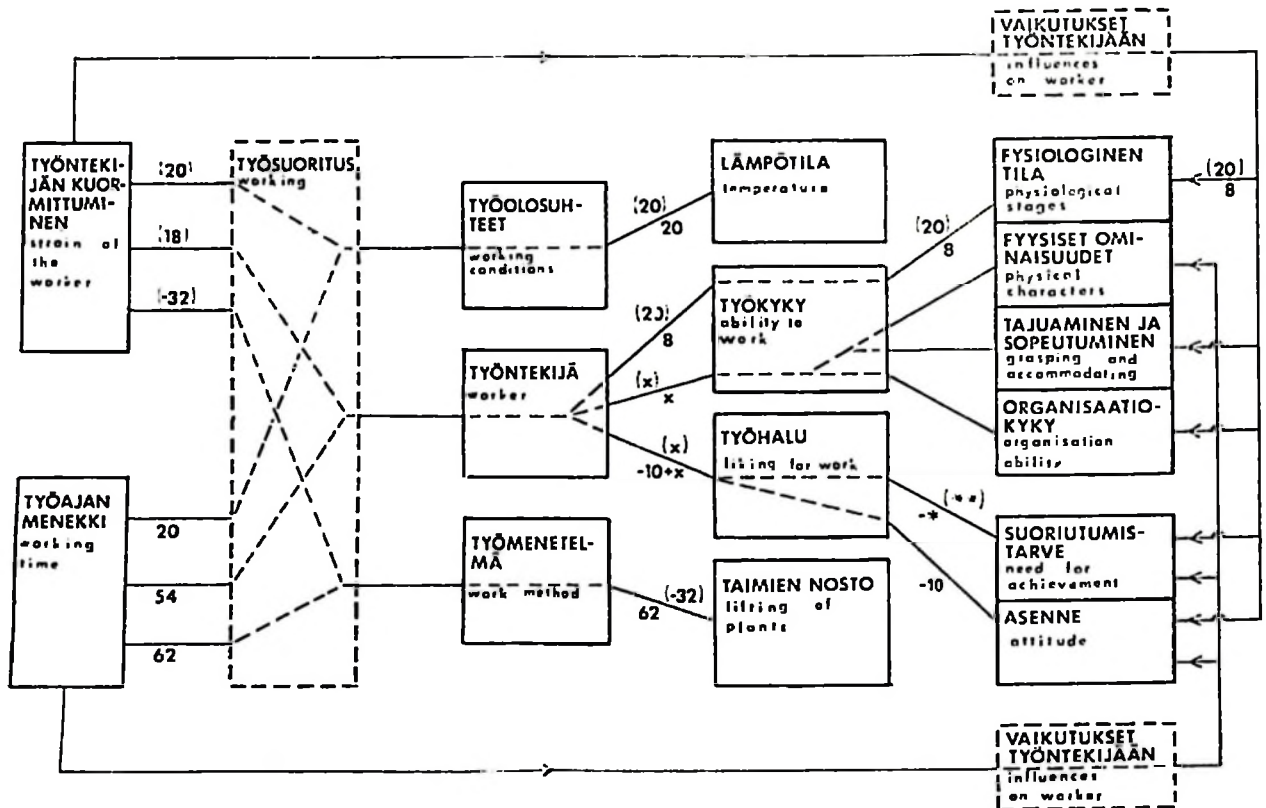
35. Tulosten systeemikuvaus ja teorian muodostus

Kuvissa 17, 18 ja 19 on esitetty työsuoritus systeeminä lähtien kuvassa 1 esitetystä kaaviosta. Kaaviota on kuitenkin yksinkertaistettu käyttämällä alkioina johdannossa mainittuja, Gläserin (1952) esittämiä, työn suoritukseen vaikuttavia tekijöitä. Näin on useita alkioita yhdistetty vastaamaan paremmin tässä tutkimuksessa käytettyjä mittauspiirteitä. Myös eräitä muita yksinkertaistuksia on suoritettu.

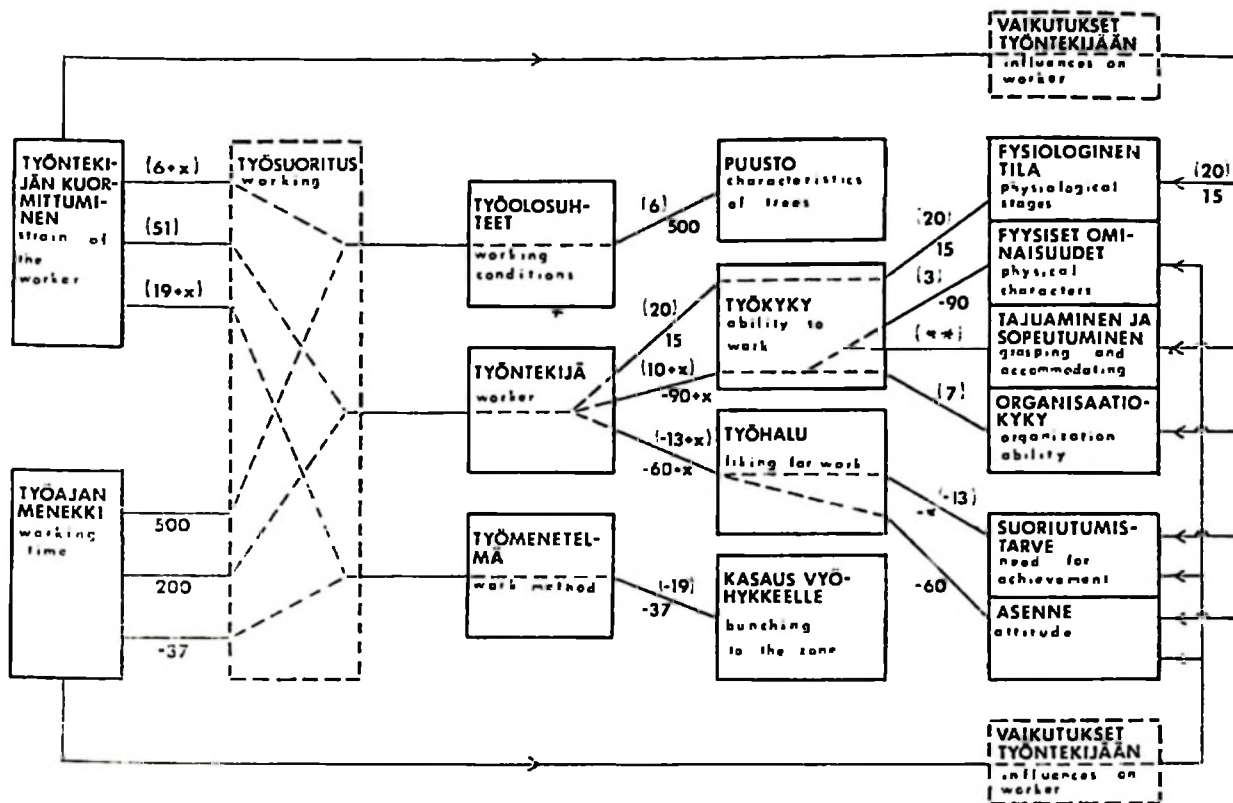
Metateoreettisesti kaavio vastaa vaikutussuhteiden verkkoa. Samalla kvantitatiivisuuden ja abstraktisuuden tasolla ovat työntekijän kuormittuminen, työn tuotos, työsuoritus, vaikutukset työntekijään, työntekijä, työolosuhteet ja työmenetelmä. Kolme viimeksi mainittua jakaantuvat alaolioihin ja työntekijän alaoliot vielä alaolioihin. Vaikutussuhteita kuvaavien nuolien viereen on merkitty suhteel-



Kuva 17. Työsuorituksen vaihtosuhteet rullataimien leikkauksessa.
 Figure 17. Exchange relations of work performance in cutting of roll-seedlings.



Kuva 18. Työsuorituksen vaihtosuhteet taimien nostossa.
 Figure 18. Exchange relations of work performance in lifting of seedlings.



Kuva 19. Työsuorituksen vaihtosuhteet kuitupuun teossa.

Figure 19. Exchange relations of work performance in cutting of pulpwood.

lisinä arvoina se, kuinka paljon tämän tutkimuksen empiirisen aineiston mukaan kunkin olion piirteiden tiloissa tapahtuvat muutokset voivat suurimmillaan vaikuttaa joko työn tuotokseen tai työntekijän kuormittumiseen. Vaihtelurajat vastaavat tämän tutkimuksen perusteella päätelävissä olevia luonnollisia vaihtelurajoja. Em. maksimivaihtosuhdetta kuvaavat arvot eivät siis osoita esim. alaolion ja olion välistä muuntosuhdetta tai jonkin olion ja katkoviivoilla merkityn abstraktisen olion välistä muuntosuhdetta, vaan esim. alaolion mitattavissa olevien piirteiden vaikutusta työntekijän kuormittumisen ja työn tuotoksen mittauspieriteiden arvoihin. Etumerkki kuvaa korrelaation suuntaa.

Vaihtosuhteet on työolosuhteiden, -menetelmän ja työntekijän alaolioiden osalta saatu sijoittamalla mittauspierteen vaihtelualueen ääriarvot regressioyhtälöihin ja laskemalla näin saatujen arvojen erotus. Tätä vaihtosuhdetta on käytetty vain sitä työmenetelmää kuvaavassa kaaviossa, jossa riippuvuus korrelaatioanalyysin mukaan näytti relevantilta. Työntekijän vaikutuksen ääriarvo laskettiin regressiotasoitettujen keskiarvojen erotuksena. Lisäksi merkittiin kaavioihin tähdellä ne riippuvuusuhdet, jotka korrelaatioanalyysin perusteella olivat joko merkitseviä tai hypoteettisia.

Muuntosuhteet ovat siis ennen kaikkea tätä aineistoa kuvaavia ja osittain hypoteettisia. Kuitenkin niistä nähdään tämän aineiston mukaan relevantit riippuvuussuhteet yleisten työntutkimusteorioiden mukaisessa viitekehyksessä. Muuntosuhteiden suuruus osoittanee vaikutusten keskinäistä suuruusjärjestystä. Niiden käyttö teorian kehittelyyn perustuu seuraaviin käsityksiin. Jos jokin työsuorituksen vaikuttava kyky heikkenee, kuormittuu elimistö eli poikkeaa aikaisemmasta tasapainotilastaan. Mitä enemmän jollakin kyvyllä on vaikutusta työsuorituksen, sitä enemmän se voi horjuttaa elimistön tasapainotilaa eli sitä hallitsevampi piirre se on yksilön käyttäytymisen suhteen.

Elimistön kuormittumista voidaan estää mm. hidastamalla työtahtia tai keskeyttämällä työnteko. Se, missä fyysisen tai henkisen kuormittumisen tasolla työtahtia muutetaan tai työ keskeytetään, määräytyy useimmiten työmotivaation mukaan. Näin yksilön käyttäytymistä eli tehtyä työmäärää ja elimistön käyttäytymistä eli kuormittumista säätelevien tekijöiden hallitsevuus määräytyy niiden vaikutuksen suuruuden mukaan. Lisäksi vaikutuksen määrän arvosteluperusteena käytetään sitä, missä järjestyksessä selittävät muuttujat ovat tulleet regressiomalleihin eli mitkä tekijät selittävät suurimman osan vaikuttavan muuttujan varianssista. Näin saadaan selville eniten vaikuttavan muuttujan käyttäytymistä määräävät tekijät, jos voidaan olettaa selittävän tekijän myös aiheuttavan käyttäytymisen.

Taimitarhatyössä (kuvat 15 ja 16) työajan menekkiin on vaikuttanut voimakaimmin työmenetelmä. Tämä on luonnollista, koska tutkittiin ajanmenekkiä erilaista tuotetta kohti varsin erilaisissa työmenetelmissä. Menetelmän vaikutus on verraten suuri myös sykkeeseen. Olosuhteiden vaikutusta ei voitu tutkia muuta kuin lämpötilan osalta olosuhdetekijöiden pienen varianssin vuoksi. Päähuomio kohdistuukin työntekijän vaikutukseen, joka onkin verraten suuri sekä työn tuotokseen että työntekijän kuormittumiseen.

Rullataimien leikkauksessa eivät työntekijää kuvaavat faktorit ole selittäneet työajan menekkiä, mutta kuormittumista ovat pienentäneet sekä fyysinen suorituskyky että psyykkiset ja psikomotooriset kyvyt. Suoriutumistarve on lisännyt hieman kuormittumista. Näyttää siltä, että kuormittumista ovat hallinneet fyysinen suorituskyky ja takaisinkytkentää kuvaava fysiologinen kehitystila. Viimeksi mainittu on myös vaikuttanut huomattavasti työn tuotokseen. Tätä fyysisen suorituskyvyn ensisijaisuutta tukee myös se, että se on tullut mukaan regressiomalliin ensimmäisenä faktoreista.

Taimien nostossa ei fyysinen suorituskyky ole vaikuttanut työn tuotokseen eikä kuormittumiseen. Fysiologisen tilankaan vaikutusta ei voida varmistaa, koska se on saatu molempia työmenetelmiä selittävästä mallista. Samaa on sanottava myös psyykkisten kykyjen vaikutuksesta. Tulokset ovatkin ymmärrettäviä, koska työ on fyysisesti kevyttä ja luonteeltaan yksinkertaista, joten työn tuotosta ja myös kuormittumista hallitsee työmotivaatio.

Kuitupuun teossa molemmat työmenetelmät olivat hyvin saman tapaiset, joten työmenetelmän vaikutus on jäänyt verraten pieneksi. Sen tähden myös samat tekijät vaikuttavat molempia menetelmiä tehtäessä. Näin ollen vaikutussuhteet voidaan esittää samassa kaaviossa. Työolosuhteiden vaikutus etenkin työn tuotokseen on suuri. Myös työntekijän vaikutus sekä työn tuotokseen että työntekijän kuormittumiseen on huomattava. Työn tuotokseen vaikuttaa hallitsevimmin fyysinen suorituskyyky, mutta myös työn motivointi siten, että suoriutumistarpeen lisääntyminen ja positiivinen asenne lisäävät työn tuotosta. Asenne on vaikuttanut ennen kaikkea kasauksessa, mikä viittaa asenteen ja työn suunnittelun väliseen riippuvuuteen. Myös fysiologinen tila vaikuttaa tuotokseen. Regressiomalleihin tuli ensimmäisenä ”työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyyky”-faktori.

Työntekijän kuormittumiseen on koehenkilön ominaisuuksista vaikuttanut hallitsevimmin fysiologinen kehitystila, mutta myös suoriutumistarve on vaikuttanut verraten paljon. Se tuli ensimmäisenä selittäjänä runkokohtaiseen regressiomalliin. Lisäksi vaikuttavat fyysinen suorituskyyky, joka tuli ensimmäisenä kasaustyövaihetta kuvaavaan regressiomalliin, ja psyykkiset ominaisuudet. Viimeksi mainittujen ja kuormittumisen positiivinen korrelaatio on kuitenkin alkuperäisten hypoteesien vastainen.

Kuitupuun teossa hyvän fyysisen suorituskyyvyn omaavat työntekijät ovat tehneet työtä nopeammin, mutta myös kuormittaneet itseään enemmän. Tulos ei vastaa Mälkiän (1974) esittämää tulosta, jonka mukaan kontrolloitua työpäivän pituutta käytettäessä huonokuntoiset työntekijät kuormittuivat enemmän, vaikka heidän ansionsa olivat alhaisemmat. Sen sijaan toisessa aineistossa, jossa työntekijät saattoivat säädellä työpäivän pituutta vapaasti, hyväkuntoisten työntekijäin kuormittuminen oli työpäivän aikana suurempi kuin huonokuntoisten. On osoitettu, että mitä parempi fyysinen suorituskyyky koehenkilöllä on, sitä korkeampaa suhteellista hapenkulutusta hän voi ylläpitää ilman vakavia komplikaatioita (esim. Åstrand 1969). Levanto (1970) onkin todennut kolmen koehenkilön ”normaalin työtahdin” kuormittavuuden korreloivan positiivisesti fyysisen suorituskyyvyn kanssa. Tässä tutkimuksessa havaittu suoriutumistarpeen ja kuormittumisen negatiivinen korrelaatio voi johtua siitä, että suoriutumistarpeen lisääntyminen on motivoinut työn huolellisemman suunnittelun.

Käyttäen luvussa 252. (s. 30) hohmoteltua vaikutusten hallinnan teoriaa, oletetaan fyysisesti raskaimmassa työssä eli kuitupuun teossa fyysinen suorituskyyky käyttäytymistä hallitsevaksi tekijäksi, josta pääasiassa riippuu elimistön tasapainotilan häiriintyminen eri työnopeuksilla. Mitä hyväkuntoisempi työntekijä on, sitä korkeammalla suhteellisella hapenkulutustasolla hän voi työskennellä eli sitä suuremmaksi jää pelivara motivaation vaikutukselle. Fyysisen suorituskyyvyn säätelemissä rajoissa kuitenkin muut kyyvyt esim. työtaito vaikuttavat käyttäytymiseen. Näin ollen vain hyvän fyysisen suorituskyyvyn omanneet työntekijät ovat voineet nostaa työtahiaan motivoinnin edellyttämälle tasolle.

Keskiraskaassa työssä eli rullataimien leikkauksessa fyysinen suorituskyky on myös hallinnut käyttäytymistä, mutta ei kuitenkaan yhtä voimakkaasti kuin kuitupuun teossa. Koska työ on nopeatempoista ja tarkkuutta vaativaa, ovat myös psyykkiset ja psykomotooriset kyvyt selittäneet merkittävästi elimistön kuormittumista. Saattaa olla, että työsuorituksella on motorisista kyvyistä riippuva yläraja, ja täten fyysisen suorituskyvyn kasvu ei pääse selvästi vaikuttamaan työn tuotokseen, mutta alentaa työntekijän kuormittumista.

Toisen käyttäytymisen selitysmallin tarjoaa käyttäytymisen suhde fysiologisesti optimaaliseen työtahtiin. Kuitupuun teossa ajanmenekin hajonta näytti lisääntyvän työntekijän kuormittumisen kasvaessa. Koska fyysinen suorituskyky ja kuormittuminen korreloivat positiivisesti, näyttää siltä, että työntekijän suorituskyvyn kasvaessa on poikettu yhä kauemmaksi fysiologisesti optimaalisesta työtahdista. Saman ilmiön on Levanto (1970) todennut kolmella koehenkilöllä, joista jokaisen "normaali työtahti" oli fysiologista optimia suurempi. Voi olla että metsätyössä jokin tekijä — esim. ansion tavoittelu — motivoi työntekijää ylläpitämään työtahtia, joka on yleensä yli fysiologisen optimin. Tässä aineistossa fyysisen suorituskyvyn kasvun suoma pelivara käytettiin työtahdin lisäämiseen, joka näkyy myös työmenetelmien 1 ja 2 suhteellisessa ajan menekissä. Kevyempää työmenetelmää 1 on tehty nopeammalla työtahdilla, jolloin kuormittavuusero on pienentynyt tai kokonaan hävinnyt. Kuitupuun teossa fysiologisesti optimaalisen työtahdin käyttöä saattaa häiritä se, että työ sisältää raskaita staattisia työjaksoja (esim. pölkyn kantaminen), joiden aikana työtahdin alentaminen pidentää staattisen jännityksen kestoaikaa.

Kuitupuun teon kuormitustutkimuksissa on puuston koon ja kasausmatkan selittämiskyky todettu yllättävän alhaiseksi (esim. Samset ym. 1969, Valonen 1975). Tämä selittyisi sillä, että työntekijöillä on edellä hahmoteltuun tapaan taipumus työskennellä ylikuormittumisrajalla, jolloin työvaikeuden helpottuminen kompensoidaan työtahtia lisäämällä.

Rullataimien leikkauksessa fysiologisesti optimaalinen työtahti saavutettaneen selvästi alemmalla kuormittumistasolla kuin kuitupuun teossa. Vaikka suoriutumistarpeen kuvaama motivaatio onkin lisännyt kuormittumista, on se tapahtunut fyysisestä suorituskyvystä riippumatta. Fyysinen suorituskyky ei toisin sanoen ole ollut niin voimakkaasti käyttäytymistä hallitseva tekijä, että se olisi työtahdin lisäämisen edellytys. Päinvastoin fyysinen suorituskyky on korreloinut negatiivisesti kuormittumisen kanssa.

Taimien nosto fyysisesti kevyenä ja yksinkertaisena työnä ei kuormita verenkiertoelimistöä, mutta saattaa työasennosta johtuen rasittaa tukielimiä. Lisäksi työ voi tuntua yksitoikkoiselta. Täten käyttäytymistä hallitsee motivaatio. Voi olla, että yksitoikkoisessa toistotyössä viihtymisen edellytyksenä olevat luonteenpiirteet, kuten pitkäjänteisyys ja kärsivällisyys, selittäisivät työn tuotosta tässä tutkimuksessa käytettyjä testejä paremmin (vrt. Elton 1973).

Työmenetelmien suhteelliset työajan menekit ja kuormittavuusarvot muodostuvat kahden, kuvissa 15...17 hahmotellun, systeemin outputtien osamääränä. Molempiin systeemeihin syötetään samat olosuhde- ja työntekijän ominaisuuskombinaatiot panoksina. Siitä kuinka paljon systeemien rakenteet poikkeavat toisistaan riippuu se, miten systeemit prosessoivat input-informaatiota. On todennäköistä, että kun systeemeihin syötetään erilaisia työntekijän ominaisuuskombinaatioita, saadaan tulokseksi suhteellisia out-putteja, joiden variaatio on sitä suurempi, mitä enemmän systeemit eroavat toisistaan. Mitä lähempänä systeemien rakenteet ovat toisiaan sitä todennäköisemmin vaikuttaa input-kombinaation muutos molempien systeemien outputtiin samansuuntaisesti ja suhteellisesti yhtä voimakkaasti. Suhteellinen output ei kuitenkaan pysy vakiona, ellei systeemien rakenne ole sellainen, että uusi input-kombinaatio aina tuottaa kummassakin systeemissä prosentuaalisesti yhtä suuren muutoksen edelliseen outputtiin. Tämä edellyttää todennäköisesti sitä, että juuri samat input-tekijät vaikuttavat molemmissa systeemeissä suhteellisesti yhtä paljon outputtiin. Tämä ei liene koskaan käytännössä mahdollista, koska työmenetelmät tai olosuhteet eroavat aina luonteeltaan toisistaan.

Tämän tutkimuksen tulokset tukevat edellä kuvattua selitystä. Taimitarhatyössä työmenetelmät erosivat enemmän toisistaan kuin kuitupuun teossa. Mm. kochenkilön eri ominaisuudet ovat vaikuttaneet käyttäytymiseen eri taimitarhatyömenetelmissä. Taimitarhatyössä myös suhteellisten ajanmenekkien ja kuormittumisprosenttien variaatiokertoimet olivat suuremmat suhteessa työmenetelmäkohtaisten keskiarvojen variaatiokertoimiin kuin kuitupuun teossa.

36. Tulosten tarkastelua

Vaikka empiirinen aineisto on työntutkimusaineistoksi verraten suuri, jäi työntekijöiden määrä kenttätöiden työläyden tähden menetelmää kohden viiteen, mikä oli, työntutkimusaineistoille tyypillisen suuren hajonnan vuoksi, liian pieni useiden tutkimuksessa johdettujen hypoteesien tilastolliseen testaukseen. Vaikka tutkimuksen hypoteesit pyrittiin sitomaan tutkimuksen alkuosassa koottuun systeemi-teoreettiseen tarkasteluun, on empiirisen osan tulokset selvästi erotettava tilastollisesti merkitseväksi todettuihin riippuvuussuhteisiin ja toisaalta hypoteesien johtamiseen. Edelleen on muistettava luvussa 244 (s. 26) esitetty periaate, että jokin havaittu lainalaisuus ei välttämättä toteudu kaikissa metsätyöntutkimusaineistoissa, ja jokin tässä aineistossa toteamaton lainalaisuus voi olla relevantti jossain toisessa aineistossa.

Voitiin osoittaa, että suunnilleen kaikki tutkimuksen ensimmäisen osan systeemikuvauksessa käytetyt ylimmän kvantitatiivisuuden tason reaali-teoreettiset käsitteet tai niiden mittauspiirteet ovat vuorovaikutussuhteessa toisiinsa. Myös rakaisinkytkentä työsuorituksesta työntekijään kohdistuvien vaikutuksien kautta

työkykyyn voitiin osoittaa. Verrattaessa tuloksia aikaisempiin työntutkimusteorioihin voidaan hyväksyä Gläserin (1952) käsitys siitä, että työntekijän kuormittuminen riippuu työntekijän fyysisistä ominaisuuksista ja työtahdistä, mutta myös psyykkisperäisestä "tajuamisesta", työhön sopeutumisesta ja organisaatiokyvystä. Viimeksi mainittujen kykyjen todettiin tosin vaikuttavan alkuperäisen hypoteesin suuntaisesti vain rullataimien leikkaustyön kuormittavuuteen, mutta myös subjektiivisesti arvioitu työtaito korreloi verraten voimakkaasti kuitupuun teon kuormittavuuden kanssa. Työajanmenekin todettiin, Fornallazin (1940) tapaan, olevan työntekijän työtaidon, työnopeuden, fyysisten ja ulkoisten tekijöiden monimutkaisen funktion.

Havaittiin myös, että raskaamman taimitarhатыön työaikojen hajonta oli suurempi kuin kevyemmän työn. Sama näyttää soveltuvan sykkeeseen, mutta ei kuormittumisprosenttiin. Edellisessä luvussa hahmoteltu selitys erilaisissa työmenetelmissä käyttäytymistä hallitsevista työntekijän ominaisuuksista sopii yhteen aikaisempien hakkuututkimusten kanssa siltä osin, että työntekijän hapenotto-kyky on voimakkaasti työn tuotosta ja työntekijän kuormittumista selittävä tekijä (Hansson 1965, Mälkiä 1974). Selitys on sopusoinnussa myös Fornallezin (1940) esittämän teorian kanssa siinä, että fysiologisesti optimaalisen työtahdin tuloksena on pienin työajan hajonta. Levannon (1970) työtahdin vaikutusta selvittävän tutkimuksen tulokset tukevat osaltaan käsitystä, jonka mukaan hakkuutyössä fysiologisesti optimaalinen työtahti yleensä ylitetään.

Kinsman ym. (1974) ovat erottaneet raskaassa fyysisessä työssä kolme subjektiivista oireryhmää: "kyvykyys tehdä työtä", "motivaatio" ja "tehtävän vastenmielisyys". Koska urakkapalkatussa työssä motivaatio lienee yleensä korkea työasenteista riippumatta on luonnollista, että "kyvykyys tehdä työtä" hallitsee käyttäytymistä. Se vaikuttaa myös fyysisten tuntemusten voimakkuuteen, ja motivaatio ja asenne lopullisesti määräävät sen, kuinka paljon vastenmielisten tuntemusten sallitaan vaikuttaa käyttäytymiseen.

Työntekijän kuormittumisen riippuvuus kumuloituvasta työmäärästä oletettiin kuitupuun teossa sydämen iskuvolyymin lasku-verimäärän adaptaatio-väsymys ketjun vaikutukseksi. Tosin Vuori (1972) ei ole todennut mainittavia sydämen iskuvolyymin alentumiseen viittaavia oireita laturetkihihdossa, jota on tehty suurella hapenkulutustasolla. Metsätyö poikkeaa kuitenkin hiihdosta mm. siten, että se sisältää hyvin raskaita ja suurta lihasvoimaa vaativia jaksoja, joihin liittyy myös staattista lihasjännitystä. Lundgren (1946) on jalkasiteitä käyttämällä päätellyt, että sykkeen nousu metsätyössä ainakin osittain johtuu keskeisen verenkierron vähenemisestä hydrostaattisesti pystyasennon vaikutuksesta.

Vuori (1972) ei laturetkihihdossa myöskään todennut uupumuksen aiheuttamia komplikaatioita tai huomattavia fysiologisia, fatigue-ongelmatiikkaan liittyviä, muutoksia. Metsätyön luonteesta johtuen tällaisia muutoksia voi olettaa syntyvän helpommin mm. paikallisen lihasten ylikuormittumisen seurauksena. Sydämeen kohdistuvan kuormituksen voitiinkin, yhtä poikkeusta lukuunottamatta, todeta

nousseen työpäivän kuluessa sykkeen ja systolisen verenpaineen tulona ilmaistuna. Huolimatta korkeasta hapenkulutustasosta ja suurista lihas- ja luustorasituksesta metsätyö on vaihtelevaa, raskaimpien jaksojen yhtäjaksoisten kestojen jäädessä usein alle 0,5 min (Harstela 1971 c, Mälkiä 1974). Täten lihasten aeropista energian käyttöä voidaan pitää verraten tehokkaasti yllä. Tähän viittaavat työn jaksottamisen kuormitusta alentava vaikutus, mikä voidaan selittää myoglobiinin happivarastojen täydentymisellä (Harstela 1971 c), ja havaitut pienet maitohappopitoisuudet veressä (Mälkiä 1974). Suuri energian tarve voinee kuitenkin ehdyttää energiavarastot.

Päivittäiset työtehokäyrät eivät olleet yhtä säännönmukaisia, kuin sykekäyrät. Työtehon muutokset onkin todettu hyvin yksilöllisiksi (Oksala 1966, Harstela ym. 1971). Yleensä työtehokäyrät on selitetty vuorokausirytmien ja taukojen vaikutukseksi. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset kuitenkin viittaavat siihen, että raskaassa ruumiillisessa työssä työtehon muutoksetkin saattavat olla ensisijaisesti tehdyn työmäärä eikä työpäivän ajankohdan funktio. Tämä päättely on kuitenkin täysin hypoteettinen.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella tulisi käytännön metsätyöntutkimuksessa huomioida seuraavaa:

— Verrattaessa eri työmenetelmiä tai työntekijöitä tulee työvaikeustekijöiden vaikutus eliminoida mahdollisimman tarkasti, koska työvaikeustekijöiden vaikutus tuloksiin on erittäin suuri.

— Kuormittumistason (menetelmien väliset erot ja työtahti) nousu lisää aikahavaintojen ja sykkeen hajontaa ja aiheuttaa aineiston koolle siten lisävaatimuksia. Myös työntekijän työtahdin vastaavuuteen eri työmenetelmiä tehtäessä tulisi kiinnittää huomiota, samoin poikkeamiseen fysiologisesti optimaalisesta työtahdista.

— Työntekijän fyysiset ominaisuudet — ainakin hapenottokyky — vaikuttavat voimakkaasti raskaan metsätyön tuotokseen ja kuormittumiseen.

— Ilmeisesti selvä vaikutus on eräissä työmenetelmissä psyykkisillä ominaisuuksilla ja lähes kaikissa olosuhteissa motivaatiolla. Koehenkilön tulisi siis omata keskimääräinen suoriutumistarve ja asenne työtä kohtaan.

— Työpäivän pituuden tulee olla normaalia työpäivää vastaava. Samoin tehdyn työmäärän tulee vastata keskimääräisen työpäivän työsuoritusta, koska täten saadaan esille myös normaali työtahtikäyrä ja sykekäyrä sekä kumuloituva kuormittuminen.

— Myös harjaantumisella työhön on vaikutus tuloksiin, mitä osoittanee työpäivän järjestysnumeron esiintyminen regressiomalleissa. Näin ollen työntekijät tulee harjaannuttaa työhön ennen työntutkimusta. Fyysisen työn vaatimista opeteluajoista ei tämän tutkimuksen perusteella voida kuitenkaan tehdä johtopäätöksiä.

— Työntutkimusten suunnittelussa tulisi ottaa huomioon kaikki kuvassa 1 (s. 15) esitetyt tekijäryhmät, jotka kaikki näyttävät olevan relevantteja työn tuotoksen ja työntekijän kuormittumisen selittäjiä metsätyössä.

Vertailevan työntutkimuksen periaate on kuitupuun teossa saanut tukea siinä muodossa, että regressiomuuttujilla tasoitettujen keskiarvojen suhteet ovat hajonneet merkitsevästi vähemmän kuin itse keskiarvot. Saman suuntainen, mutta tilastollisesti ei merkitsevä tulos saatiin myös taimitarhatyössä. Suhteellisten aika-arvojen variaatiokertoimet olivat kuitupuun teossa 3, 9 ja 8,5 ja taimitarhatyössä 16,3. Se, että taimitarhatyössä suhteellinen työaika oli hajonnut selvästi enemmän kuin kuitupuun teossa, tukee hypoteesia, jonka mukaan vertailevan työntutkimuksen periaate sopii paremmin sellaisten työmenetelmien vertailuun, jotka ovat samantapaisia eli joiden työn tuotosta selittävät samat työntekijän ominaisuudet ja ominaisuuksien vaikutus on lähes yhtä vahva molemmissa menetelmissä. Tällöin työntekijän vaihdos vaikuttaa molempien työmenetelmien työntuotokseen samansuuntaisesti ja suhteellisesti lähes yhtä vahvasti. Voitiinkin todeta, että kuitupuun teossa samat tekijät selittivät työn tuotosta molemmissa työmenetelmissä. Kun taas taimitarhatyössä näytti olevan eroja fakoreiden selityskyvyn välillä eri työmenetelmissä, tosin korrelaatiot kaiken kaikkiaan olivat heikkoja.

Sykearvojen ja kuormittumisprosenttien osalta vertailevan työntutkimuksen periaate näyttää saavan tukea samassa muodossa kuin työaikojenkin osalta eli suhteellisten arvojen käyttö pienentää suhteellista hajontaa. Erot eivät regressio-tasoituksen jälkeen ole keskiarvojen ja suhteellisten arvojen variaatiokertoimien välillä yhtä selviä kuin työajan menekin kyseessä ollen. Tilastollinen merkitsevyys todettiin kuitupuun teossa sykearvojen osalta 10 % ja kuormittumisprosenttien osalta 10...25 % riskitasoilla. Kuormittumisprosentit näyttävät omaavan suu-remman suhteellisen hajonnan kuin sykearvot. Taimitarhatyössä tulos oli samansuuntainen kuin kuitupuun teossakin, mutta erot olivat pienet, eivätkä tilastollisesti merkitsevät.

Suhteellisiin arvoihin vaikuttavien tekijöiden analysointi on pienen vapaus-astemäärän vuoksi ollut erittäin hypoteettista. Suhteellisen työajanmenekin tai kuormittumisarvon muutos jonkin tekijän funktiona ei ole yksiselitteisesti nouseva tai laskeva, vaan riippuu ko. tekijän ja kumpienkin työmenetelmien regressioista ja samanaikaisesti kummankin työmenetelmän työajan menekkien tai kuormittu-misarvojen regressioiden tasosta toisiinsa nähden. Vasta kun tiedetään kuinka paljon kummankin työmenetelmän työajan menekki muuttuu prosentuaalisesti selittävän tekijän funktiona, tiedetään säännönmukaisuus ko. tekijän ja suhteellisen työajanmenekin välillä.

Tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot vähintään 10 % riskillä saatiin taimi-tarhatyössä kuormittumisprosentin ja faktoreiden 5 ja 3 välille. Kuitupuun teossa vastaavasti vain työajan menekin ja faktorin 2 välillä oli tilastollisesti merkitsevä riippuvuus. Kuormittumisen osalta faktorit 3 ja 2 korreloivat kuitupuun teossa 25 % riskillä merkitsevästi.

Vain sellainen tekijä joka vaikuttaa suhteellisesti eri voimakkuudella vertail-tavien työmenetelmien tuotos tai kuormittavuusarvoihin tai vaikuttaa vain toisen menetelmän arvoihin, on hyvä suhteellisten arvojen selittäjä. Faktoreiden 5, 3 sekä

hypoteettisesti 1 ja 2:n selittämiskyky taimitarhатыön suhteellisen kuormittavuuden suhteen perustuukin siihen, että ne vaikuttivat voimakkaammin rullataimien leikkaukseen kuin taimien nostoon. Kuitupuun teon suhteellisiin arvoihin merkittävästi vaikuttanut faktori 2 ei selittänyt merkittävästi työmenetelmäkohtaisia arvoja ja sen vaikutukset olivat suunnaltaan alkuperäisten hypoteesien vastaiset, joten sen suhteellisten arvojen selittävyys oletetaan sattuman aiheuttamaksi. Faktoreiden 3 ja 5 hypoteettinen selittävyys selitetään seuraavasti. Kevyemmässä työmenetelmässä 1 oli suurempi pelivara säädellä kuormittumista fysiologisen optimitähtähdin yläpuolella, joten fyysinen suorituskyky on vaikuttanut suhteellisesti enemmän työmenetelmää 1 kuin työmenetelmää 2 tehtäessä. Faktori 5 on vaikuttanut suhteellisesti enemmän työmenetelmässä 2, koska siinä muun kuin kasaustyön osuus on suurempi kuin työmenetelmässä 1 ja faktorin 5 todettiin korreloivan voimakkaammin muissa kuin kasaustyövaiheissa.

Tässä tutkimuksessa esille tulleiden hajontalukujen perusteella täytyisi taimitarhатыöstä näytteen koon olla yksinkertainen satunnaisotannan kaavalla laskettuna yli 95 työntekijää, jos 95 % luotettavuudella halutaan, että saatu tehotyöajan keskiarvo poikkeaa korkeintaan 5 % todellisesta (vrt. S n e d e c o r ym. 1972). Vastaavasti pitäisi kuitupuun teossa runkokohtaisen työajan osalta työntekijöiden lukumäärän olla yli 141 ja kasaustajan kyseessä ollen yli 92. Suhteellisia arvoja käytettäessä näytteen koon tulisi taimitarhатыössä olla n. 41 ja kuitupuun teossa 2,3...10,9 työntekijää vastaavan tarkkuuteen pääsemiseksi. Täten laadittaessa esim. taksataulukkoita päästäisiin suhteellisilla arvoilla paljon pienemmällä työntekijämäärällä lopputulokseen, jossa uuden työmenetelmän hinnoitus on 95 % luotettavuudella ± 5 % virherajojen sisällä, jos voidaan määrittää toisen työmenetelmän "varma arvo" esim. tilastojen perusteella.

Vastaavasti kuormittumisprosentteja tutkittaessa pitäisi näytekokojen olla ominaisarvojen estimoinnissa taimitarhатыössä 316...502 ja kuitupuun teossa 72...108 työntekijää. Suhteellisten arvojen estimoinnissa näytekoon pitäisi taas olla taimitarhатыössä 187 ja kuitupuun teossa 25...35. Suhteellisten sykearvojen osalta näytekokoksi riittäisi vastaavin laskentaperustein taimitarhатыössä 3,3 ja kuitupuun teossa n. 2,4 työntekijää. Tällöin voitaisiin jo osoittaa toinen työmenetelmä toista kuormittavammaksi.

Sykekäyrille ominainen 2...3-vaiheinen, työmäärän funktiona määräytyvä, muoto viittaa siihen että työpäivän pituus ja työtahti vaikuttavat suhteelliseen sykkeeseen, jos menetelmät eroavat rasittavuudeltaan toisistaan. Sama periaatteessa sopii työn tuotoskäyriin, mutta niiden muodon yksilöllinen hajonta vaikeuttaa säännönmukaisuuksien löytämistä.

Käytännön työntutkimuksen kannalta edellä esitetyt tulokset viittaavat seuraavaan:

— Työmenetelmien vertailussa vertailevan työntutkimuksen periaateetta voidaan soveltaa sitä paremmin, mitä lähempänä työmenetelmät ovat luonteeltaan

toisiaan. Toisin sanoen mitä enemmän ne edellyttävät työntekijältä samojen kykyjen hyväksikäyttöä.

— Tarvittavien koehenkilöiden lukumäärä luotettavien tulosten saamiseksi riippuu siitä, kuinka lähellä toisiaan työmenetelmät ovat luonteeltaan ja voidaanko valita työhön vaikuttavilta kyvyiltään keskitasoiset työntekijät. Näyttää siltä, että suhteellisten ajan menekkien selvittelyssä työntekijöitä tulisi olla 3:sta ylöspäin. Samaa voidaan sanoa kuormitustutkimusten osalta, jos tyydytään vain työmenetelmien keskinäisen kuormittavuusjärjestyksen määrittämiseen. Eron kvantifioiminen edellyttää koehenkilöjoukon huomattavaa lisäämistä. Metsätyössä näyttää myös vallitsevan se yleisessä työtieteessä tunnettu lainalaisuus, että mitä fyysisesti raskaampaa työ on, sitä suurempi on ajan menekin hajonta.

— "Keskimääräisten" työntekijöiden käyttö lisännee vertailevan työntutkimuksen periaatteen relevanttiutta. Raskaassa fyysisessä työssä yhtenä valintaperusteena voitane käyttää työntekijän hapenottokykyä. Sen sijaan psyykkisten ja psykomotooristen ominaisuuksien ja kykyjen osalta ei tämän tutkimuksen perusteella voida vielä tehdä johtopäätöksiä. Huomiota kannattanee kiinnittää asenteisiin ja suoriutumistarpeeseen, mutta ilmeisesti myös työtaitoon ja mahdollisesti psykomotoorisiin ominaisuuksiin. Nykyisellä teorian muodostustasolla valinta voisi tapahtua fyysisen suorituskyvyn ja tilastoitujen työsaavutusten perusteella. Muiden ominaisuuksien kuin fyysisen suorituskyvyn merkitys korostunee voimakkaasti fyysisen kuormitustason laskiessa.

— Työvaikeustekijöiden vaikutus suhteellisiin työntutkimustuloksiin on suuri, joten työmenetelmien välisiä eroja vertailevan työntutkimuksen periaatteella tutkittaessa on mahdollisimman tehokkaasti työvaikeustekijät huomioon ottavien mallien käyttö hyödyllistä.

— Työpäivän pituus vaikuttanee myös suhteellisiin työntutkimustuloksiin ainakin raskaassa fyysisessä työssä, joten eri menetelmiä verrattaessa työpäivien tulisi olla yhtä pitkiä ja mahdollisimman tarkasti normaalia työpäivää vastaavia. Tulosten analysointi työmäärän funktiona on hyödyllinen varsinkin silloin, kun käytännön syistä ei edellä mainittua työpäivän pituusihannetta voida toteuttaa.

On ilmeistä, että vertailevan työntutkimuksen periaatetta on usein sovellettu liian kriittikittömästi käyttäen liian pieniä työntekijämääriä ja ottamatta huomioon työntekijöiden "keskimääräisyys"-vaatimusta. Samoin työmenetelmien eroavuuteen ei kirjallisuuden mukaan ole juuri kiinnitetty huomiota. Käytäntö onkin osoittanut, etteivät esim. palkkaperustutkimukset ole aina johtaneet toivottuihin tuloksiin, vaan taksarakennetta on jouduttu korjaamaan käytännön kokemusten perusteella. Tähän voi kuitenkin olla myös muita syitä, kuin tässä tapauksessa analysoidut. Pelkät aikatutkimukset eivät osoita työsuoritus-vaikutus työntekijään-työkyky takaisinkytkentäketjun pitkäaikaisia vaikutuksia. Voihan esim. raskaammassa työssä työntekijä ylikuormittaa itseään työntutkimuksen aikana, joka kestää yleensä muutamia päiviä, mutta käytännön työelämässä pitemmällä aikavälillä kuormittamistaso ja samalla työtahti ja työn tuotos laskevat. Näin ollen aikatutkimusten ja kuormittavuustutkimusten rinnakkainen käyttö sekä tutkimustulosten myöhempi tarkistaminen esim. tilastojen avulla näyttävät hyödyllisiltä tulosten käyttökelpoisuutta varmentavilta keinoilta.

4. TIIVISTELMÄ

Teoreettinen osa

Tutkimuksen tarkoituksena on ollut laatia yleisluonteinen työtieteellinen malli metsätyöstä viitekehyyksiksi teoreettista ja empiiristä tarkastelua varten, tutkia metsätyössä vaikuttavia inhimillisten, olosuhde- ja työmenetelmäkohtaisten muuttujien riippuvuussuhteita työajan menekin ja työntekijän fyysisen kuormittumisen kanssa. Empiirisessä aineistossa tarkastelu rajattiin rullataimien leikkaukseen ja taimien nostoon taimitarhalla sekä kuitupuun rekoon käytettäessä kahta työmenetelmää, eli keskiraskaaseen ja raskaaseen työhön. Lopullisena tavoitteena on ollut laatia ja testata metsätyötieteellisiä hypoteeseja, johtaa uusia hypoteeseja sekä hahmotella kokonaisvaltaista teoriaa systeemitarkastelun pohjalta. Erityisenä tavoitteena on ollut myös tutkia vertailevan aikatutkimuksen periaatteen toteutumista empiirisessä aineistossa ja samansisältöisen periaatteen toteutumista syketutkimuksissa. Tällöin siitä käytetään nimeä vertailevan työntutkimuksen periaate.

Työsuoritusta kuvattiin systeemikaaviolla (kuva 1). Kaavio muodostuu seuraavista alkioiden pääryhmistä: työntekijän työhalu, työkyky, refleksit ja vaistot sekä päätösmenetely, ympäristötekijät, työmenetelmät ja -tavat, työsuoritus, tuotos, ansio ja työntöön vaikutukset työntekijään. Malli muodostettiin rinnan abstrakteista ja konkreettisista käsitteistä päämääränä sen sopivuus työntutkimuksen teorian käsitteistöön ja teorian muodostuksen tasoon. Malli sisältää takaisinkytkennän vaikutukset työntekijään — alkioryhmästä työntekijän ominaisuuksiin.

Luvussa 23 (s. 18) suoritettiin kirjallisuuskatsaus niistä metsätyöntutkimuksista, joissa on tutkittu joitakin mallissa esitettyjä riippuvuussuhteita. Tuotostutkimusten lukuisuuden vuoksi on niitä käsitelty esimerkin omaisesti. Valtaosa tutkimustoiminnasta on ollut ympäristötekijäin — ja näistä lähinnä työvaikeustekijäin — ja työn tuotoksen välisten suhteiden analysointia.

Aikaisemmin hahmoteltua systeemikaaviota tarkasteltiin luvussa 24 (s. 24) kyberneettisenä, probabilistisena systeeminä, jolloin alkiot käsitettiin sinänsä mutkikkaita kytkentöjä sisältäviksi ja "black-box"-tyyppisiksi. Näiden alkioiden informaation siirto kuvattiin vain yhdellä kanavalla, joten informaatiota tarkastellaan vain tilan ja tapahtuman symbolisena ilmaisuna. Mallin itsesäätelymekanismeina tarkasteltiin päätösprosessia ja refleksien ja vaistojen vaikutuksia. Takaisinkyt-

kentöjä todettiin sekä työntekijän sisäisinä että työntekijän ja ympäristön välisinä ilmiöinä. Systemin yleisten ominaisuuksien kuten kynnsarvojen, riippuvuussuhteiden, isomorfian ja homomorfian periaatteiden perusteella esitettiin työntutkimuksen teorian muodostukseen vaikuttavia periaatteita:

— Jos jokin riippuvuussuhde osoittautuu merkitseväksi, on se ainakin aineiston edustamassa perusjoukossa ja mahdollisesti muissakin perusjoukoissa relevantti.

— Sen sijaan, jos ei havaita merkittävää riippuvuutta joidenkin muuttujien välillä, voi niiden välillä kuitenkin olla merkittävä riippuvuus jossain toisessa perusjoukossa tai joidenkin kynnsarvojen jälkeen.

— Teorian kehittämisen kannalta on hyödyllistä selvittää riippuvuussuhteiden suunta ja alkioiden sisäiset lainalaisuudet ja mekanismit.

— Hypoteesinä oletetaan työntekijäisten suhteellisten työaika- ja kuormittumisarvojen pysyvyyteen vaikuttavan sen, kuinka erilaisten kykyjen käyttöä verrattavat työmenetelmät ja työolosuhteet edellyttävät työntekijältä sekä sen, kuinka työntekijä asennoituu verrattaviin työmenetelmiin ja kuinka harjaantunut hän on.

— Luonnosta yksinkertaistusten kautta saatu malli on sitä käyttökelpoisempi mitä deterministisempi se on.

— Empiirisessä työntutkimuksessa haivainnoidaan yleensä koodattuja sanomia välillisin keinoin, joten harvoin on mahdollisuus todeta suoria fysiologisia syyseuraus-suhteita, vaan joudutaan ”joko-tai” tai ”sekä-että”-tyyppisiin selityksiin.

Luvussa 25 (s. 28) kehitettiin edelleen työn systeemikuvausta sijoittamalla hypoteettisesti työntutkimuksen periaatteiden käsitteistön muodostamia alkiota malliin (kuva 2). Käsitteet ovat: työvauhti, fysiologisesti edullisin työvauhti, fyysinen kuormittuminen, fyysisen kuormittumisen suhde maksimaaliseen suorituskykyyn, työpäivän kokonaiskuormittuminen, psyykkinen kuormittuminen, normaalisuoritus, suhteellinen ajanmenekki, keskimääräinen ajanmenekki, ajanmenekin hajonta, keskimääräinen kuormittuminen, kuormittumisen hajonta, suhteellinen kuormittuminen ja työasenteet.

Mallin käsitteiden kvantitatiivisuuden ja abstraktisuuden tasoa tutkittiin käyttämällä M-67-metateoriaa. Kuvassa 3 (s. 32) esitettiin käsittehierarkiat sekä käsitteiden mittauspiirteet. Todettiin mittauspiirteitä prosessoitaessa empiirisessä osassa käytettävän teorian muodostukseen saman kvantitatiivisuuden tason käsitteitä, jotka ovat ylempien reaali-coreettisten käsitteiden-työntekijän työkyky, työhalu, vaikutukset työntekijään, työmenetelmä ja -tapa, työsuoritus, tuotos ja ympäristötekijät-alakäsitteitä. Kuvassa 4 (s. 34) esitettiin oliomallina prosessit: työsuoritus — tuotos ja työsuoritus — vaikutukset työntekijään sekä näiden prosessien vaihtosuhteisiin vaikuttavat työntekijän resurssit (työkyky) ja tunteet (työhalu) sekä työolosuhteet (ympäristö).

Elävän organismin todettiin olevan systemin, joka pyrkii säilyttämään tasapainotilan. Fysiologisiin ja psykologisiin teorioihin vedoten oletettiin, että jos jokin tekijä aiheuttaa suuremman poikkeaman organismin eli tahon tasapainotilassa kuin muut tekijät, niin kyseinen tekijä hallitsee tahon käyttäytymistä.

Tätä teoriaa pyrittiin empiirisessä osassa soveltamaan todettujen ilmiöiden selittämiseen.

Empiirinen osa

Empiirisessä osassa tarkasteltiin eri tekijöiden vaikutusta työajan menekkiin ja työntekijän fyysisen kuormittumiseen sekä eräiden työntutkimusperiaatteiden toteutumiseen taimitarhalla rullataimien leikkauksessa ja männyn taimien nostossa sekä kuitupuun teossa kourakasoihin palstatiien varteen (työmenetelmä 2) ja 4-metrin levyiselle vyöhykkeelle, jolloin kasojen koko vaatimusta alennettiin (työmenetelmä 1). Aineisto ja suoritettut mittaukset on selitetty luvussa 32 (s. 37).

Tulokset on testausta haitanneen pienen vapausastemäärän vuoksi jaettu tilastollisesti merkitseviin riippuvuuksiin ja hypoteettisiin riippuvuuksiin ja ne ovat seuraavat:

— Työajan menekkiä selittivät regressioanalyysissä merkitsevästi ns. työvaikeustekijät, työmenetelmä, työtahtia kuvaava siirtymisnopeus, työpäivän ajankohta, työpäivän järjestysnumero ja eräät työntekijää kuvaavat muuttujat.

— Taimitarhatyössä työntekijää kuvaavista muuttujista ainoastaan "asenne"-faktori selitti merkitsevästi työn tuotosta. Korrelaatioanalyysissä kevyemmän työmenetelmän eli taimien noston työajan kanssa korreloivat yli 0,5 kertoimella "asenne"- ja "suoriutumistarve"-faktorit ja raskaammassa työssä eli rullataimien leikkauksessa vain "asenne"-faktori.

— Kuitupuun teossa merkitsevästi työajanmenekkiä regressio-analyysissä selittävät "työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky"- ja "suoriutumistarve"-faktorit. Korrelaatio-analyysissä "työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky"-faktori korreloi merkitsevästi vähintään 10 % riskillä molempien työmenetelmien kasausajan kanssa. Lisäksi yli 0,5 korrelaatiokerroin oli "asenne"-faktorin ja kasausajan sekä "suoriutumistarve"-faktorin ja runkokohtaisen työajanmenekin kanssa molemmissa työmenetelmissä.

— Työpäivän ajankohdan ja tehdyn työmäärän vaikutusta työajan menekkiin kuitupuun teossa tutkittiin erityisellä 3-vaiheisella mallilla, josta saatiin 28 %—74 % selitysasteita. Tulokset viittasivat siihen, että tehty työmäärä saattaa olla kumuloituvaa työaika parempi selittäjä.

— Sydämen syketaajuuksien muutoksia selittivät regressioanalyysissä merkitsevästi työvaikeustekijät, työmenetelmä, työtahtia kuvaava siirtymisnopeus, työpäivän ajankohta, työpäivän järjestysnumero ja eräät työntekijää kuvaavat muuttujat.

— Työvaikeustekijöistä tulivat regressioanalyysissä merkitseviksi selittäjiksi taimitarhatyössä lämpötila ja kuitupuun teossa rungon tilavuus, oksaisuusluokka ja lämpötila.

— Taimitarhatyössä selittivät merkitsevästi sykettä työntekijää kuvaavista muuttujista "työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky"- ja "asenne"-faktorit. Rullataimien leikkauksessa oli yli 0,5 korrelaatiokerroin kuormittumisprosentin ja seuraavien faktoreiden välillä: "työn suunnittelukyky", "työn nopeitempoisten

osien suorituskyky", "työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky" ja "suoriutumistarve". Taimien nostossa vastaavasti korreloi vain "suoriutumistarve"-faktori.

— Kuitupuun teossa sykettä selittivät merkitsevästi "työn suunnittelukyky", "työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky"- ja "suoriutumistarve"-faktorit regressioanalyysissä. Korrelaatioanalyysissä vähintään 10 % riskillä merkitsevä korrelaatio kuormittumisprosentin kanssa oli molemmissa työmenetelmissä "työn suunnittelukyky"-faktorilla runkokohtaisen kuormittumisen suhteen ja "työn fyysisesti raskaiden osien suorituskyky"-faktorilla kasaustyövaiheen suhteen. Fyysinen suorituskyky korreloi positiivisesti kuormittumisen kanssa. Yli 0,5 korrelaatio-kertoimet olivat lisäksi sekä "työn nopeatempoisten osien suorituskyky"- että "suoriutumistarve"-faktoreiden ja kuormittumisprosentin välillä. Lisäksi subjektiivisesti arvioitu työtaito korreloi kasaustyövaiheen kuormittumisen kanssa yli 0,6 kertoimella. "Työn suunnittelukyky"- ja "työn nopeatempoisten osien suorituskyky"-faktoreiden ja kuormittumisen korrelaatio oli positiivinen ja siten asetetun hypoteesin vastainen.

— Sykkeen vaihtelua työpäivän aikana tutkittiin kuitupuun teossa erityisellä mallilla käyttäen "fysiologisen tilan"-käsitettä. Selitysasteet olivat 32...86 %. Tulos osoittaa sykefrekvenssin vaihtelevan työpäivän aikana tehdyn työmäärän funktiona. Työntekijästä ja tehdystä työmäärästä riippuen sykekäyrä muodostui joko nousevasta ja laskevasta tai nousevasta, laskevasta ja uudelleen nousevasta (tai vakaasta) jaksoista.

— Vertailevan työntutkimuksen periaate näytti toteutuvan vain osittain. Kuitupuun teossa regressiomuuttujien suhteen tasoitettujen työajan menekin keskiarvojen suhteiden variaatiokerroin oli tilastollisesti merkitsevästi pienempi kuin työmenetelmittäin laskettujen keskiarvojen variaatiokertoimet. Taimitarhатыön osalta tulos oli saman suuntainen, mutta ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Sen sijaan sellainen vertailevan työntutkimuksen periaatteen tulkinta, että suhteellisten erojen hajonta on käytännön kannalta merkityksetöntä, ei saanut tukea.

— Regressiomuuttujien suhteen tasoitettujen sykekeskiarvojen suhteiden suhteellinen hajonta oli myös pienempää kuin työmenetelmittäisten keskiarvojen. Tilastollisesti merkitsevä ero saatiin kuitenkin vain kuitupuun teon osalta, kun käytettiin tasoittamattomia keskiarvoja. Samoin kuin työajanmenekinkin kysessä ollen kuitupuun teossa suhteellisten arvojen käyttö työmenetelmittäisien keskiarvojen sijasta pienensi suhteellista hajontaa enemmän kuin taimitarhатыössä. Tämä tukee hypoteesia, jonka mukaan vertailevan työntutkimuksen periaate soveltuu työmenetelmien vertailuun sitä paremmin mitä lähempänä työmenetelmät ovat luonteeltaan toisiaan.

— Kuormittumisprosenttien suhteellinen hajonta oli suurempaa kuin sykekeskiarvojen. Suhteellisten arvojen käyttö näytti kaikissa tapauksissa pienentävän variaatiokerrointa, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Suhteelliset kuormittumisarvot hajosivat huomattavasti enemmän kuin suhteelliset sykearvot. Tämä osoittaa, että työmenetelmien välinen kuormittavuusjärjestys saadaan selville ver-

raten pienellä aineistolla, mutta cron kvantifioiminen vaatii huomattavasti suuremman koehenkilöjoukon.

— Suhteellisten arvojen riippuvuutta faktoreista selitettiin pienen vapausaste-määrän vuoksi erittäin hypoteettisella tasolla luvuissa 343 (s. 60) ja 344 (s. 67).

Tulosten suhdetta teorian muodostukseen pohdittiin luvuissa 35 (s. 85) ja 36 (s. 91). Viimeksi mainitussa tarkasteltiin myös tuloksien soveltamista käytännön metsätyöntutkimukseen. Teoreettisessa osassa hahmotellun mallin ylimmän kvantitatiivisuuden tason alkiot todettiin kaikki näissä aineistoissa relevanteiksi muuttujiksi, mikä osoittaa mallin käyttökelpoisuutta viittekehystenä, samoin malliin hahmoteltu takaisinkytkentä-ketju voitiin myös todeta relevantiksi.

Käyttäen selityksessä luvussa 252 (s. 30) hahmoteltua vaikutusten hallinnan teoriaa, pääteltiin fyysisesti raskaimmassa työssä eli kuitupuun teossa fyysinen suorituskky käyttäytymistä hallitsevaksi tekijäksi, josta pääasiassa riippuu elimistön tasapainotilan häiriintyminen eri työnopeuksilla. Mitä hyväkuntoisempi työntekijä on sitä korkeammalle suhteellisella hapenkulutustasolla hän voi työskennellä eli sitä suuremmaksi jää pelivara motivaation vaikutukselle. Fyysisen suorituskvyn säätelemässä rajoissa kuitenkin muut kyvyt esim. työtaito vaikuttavat käyttäytymiseen. Näin ollen vain hyvän fyysisen suorituskvyn omanneet työntekijät ovat voineet nostaa työtahtiaan motivoinnin edellyttämälle tasolle.

Keskiraskaassa työssä eli rullataimien leikkauksessa fyysinen suorituskky on myös hallinnut käyttäytymistä, mutta ei kuitenkaan yhtä voimakkaasti kuin kuitupuun teossa. Koska työ on nopeatempoista ja tarkkuutta vaativaa ovat myös psyykkiset ja psykomotooriset kyvyt selittäneet merkitsevästi elimistön kuormittumista. Saattaa olla, että työsuorituksella on motorisista kyvyistä riippuva yläraja, ja täten fyysisen suorituskvyn kasvu ei pääse selvästi vaikuttamaan työn tuotokseen.

Taimien nostossa ei fyysinen suorituskky ole vaikuttanut työn tuotokseen eikä kuormittumiseen. Fysiologisen tilankaan vaikutusta ei voida varmistaa, koska se on saatu molempia työmenetelmiä selittävästä mallista. Samaa on sanottava myös psyykkisten kykyjen vaikutuksesta. Tämä onkin ymmärrettävää, koska työ on fyysisesti kevyttä ja luonteeltaan yksinkertaista, joten työn tuotosta ja myös kuormittumista hallitsee työmotivaatio.

Työntekijän sykkeen vaihtelua selitettiin hypoteettisesti sydämen iskuvolyymien lasku-verimäärän adoptaatio-väsymysvaiheina. Suhteellisten työajanmenekki- ja kuormittumisarvojen hajonnan selitettiin olevan sitä pienempää mitä enemmän vertailtavissa työmenetelmissä vaaditaan samoja kykyjä työntekijällä ja mitä enemmän työntekijät motivoituvat samalla tavoin kumpaankin työmenetelmään. Tällöin työntekijän vaihdos vaikuttaa molempien menetelmien tuloksiin samansuuntaisesti ja mahdollisimman paljon samalla suhteellisella vaikutustasolla.

Luvussa 36 (s. 91) suoritetun pohdinnan perusteella todettiin, että vertailvan työntutkimuksen periaatetta lienee sovellettu liian kriitikittömästi käyttäen liian pieniä työntekijämääriä ja kiinnittämättä huomiota työntekijäin valintaan sekä työmenetelmien eroavuuteen. Samoin työntutkimusten lyhytaikaisuus voi aiheuttaa tuloksiin harhaa etenkin, jos suoritetaan joko puhtaita aikautkimuksia tai kuormitustutkimuksia.

KIRJALLISUUSVIITTEET

- Ager, B. H:son. 1967. Tidformler för huggning baserade på fältstudier 1957—67. Skogsarbeten, redogörelse nr 12. Stockholm.
- Ahmavaara, Y. 1969. Yhteiskuntatieteen kyberneettinen metodologia. Tammi. Helsinki.
- Aho, K. Vibration Measurements of Chain Saws. Work-Environment-Health, Vol. 7. No 1. Helsinki.
- , — Kättö, J. 1971 a. Traktorityö ja työterveys. Vakolan tiedote. Helsinki.
- , — 1971 b. Tutkimus metsätraktorin heilumisen mittaus- ja arvostelumenetelmän kehittämiseksi. Summary: Experiment for developing a method how to measure and evaluate the rocking of the forest tractor. Maatalouskoneiden tutkimuslaitos, Tutkimusseleostus 9. Helsinki.
- , — Rantapuu, K. 1971. Metsätraktorin veto- ja nousukyvyistä rinteessä. Summary: On slope-elevation performance for forest tractors. Folia Forestalia 111. Helsinki.
- Ahonen, M. 1968. Apteeraus- ja karsintatavan vaikutus mäntysahapuun hakkuuseen. Metsäntutkimuslaitos. Moniste.
- Andersson, L., Bergström, L., Kranz, A., Lennerheim, G., Petterson, B. 1968. Usual av skogstraktorförare med psykologiska test. Summary: Selection of tractor operators by means of psychological tests. Skogsarbeten redogörelse 7. Stockholm.
- Allardt, E. 1964. Yhteiskunnan rakenne ja sosiaalinen paine. Porvoo—Helsinki.
- Allgemeine Anweisung für Leistungsuntersuchungen bei der Waldarbeit. 1959. GEFFA-Drucksache D 41.5. Auflage. Freiburg.
- Almqvist, G. 1945. Några synpunkter på tidsstudierna och deras användning inom skogsbruket. SDA Meddelande nr. 18. Stockholm.
- Andersen, K.L., Myhre, K., Vik, T. 1970. Likevekten i det inre kroppsmiljø ved langvarig muskelarbeid. Summary: Homeostasis (Internal Environment) during Prolonged Work. Det Norske Skogsforsöksvesen, Driftsteknisk rapport nr. 7. Vollebek.
- Appelroth, S.-E. 1970. Tutkimus metsänistutuskoneista m/TTS, Ylö, ja Holkki. Summary: A Study of Tree Planting Machines m/TTS, Ylö and Holkki. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisu- ja 68.5. Helsinki.
- , — Harstela, P. 1970. Tutkimuksia metsänviljelytyöstä I. Kourukuokka, kentälapio, taimivakka, taimilaukku sekä istutuskoneet Heger ja LDM-1 istutettaessa kuusta peltoon. Summary: Studies on afforestation Work I. The Use of semicircular hoe, the field spade, plant basket, plant bag and the Heger and LDM-1 tree planters in planting spruce in fields. Folia Forestalia 85. Helsinki.
- Aro, P. 1945. Metsätyöntutkimukset. Niiden tarkoitus ja menetelmät. Metsätalon julkaisu no. 1. Helsinki.
- Ashby, R. W. An Introduction to Cybernetics. University Paperbacks. London.
- Asmussen, E. 1972. Väsymys ja fysiologinen työkyky. Väsymys työssä. Nes-konferenssi 5—6. 10. 1972. Työterveyslaitos. Helsinki.
- Appelroth, K. 1968. Työvaikeustekijöiden selvitys männyn taimien kourukuokkaistutuksessa. Metsähallinnon kehittämissaosto. Tutkimusseleostus 90. Hirvas.

- Asserståhl, R. 1973. Terrängtransport med skotare. Analys av terrängfaktorers inverkan på hastigheten. Skogsarbeten redogörelse nr. 2. Stockholm.
- Barnes, R. M. 1940. Motion and Time Study. New York.
- Barring, U. 1967. Studier av metoder för plantering av gran och tall på åkermark i södra och mellersta Sverige. Summary: Studies of Methods employed in the Planting of *Picea abies* (L.) H. Karst and *Pinus silvestris* L. on Farm Land in Southern and Central Sweden. *Studia Forestalia Suecica* 50. Stockholm.
- Bartholomew, A. I. Bennet, W. D. I. Winer, H. J. 1965. Factors affecting productivity of wheeled skidders. *Pulp Paper Mag. Can* 4.
- Berg, H., Bäckström, P.-O., Gustavsson, R., Hägglund, B. 1973. Några system för ungskogsröjning — en analys. Skogsarbeten redogörelse nr. 5. Stockholm.
- Bradley, G., Patkai, P. 1974. Skiftarbete vid mekaniserad avverkning — Del 1. Socialpsykologiska och psykofysiologiska aspekter. Summary: Shiftwork in mechanized logging — Part 1. Socio-psychological and psycho-physiological aspects. Skogshögskolan. Institutionen för skogsteknik. Rapporter och Uppsatser nr. 66. Garpenberg.
- Broadbent, D. E. 1962. Common principles in perception, reaction, and intellectual decision. *Defense Psychology*. Pergamon. Oxford.
- Burger, G. C. E. 1969. Hearth Rate and the Concept of Circulatory load. *Ergonomics*, vol. 12. No. 6. Birmingham.
- Bäckström, P.-O. 1970. Prestationer och kostnader vid maskinell plantering. Summary: Performance and costs of mechanized tree-planting. Skogshögskolan. Rapporter och uppsatser 19. Stockholm.
- Callin, G., Hånsson, J.-E. 1959. Plantering av tall och gran. En jämförande arbetsstudie av manuella metoder. Summary: Planting of pine and spruce. Comparing studies of manual methods. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut*. Band 48. Nr. 8. Stockholm.
- Canong, W. F. 1971. *Review of Medical Physiology*. Lange Medical Publications. California.
- Collet, M. H. 1949. Harvesting the forest crop in southern U.S.A. United Nations scientific conference on the conservation and utilisation of resources. Improvements in logging techniques in the United States. United Nations. IP. Moniste.
- Cox, W. K. The use of diesel tractors on road construction and logging operations in eastern Canada. *Canadian Pulp and Paper Association*. Montreal.
- Draper, N. R., Smith, H. 1968. *Applied Regression Analyses*. New York — London — Sydney.
- Dunnette, M. D., Campbell, J. P., Hakel, M. D. 1967. Factors contributing to job satisfaction and job dissatisfaction in six occupational groups. *Organizational Behavior and Human Performance* 2.
- Durbin, J., Watson, G. S. 1951. Testing for serial correlation in mean squares regression. *Biometrika*, Desember -50 -51.
- Ekelund, L. G. 1967. Circulatory and respiratory adaptation during prolonged exercise. *Acta Physiol. Scand.* 70.
- Eld, L.-E. 1970. Metod- och organisationsstudier av kortvirkestransport med skotare. Summary: Methods- and organizations analyses of shortwood forwarding. Skogsarbeten. Redogörelse 17. Stockholm.
- Elton, C. F., Rose, H. A. 1973. Relationship Between Variety of Work Experience and Personality. *Journal of Applied Psychology*. Vol. 58 no. 1.
- Eskola, A. 1962 ja 1968. Sosiologian tutkimusmenetelmät I ja II. Porvoo — Helsinki.
- Fornallaz, P. F. 1940. *Die Wahrscheinlichkeitsrechnung im Dienste der Arbeitsanalyse*. Industrielle Organisation.

- , — 1950. Neue Untersuchungen auf dem Gebiete der Schätzung des Leistungsgrades. Industrielle Organisation.
- , — 1952. Die Schätzung des Leistungsgrades mit Hilfe des Films. Industrielle Organisation Nr. 9.
- Friedlander, F., Walton, E. 1964. Positive and negative motivations toward work. *Administrative Science Quarterly*, 9.
- Folstad, Ø. 1969. En undersøkelse av menneskelige og tekniske faktorer innvirkning på tommertransport med bil. Summary: A Study of the Influence of Human and Technical Factors on Today's Truck Transportation of Timber. Det Norske Skogforsøksvesen. Driftsteknisk rapport nr. 7. Vollebakk.
- Gardell, B. 1971. Job satisfaction among forest workers. Methods in ergonomic research in forestry. IUFRO division No 3. 'Forest operations and techniques', publication No 2. Hurdal Norway.
- Ghiselli, E. E., Brown, C. W. 1955. *Personnel and Industrial Psychology*. McGraw — Hill Book Company Inc.
- Glomme, J., Andersen, K. L. 1969. Behovet for arbeidsmedisinske og biologiske undersøkelser av skogsarbeidere. Summary: Health and Biology of Woods Workers. Det norske skogforsøksvesen. Driftsteknisk rapport nr. 7. Oslo.
- Gläser, H. 1952. Untersuchungen über die Holzhavereiarbeiten am Steilhang. *Holzcentralblatt* Nr. 120.
- Gorpe, P. 1969. Tämämpäivän liikkeenjohtoa. Helsinki.
- Grounds, M. 1964. Raynand's Phenomen in Uses of Chainsaws. *The Medical J. of Australia* 1. 270.
- Gustafsson, L. 1974. Tillbudsrapportering — en möjlighet att minska olycksfallen. *Skogen* nr. 4.
- Haapamäki, A., Haataja, P. 1969. Tutkimus eräistä maataloustraktorin käyttöön perustuvista puunkorjuumenetelmistä väljennyshakkuissa. *Työtehoseuran julkaisuja* 137. Helsinki.
- Haarlam, R. 1973. The Effect of Terrain on the Output in Forest Transportation of Timber. Tiivistelmä: Maaston vaikutus puutavaran metsäkuljetustuotokseen. *Acta Forestalia Fennica*, Vol. 128. Helsinki.
- , — 1973. Maastotekijöiden vaikutuksesta metsämaan laikutukseen. Summary: On the Effect of Terrain to Scarifying of Forest Soils. Helsingin Yliopiston metsäteknologian laitos. *Tiedonantoja* 23. Helsinki.
- , — 1974. Maaston vaikutuksesta metsäteiden rakennukseen. Summary: On the effect of terrain on forest road construction. *Silva Fennica*, Vol. 7, No. 4. Helsinki.
- Haataja, P. 1965. Kolmen miehen puunkorjuumenetelmä maataloustraktorin vintturilla juonnettaessa. *Työtehoseuran julkaisuja* 108. Helsinki.
- Hahtola, K. 1963. Metsänomistajien käyttäytymistutkimuksissa sovelletut tutkimusotteet. Summary: Research approaches applied in the Finnish studies of forest owner's behavior. *Silva Fennica*. Vol. 7. No. 3. Helsinki.
- Hakkila, P. 1973. The effect of shash on work difficulty in manual planting. Seloste: Hakkuutähteen vaikutus käsinistutuksen työvaikeuteen. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 78. 1. Helsinki.
- Hall, B. 1973. Skogsarbet ur psykologisk synvinkel. *Skogsarbeten ekonomi* nr. 11. Stockholm.
- , — Fagen, R. E. 1956. Definition of a system. *Yearbook, Society for the advancement of general systems theory*. Vol. 1.
- Halpern, G. 1966. Relative contributions of motivator and hygiene factors to overall job satisfaction. *Journal of Applied Psychology* 50.

- Hansson, J.-E. 1965. Samband mellan personvariabler och prestation vid huggningsarbete. Summary: The relationship between individual characteristics of the worker and output of work in logging operations. *Studia Forestalia Succica* No. 29. Stockholm.
- , — Wikström, B.-O. 1974. Vibrationsbelastning på skogsmaskinförare. Summary: Vibration stress on forest drivers. Skogshögskolan, Institutionen för skogsteknik. Rapporten och Uppsatser 67. Garpenberg.
- Hari, P., Leikola, M., Räsänen, P. 1970. A dynamic model of the daily height increment of plants. *Ann. Bot. Fennia* 7.
- Harstela, P. 1968. Tutkimus karsintatavoista ja karsinta-ajan kuvaajista mäntysahatukkien teossa. Metsäteknologian laudaturtyö metsätutkintoa varten. Konekirjoite.
- , — 1970 a. The effect of winter conditions on the preparation of rough-limbed spruce pulpwood of approximate length. Tiivistelmä: Talviolosuhteiden vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun tekoon. *Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja* 69.2. Helsinki.
- , — 1970 b. Kasausajan ja valtimonlyöntitiheyden sekä tehollisen sahausajan määrittäminen järjestettyjen kokeiden, pulssitutkimuksen ja frekvenssianalyysin avulla. Summary: Determination of pulse repetition frequency and effective sawing time with set tests, pulse study, and frequency analysis. *Folia Forestalia* 80. Helsinki.
- , — 1970. Ks. Appelroth, S. E. ja Harstela, P. 1970.
- , — 1971 a. Metsätyömenetelmien ergonominen kehitys ja eräät työntekijään kohdistuvat fyysiset vaikutukset. Summary: The ergonomic development of the forest work methods and some physic effects on workers. *Folia Forestalia* 131. Helsinki.
- , — 1971 b. Työsuorituksen mittaaminen metsätyötutkimuksissa. Esitelmä Suomen Metsätieteellisen Seuran kokouksessa 18. 11. 1970. *Metsä ja Puu* 1. Helsinki.
- , — 1971 c. Työjärjestyksen vaikutus tynkäkarsitun ja likipituisen kuusikuitupuun teossa. Summary: The effect of the sequence of work on the preparation of approximately 3-m. rough-limbed spruce pulpwood. *Folia Forestalia* 105. Helsinki.
- , — 1971 c. Tehtäväkohtaisesti organisoidun ja osallistuvasti johdetun ryhmän ideointi metsätyön rationalisoinnissa. Systemiteoreettinen tarkastelu ja erään ryhmän analyysi. Metsätalouden liiketieteen sivulaudaturtyö. Konekirjoite.
- , — 1974. Mieliäpidetutkimus Imatran ympäristön vakinaisten hakkuumiesten työoloista, työssä viihtymisestä sekä suhtautumisesta puunkorjuun kehitykseen. *Metsäntutkimuslaitos, metsäteknologian osasto. Konekirjoite.*
- Harstela, P., Ruoste, T. 1970. Kokonaisten puiden esijuonto kaksirumpuvintturilla käytävä- ja riviharvennuksessa. Laitteiden ja menetelmien kehittelyä sekä tuotoskokeita. Summary: Preliminary full-tree skidding by two-drum winch in strip and row thinning. *Folia Forestalia* 91. Helsinki.
- , — Valonen, P. 1971. Työn tuotos, työntekijän kuormittuminen ja värinäaltius pelkässä kaadossa. Summary: The expenditure of working time, the stress of the worker and the stimulation of vibration during felling. *Folia Forestalia* 151. Helsinki.
- Heikinheimo, L., Heikinheimo, M., Lehtinen, M., Reunala, A. 1972. *Suomalainen metsätyömies*. WSOY. Helsinki.
- , — Reunala, A. 1973. Earnings of Forest Workers in Scandinavia, Especially in Finland. Tiivistelmä. *Metsätyömiesten ansiot Suomessa ja muissa pohjoismaissa. Folia Forestalia* 175. Helsinki.
- Herzberg, F., Mausner, B., Snyderman, B. 1956. *Motivation to work*. New York.
- Heiskanen, H. 1972. Palkan muodostuksen teoriaa ja käytäntöä. Erään sisällönanalyysimenetelmän käyttö yleisen käyttäytymisteorian laadintaan ja tämän käytännölliseen soveltamiseen esimerkkinä palkan muodostuminen. Helsingin Teknillinen Korkeakoulu. *Tieteellisiä julkaisuja* 38. Helsinki.

- Af Heurlin, L. O. 1971. Kansantaloustieteen tutkimuskohteet ja -menetelmät. Ylioppilastutkimus. Helsinki.
- Hilf, H. H. 1953. Grundleistung oder Normalleistung. Zentralblatt für Arbeitswissenschaft und soziale Betriebslehre. Heft 10.
- , — 1957. Arbeitswissenschaft. Grundlagen der Leistungsforschung und Arbeitsgestaltung. München.
- , — 1963. Principles of work-science. Tabak technicum Hamburg. Technical-Scientific Series of Articles No 34 E.
- , — 1970. Forstliche Ergonomie und Forstliche Arbeitswissenschaft. Aufgaben der forstlichen Arbeitswissenschaft. Forstarchiv. Heft 5. Hamburg.
- Hoel, P. 1964. Introduction to mathematical statistics. New-York — London.
- Huusko, M. 1971. Taimitarhojen työsaavutustutkimus. Metsähallitus, kehittämisjaosto. Tutkimusselostus N:o 106. Hirvas.
- Huusko, M. 1971. Taimitarhojen työsaavutustutkimus. Tutkimusselostus N:o 106. Metsähallitus, Kehittämisjaosto. Hirvas.
- Höfle, H. 1973. Was ist bei der Planung von Arbeitsversuchen zu beachten. Allgemeine Forst Zeitschrift 21. München.
- Jahnukainen, M. 1970. Yrityksen informaatiojärjestelmän suunnittelun kehitysmetodi. Summary: A frame method for planning an information system for the firm. Kansantaloudellisia Tutkimuksia 30. Helsinki.
- Johansson, G., Pettersson, B. 1969. Basträmetoden. Metodstudie 1967. Summary: The base-tree method. Method Study 1967. Skogsarbeten, redogörelse nr. 5. Stockholm.
- Jukkola, S. 1966 a. Selvitys erilaisten hakkuumenetelmien käytöstä kuusipaperipuun hankinnassa. Summary: Report on the use of Different Methods for Logging Spruce Pulpwood: Metsätehon tiedotus 255. Helsinki.
- , — 1966 b. Tutkimus 2...8 m vaihtelevan pituisen ja 2 m kuusikuitupuun hakkuusta. Summary: A Study of the Felling of 2...8-m Length Spruce Pulpwood and 2-m Spruce Pulpwood. Metsätehon tiedotus 265.
- , — 1967. Selvitys erilaisten hakkuumenetelmien käytöstä kuusipaperipuun hankinnassa II. Summary: Report on the use of Different Methods for Logging Spruce Pulpwood II. Metsätehon Tiedotus 267. Helsinki.
- , — 1968. Pituuden mittauksen poisjäämisen ja karsinnan laadun vaikutuksesta mänty-, kuusi- ja koivupaperipuun hakkuuseen. Jatkotutkimus. Summary: Effect of the Omission of Length Measurement and influence of the Limbing Quality on the Cutting of Pine, Spruce and Birch Pulpwood. Continuation Study. Metsätehon tiedotus 281. Helsinki.
- , — Kaskinen, A. 1973. Pika 50-korjuuketjut. Summary: Pika 50 Harvesting Systems. Metsätehon tiedotus 320. Helsinki.
- , — 1974. Prosessori- ja harvesterikorjuuketjut. Summary: Processor and Harvester Systems. Metsätehon tiedotus 329. Helsinki.
- Kahala, M. 1969. Tutkimus puutavaran valmistukseen vaikuttavista tekijöistä. Palkkaperustutkimus. Summary: A Study of the factors Influencing the cutting of Timber. Wage Base Study. Metsätehon julkaisu 44. Helsinki.
- Kahala, M. 1972. Puutavaran metsäkuljetus kuormatraktorilla. Summary: Forest haulage of timber by forwarder. Metsätehon tiedotus 310. Helsinki.
- , — 1973. Järeän puutavaran alkukuljetus kasvatusmetsissä. Summary: Forest haulage of large-sized timber in thinnings. Metsätehon tiedotus 321. Helsinki.
- , — Rantapu, K. 1968. Tutkimus sahapuun kokoisten runkojen ja kokopuiden hakkuusta, juonnosta ja varastokäsittelystä. Summary: Study on Cutting, Skidding and Handling at the landing of Sawlog-Sized and Full Trees. Metsätehon tiedotus 276. Helsinki.

- , — 1970. Tutkimus puutavaran valmistustavan ja leimikkotekijöiden vaikutuksesta hakkuuseen ja metsäkuljetukseen. Summary: Study of the effect of the method of timber preparation and marked-strand factors on cutting and forwarding with a forwarder. Metsätehon tiedotus 292. Helsinki.
- Kaminsky, G. 1966. Arbeitsphysiologische Untersuchungen in der Forstwirtschaft. Die ergonomische Betrachtung der Forstarbeit. Sammelreferat 1960—1965 Forstarchiv 3. Hannover-Waldhausen.
- Kanecka, M. 1972. Physiological investigations on the fatigue of power-saw operators at the place of work. Prace Instytutu Badawczego Leśnictwa. N:o 422/426.
- Kantola, M., Granvik, B.-A. 1950. Fysiologisten näkökohtien huomioonottaminen metsänhakkuussa. Summary: Consideration of the physiological viewpoint in logging. Eripainos Työtehoseuran vuosikirjasta 1950.
- Karvonen, M. J. 1954. Physiological research in Lumberjack's working competitions. Comptes rendus I lieme Congres, Rome 1953. IUFRO.
- Kinsman, R. A., Weiser, P. C., Stamper, D. A. 1974. Multidimensional Analysis of Subjective Symptomatology during Prolonged Strenuous Exercise. Ergonomics, vol. 16. N:o 2.
- Koivisto, V. 1970. Metsätyöntekijän lämpötila ja asusteet. Työtehoseuran metsätiedotus 165. Helsinki.
- Koli, P. 1960. Organisaatio ja johtajuus. Porvoo — Helsinki.
- Kylin, B., Gerhardsson, G., Hansson, J.-E., Lindström, J.-M., Liljenberg, B., Swensson, A., Åstrand, J. 1968. Hälsa- och miljöundersökning bland skogsarbetare. Arbetsmedicinska instituter. Rapport nr. 5. Stockholm.
- Kärkkäinen, M. 1969. Metsän vaurioituminen kesäaikaisessa puunkorjuussa. Summary: The Amount of Injuries Caused by Timber Transportation in the Summer. Acta Forestalia Fennica vol. 100. Helsinki.
- Kärkkäinen, M. 1971. Johdatus metsätyötieteen tutkimusmenetelmiin. Summary: An Introduction to the Research Methods in Forest Work Science. Helsingin Yliopiston Metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 13. Helsinki.
- , — 1973. Näkökohtia kuitupuupölkkyjen siirtelymatkasta. Summary: A note on the moving distance of pulpwood bolts. Silva Fennica, Vol. 7, N:o 3. Helsinki.
- , — 1973. On the properties of tree wounds due to timber transportation in thinnings. Tiivistelmä: Harvennuspuutavaran kuljetuksen aiheuttamien puustovaurioiden ominaisuuksista. Helsingin Yliopiston metsäteknologian laitos. Tiedonantoja N:o 22. Helsinki.
- Kättö, J., Salminen, H. 1973. Metsätraktorien melu, värinä ja heilunta. Noise, vibration and rocking of forest tractors. Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitos. Tutkimus- selostus 10. Helsinki.
- Köpf, E.-U. 1970. Forstliche Ergonomik und Forstliche Arbeitswissenschaft. Eine sozialökonomische Betrachtung der Ergonomik. Forstarchiv Heft 5. Hamburg.
- Laitinen, K. 1967. Runkoina hankinnan kokeilu v. 1966. Metsähallinnon Metsäteknillisen toimiston tutkimusselostus 75. Hirsas.
- Lassila, I. 1930. Työtieteellisiä tutkimuksia metsätyöstä I. Pinopuun teko. Summary: Studies on Efficiency of Labour in Forest Work I. Preparation of Piled Wood. Acta Forestalia Fennica n:o 36. Helsinki.
- Lehtinen, M., Karhunen, P., Karhunen, O. 1972. Metsätyömiesten terveys. Folia Forestalia. Helsinki.
- Levanto, S. 1965. Tutkimuksia moottorisahakarsinnasta. Summary: Investigations into the lopping of felled trees by power saw. Työtehoseuran julkaisuja 109. Helsinki.

- , — 1968. Tutkimus moottorisahan polttonesteen ja teräöljyn kulutuksesta kuusipaperipuun teossa. Summary: An investigation into the consumption of fuel and chain oil by power saws in the preparation of spruce pulpwood. Työtehoseuran julkaisuja 125. Helsinki.
- , — 1970. Työtahdin vaikutus metsätyöntekijän kuormittumiseen. Summary: The effect of work pace on logger stress. Työtehoseuran julkaisuja 148. Helsinki.
- , — Mälkiä, E. 1971. Työn vaihtelun vaikutus metsätyöntekijän kuormittumiseen. Summary: The influence of work variation on physiological strain in loggers. Työtehoseuran julkaisuja 152. Helsinki.
- Levine, E. L., Weitz, J. 1968. Job satisfaction among graduate students. Intrinsic versus extrinsic variables. *Journal of Applied psychology*, 58.
- Van Loon, J. H., Spoelstra, L. H. 1971. Measurement of the emergy expenditure during work. *Methods in ergonomic research in forestry. IUFRO division No 3. Forest operations and techniques' publication No 2.* Hurdal.
- Lucas, G. 1965. Wheeled skidder productivity study. *Amer. Pulpw. Ass. Tech. Pap.* October.
- Lundgren, N. P. V. 1946. The physiological effects of time schedule work on lumberworkers. *Acta Physiol. Scand., Suppl.* 13.
- Lundgren, N. 1969. Fysiologisk arbetsmätning. *Handbok i ergonomi* Uppsala.
- Mackworth, N. H. 1947. High Incentives versus Hot and Humid Atmospheres in a Physical Effort Task. *Medical Research Council of Great Britain.*
- Makkonen, O. 1947. Aikatutkimuksia pinopuutavaran teosta. *Metsätalon julkaisu* 7. Helsinki.
- , — 1950. Hakkuutöiden aikatutkimustulosten soveltaminen käytäntöön. Summary: Practical Application of the Results of Time Studies in Logging. *Metsätalon julkaisu* 25. Helsinki.
- , — 1954. Metsätöiden vertailevan aikatutkimuksen periaate. Summary: The principle of comparative time studies in forest work. *Acta Forestalia Fennica* 61.14. Helsinki.
- , — 1956. Puutavaran hevospeljetus. Työntutkimus. Summary: Horse haulage of Timber. *Work Study. Metsätalon julkaisu* 33. Helsinki.
- Malmberg, G. E. 1968. Avverkningsteknik i östra Nordamerika. Rapport från studieresa juli 1968. Summary: Logging Systems in Eastern North America. *Skogsarbeten Redogörelse* nr 10. Stockholm.
- Maslow, A. H. 1954. *Motivation and Personality.* New York.
- Mattsson Mårn, L. 1945. Skogarbetsstudier i Sverige. *Metsätalon julkaisu* n:o 1. Helsinki.
- Mattsson Mårn, L. 1953. Arbetsstudier. — Ett av arbetslärans viktigaste hjälpmedel. *Skogshögskolan. Moniste.* Stockholm.
- McCull, B. J. 1950. Recent developments in mechanical logging. *Pulp and paper Magazine of Canada. Woodlands Review.* April. Ottawa.
- Methods in Ergonomic Research in Forestry.* 1971. IUFRO Division no. 3 "Forest Operations and Techniques" Publication No. 2. Hurdal, Norway.
- Mezals, J. 1971. Tutkimus työskentelyolosuhteista metsätaloudessa. (Issleclovanie uslovij truda a lesnom hozjaistve). *Latvian metsätutkimuslaitoksen tiedottaja.* Riga. (Käännös).
- Michael, E. D. Jr., Hutton, K. E., Horvath, S. M. 1961. Cardiorespiratory responses during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.* 16:6 997—1000.
- Myers, S. M. 1964. Who are your motivated workers? *Harvard Business Review*, 42.
- Mäkelä, J. 1969. Measurement of productivity seen from the forester's point of view. Tiivistelmä: Tuottavuuden mittaaminen. Työtehoseuran julkaisuja N:o 134. Helsinki.
- , — 1972. Viime 5-vuotiskauden puunkorjuuolot ja -menetelmät maassamme sekä niiden riippuvuus hakkuutavasta. Työtehoseuran metsätiedotus 191. Helsinki.
- , — 1972. Eräisiin puunkorjuukustannuksiin vaikuttavat tekijät yksityismetsätaloudessa. Summary: Factors affecting some characteristics of logging in Finnish private forestry. Työtehoseuran julkaisuja N:o 164. Helsinki.

- Mälkiä, E. 1971. Fyysisen rasituksen mittausmenetelmät metsätyössä. Työtehoseuran metsätiedotus 179. Helsinki.
- , — 1974. Iän ja fyysisen suorituskyvyn vaikutus työntekijän kuormittumiseen puutavaran teossa. Summary: The influence of age and physical performance on strain of the worker in making timber. Työtehoseuran julkaisuja N:o 173. Helsinki.
- Nadler, G. 1963. Work design. Homewood.
- Nagel, E. 1961. The structure of science. London.
- Neeley, J. D. 1973. A Test of the Need Gratification Theory of Job Satisfaction. Journal of Applied Psychology, Vol. 57. n:o 1.
- Neugebauer, W. O. 1971. Mechanization in nurseries. In techniques in silvicultural Operations. Papers presented at the XV IUFRO Congress 1971. IUFRO Division No. 3. "Forest operations and techniques" Publication No 1.
- Niensted, W., Hänninen, O., Arstila, A. 1972. Ihmisen fysiologia ja anatomia. WSOY. Helsinki.
- Niitamo, O. 1968. Systemiajattelun eräitä pääpiirteitä. Tilastollinen päätoimisto. Monistettuja tutkimuksia n:o 6. Helsinki.
- Oja, P. 1968. Katsaus sydämen sykintätaajuutta ja hapenkulutusta submaksimaalisessa työssä muuttaviin tekijöihin. Stadion 3.
- Oksala, O. 1966. Työn psykologia. Tietomies. Helsinki.
- Ondrus, V. Faktory ovlivnuciji uspokojeni z prace na lesnim Zavode, Faktoren welche die Arbeitssatisfaktion in einem Forstbetrel beeinflussen. Sunteza 3.
- Palo, M. 1971. A systems-oriented frame model for planning research projects in forestry. Tiivistelmä: Metsällisen tutkimusprojektin suunnittelun systeemitoteuttinen kehysmalli. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 72.4. Helsinki.
- Pentti, L. 1967. Työn motivaatio-tekijät tutkimuksen valossa. Tehostaja 8.
- Pesonen, J. 1974. Hakkuutyö ja työtapa-urmat. Sosiaali- ja terveysministeriö sosiaalipoliittinen tutkimusosasto. Tutkimuksia 6. Helsinki.
- Pettersson, B. 1966. Metodstudier i skogen. Skogsarbeten. Ekonomi Nr. 5. Stockholm.
- , — Pettersson, B. 1972. Metodstudier av motormanuell ungsogskogsröjning. Skogsarbeten, redogörelse 9. Stockholm.
- Poulton, E. C. 1969. Styr- och kontrolloperationer. Handbok i ergonomi. Stockholm.
- Putkisto, K. 1947. Tutkimuksia vanerikoivujen hankinnasta II. Aikatutkimuksia vanerikoivujen rasiinkaadosta, karsimisesta ja katkomisesta. Summary: Investigations Concerning the Logging of Veneer Birches II. Time studies on the summer felling, branching and bucking of veneer birches. Metsätehon julkaisu 5. Helsinki.
- , — 1956. Tutkimuksia pyörätraktoreiden käytöstä puutavaran metsäkuljetuksessa. Teknillistaloudellinen selvittely. Summary: Investigations of the use of wheel tractors for the forest transport of timber. Metsätehon julkaisu 36. Helsinki.
- , — 1959. Pinotavaran tekijäin työskentelyjärjestelmän analysointia. Summary: Analysis of the working Method of Cordwood Loggers. Metsätehon tiedotuksia 162. Helsinki.
- Pölkki, V., Väisänen, U. 1970. Monitoimikoneiden potentiaalinen taloudellisuus. Summary: The potential economicalness of processors. Metsätehon tiedotus 301. Helsinki.
- Rainio, K. 1971. Käytännön psykologiaa. WSOY. Helsinki.
- Rohmert, W. 1973. Pulsfrequenz und Dauerbistungsgrenze. Pulzfrequenz und Arbeitsuntersuchungen. Refa. Beuth-Vertrieb GmbH. Berlin.
- Rosen, H. 1963. Occupational motivation of research and development personee. Personnel Administration, 26.
- Rysä, M. 1970. Paperipuurunkojen esijuonto harvennushakkuualalla. Summary: Preliminary Skidding of Pulpwood Logs on a Thinning Site. Helsingin Yliopiston Metsäteknologian laitos. Tiedonantoja 5. Helsinki.

- Rönnholm, N., Heinonen, A. O., Karvonen, M. J. 1963. Tutkimus hakkuumiehen kalorikulutuksesta ja sydämen toiminnasta koivupaperipuun siirrossa sekä sydämen toiminnasta hakkuun eri työvaiheissa. Pienpuualan toimikunnan tiedotus n:o 88. Helsinki.
- Saarisalo, R. 1971. Metsänkorjuussa käytettävien monitoimikoneen ohjaamo käyttäjän kannalta. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu.
- Salminen, J. 1964. Katsaus puutavaran kuorintaan. Summary: Review of debarking timber. Metsätehon tiedotus 231. Helsinki.
- Samset, I., Strømnes, R., Vik, T. 1969. Hogstundersøkelser i norsk gran- og furuskog. Summary: Cutting studies in Norwegian spruce and pine forests. Meddelser fra Det norske skogforsøksvesen nr 95. Vollebekk.
- Selge, H. 1950. Stress. Montrea, Acta inc.
- Silander, S. 1967. Tutkimus eri karsinta-asteisten runkojen hakkuusta verrattuna pino-tavaran palstatiin varteen hakkuuseen. Metsähallinnon hankintateknillisen toimiston tutkimusselostus 77. Hirvas.
- Silversides, C. R. 1966. Use of articulated wheeled tractors in logging. Unasylva 4.
- Skoglig arbetsstudienomenklatur i Danmark, Finland, Norge och Sverige. 1963. Julk. Pohjoismaiden metsätyöntutkimusneuvosto. Tiedotus N:o 1.
- Snedecor, G. W., Cochran, W. C. 1967. Statistical methods. Ames.
- Steinlin, H. 1955. Zur Methodik von Feldversuchen im Havungsbetrieb. Mitteilungen der schweizerischen Anstalt für das forstliche Versuchswesen, XXXI. Band, 2. Heft.
- Stenström, F. 1969. Traktorlek och avverkningssystem. En ekonomisk jämförelse för två högmekaniserade avverkningssystem. Summary: The impact of Size of Operation on Logging Costs. An economic comparison of two highly mechanized logging systems. Skogsarbeten. Redogörelse 10. Stockholm.
- , — 1970. Virkesvärdet i högt mekaniserade avverkningssystem. Foredragen vid rationaliseringskonferensen i Karlstad 4—5 december 1969 — Papers given at the rationalization conference held in Karlstad December 4—5, 1969. Skogsarbeten, Redogörelse 2. Stockholm.
- , — Svensson, A. 1969. Sundmobilen. Skogsarbeten, Teknik nr 10. Stockholm.
- Sundberg, V. 1970. Interim Report on a Study of the Full Mechanisation of the First Thinning. Delrapport över projektet "Helmekaniserad ungskogsgallring". Institutionen för skogsteknik. Skogshögskolan. Rapporter och Uppsatser 43. Stockholm.
- Sällfors, T. 1945. Teollisuuden työntutkimukset. Helsinki.
- Taylor, H. J., Buskirk, E. R., Brozek, J., Anderson, J. T., Grand, F. 1957. Performance capacity and effects of caloric restriction with hard physical work on young men. J. Appl. Physiol., 10.
- Teitelbaum, P. 1971. Fysiologinen psykologia. Jyväskylä.
- Tidenberg, V. 1965. Tutkimuksia moottorisahan käytöstä puutavaran valmistuksessa sekä sen soveltamisesta karsintatyöhön. Metsäteknologian laudaturtyö metsätutkintoa varten. Konekirjoite.
- Tiffin, J. 1952. Industrial psychology. New York.
- Tigerstedt, R. 1900. Skogsarbetarens föda i nordvästra delen av Ångermanland. Högria Band LXII.
- Tsaneva, N. 1972. Väsymys työssä. Nes-konferenssi. Työterveyslaitos. Helsinki.
- Turtiainen, K., 1973. Traktori kestää kuskia paremmin. Työ-terveys-turvallisuus n:o 9. Helsinki.
- Tynkkynen, M. 1974. Työvaikeustekijöiden vaikutus lautasauraukseen. Summary: Effect of work-difficulty factors on disk ploughing. Metsätehon tiedotus 330. Helsinki.
- Vehviläinen, H. 1972. Palkkaus ja työolot metsäkonetöissä syksyllä 1971. Summary: The working conditions and earnings of forest-machine operators in autumn 1971 in Finland. Folia Forestalia 153. Helsinki.

- Vik, T., Aalvik, M. 1969. Arbeittynghden vid hogst og stammelunning. Summary: Work load during cutting and treelength skidding. Det norske skogforsoksvesen. Driftsteknisk rapport nr. 7. Oslo.
- Vuori, J. 1968. Verenkieritoelimiston mukautuminen ruumiilliseen rasitukseen. Summary in English. Stadion no 1.
- Vuoristo, J. 1933. Sahateollisuuden työtehotutkimuksia III. Tukkien teko ja ajo Perä-Pohjolan mäntymetsissä. Summary: Investigations into the Efficiency of the Saw-Mill Industry III. Cutting and Hauling Logs in North-Ostrobothnian Pine Forests. Helsinki.
- Vöry, J. 1954. Eräiden aikatutkimusaineistojen analyysiä. Summary: Analysis of the time study materials of some forest jobs. Metsätehon julkaisu 31. Helsinki.
- Weissenberg, P., Gruenfeld, L. W. 1968. Relationship between job satisfaction and job involvement. Journal of Applied Psychology. 50.
- Wiio, O. A. 1969. Yritysdemokratia ja muuttuva organisaatio. Helsinki.
- Wild, R., Dawson, J. A. 1972. The relationship of Specific Job Attitudes with overall Job Satisfaction and the Influence of Biographical Variables. The Journal of Management Studies. May-72.
- Wolf, M. G. 1970. Need gratification theory: a theoretical reformulation of job satisfaction/dissatisfaction and job motivation. Journal of Applied Psychology. Vol. 54 n:o 1.
- Åstrand, I. 1960. Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. Acta Physiology Scand. 49.
- , — 1969. Fysisk träning. Handbok i ergonomi. Stockholm.

SUMMARY

Theoretical part

The purpose of the study was to formulate an ergonomic model for forest work to serve as frame of reference for theoretical and empirical analysis, to examine the correlations of independent variables in play in forest work such as human, conditions and working method variables with consumption of working time and the physical strain on the worker. The investigation was confined in the empirical material to the cutting of roll-seedlings and the lifting of seedlings in the nursery, and to the cutting of pulpwood by two working methods, i.e. medium-heavy and heavy work. The final aim was to formulate and test hypotheses of forest work science, postulate new hypotheses and outline an overall theory on the basis of systems analysis. An additional special object was to study the application of the principle of comparative time study in an empirical material and to apply the same principle in pulse rate investigations. This is termed the principle of comparative work study.

The work performance was illustrated by a system scheme (Fig. 1). The scheme comprised the following main groups of elements: worker's inclination for work, working capacity, reflexes and instincts, decision process, environmental factors, working methods and habits, work performance, output, earnings, and effects on the worker. The model was made up parallelly from abstract and concrete concepts, the aim being to make it suitable for the set of concepts of the theory of work study and the level of theory formulation. The model included the feedback from the effects on the worker-sample element group to the worker's qualities.

The literature on forest work studies in which some correlations introduced in the model were investigated is reviewed in Chapter 23. Owing to the great number of output studies they were treated as an example. The greatest part of the research activity has been analysis of the relations between environmental factors — and of them primarily the work difficulty factors — and the work output.

The previously outlined system formula is examined in Chapter 24 as a cybernetic, probabilistic system in which the elements as such were conceived to embrace complex linkages and to be of the black-box type. The information

transfer of these sample elements was illustrated by only one channel and information was consequently analysed merely as a symbolical expression of space and event. The decision process and the effects of reflexes and instincts were examined as the self-regulatory mechanism of the model. Feedbacks were established both within the worker and between the worker and environment. Principles influencing the formulation of the theory of work science were postulated on the basis of the general properties of the system, such as threshold values, correlations, the principles of isomorphism and homomorphism:

— If a correlation proves to be significant it is relevant at least in the population represented by the material and possibly also in other populations.

— On the other hand, if no significant correlation is established between some independent variables there may nevertheless be a significant correlation in some other population or after some threshold values.

— It is useful for development of the theory to explain the trend of the correlations and the internal conformities to law and mechanism of the elements.

— It is assumed hypothetically that the constancy of the relative per-worker working time and strain value is influenced by the difference between the worker's capabilities that the working methods and working conditions require and by his attitude to the working methods under comparison and his experience.

— A model taken from nature through simplifications is the more servicable the more deterministic it is.

— Empirical work study generally observes coded messages by indirect means and it is therefore seldom possible to demonstrate direct physiological causal relationships; what results is explanations of the "either-or" or "both-and" type.

The system description of the work was developed in Chapter 25 by hypothetical insertion in the model of elements formed by the set of concepts of work study principles (Fig. 2). The concepts are: speed of work, physical strain, ratio between physical strain and maximal performance, total strain during the working day, psychic strain, relative consumption of time, average consumption of time, deviation of consumption of time, average strain, deviation of strain, relative strain, and attitudes to work.

The quantitative and abstract levels of the concepts of the model were studied using the M-67-meta theory. Fig. 3 shows the concept hierarchies and the measuring features of the concepts. In processing the measuring features for formulation of the theory in the empirical part, concepts of the same quantitiveness are used which are sub-concepts of the high real theoretical concepts: the worker's capacity and inclination for work, effects on the worker, performance, output and environmental factors. Fig. 4 shows the processes as a being model: performance — output and performance — effects on the worker, the worker's resources (capacity for work) and feelings (inclination for work) and working conditions (environment) which influence the interrelations of these processes.

The living organism was found to be a system which seeks to preserve a state of equilibrium. It was assumed from reference to physiological and psychological theories that if a factor causes a greater deviation in the equilibrium of the organism than the conditions of other factors, that factor dominates the behaviour of the organism. This theory was applied in the empirical part to explain the phenomena established.

Empirical part

In the empirical part the effect was examined of different factors on the consumption of working time, the physical strain on the worker, and the application of certain work study principles in the nursery to the cutting of roll-seedlings, the lifting of pine seedlings and the logging of pulpwood in grapple piles alongside the strip road (working method 2) and a 4-m wide zone for which the bunch size required was reduced (working method 1). The material and the measurements made are described in Chapter 32.

The most important results were as follows. Owing to the paucity of degrees of freedom which interfered with testing they were distributed into statistically significant correlations and hypothetical correlations:

— Consumption of working time was explained significantly in regression analysis by so-called work difficulty factors, working method, moving speed which illustrates the speed of the work, the time of the working day, the ordinal number of the working day and some independent variables that portray the worker.

— Of the independent variables describing the worker in nursery work, only the "attitude" factor explained the work output significantly. In correlation analysis the factors "attitude" and "need for achievement" correlated with a coefficient of over 0.5 with the working time of the lighter work method, i.e. the lifting of seedlings, while in heavier work, i.e. the cutting of roll-seedlings, only the "attitude" factor correlated similarly with the working time.

— In the cutting of pulpwood the consumption of working time was explained significantly in regression analysis by the factors "ability to perform heavy parts of the work" and "need for achievement". A significant correlation with at least 10 per cent risk was found in correlation analysis between the factor "ability to perform heavy parts of the work" and the bunching time of both methods of work. In addition, there was in both methods of work a correlation coefficient of over 0.5 for the "attitude" factor and bunching time and the "need for achievement" factor and per-stem consumption of working time.

— The effect of the amount of work done on the consumption of working time in pulpwood cutting was studied using a special 3-phase model that gave

28—74 per cent degrees of explanation. The results suggested that the amount of work done may be a better independent variable than cumulative time.

The pulse rate changes were explained significantly in regression analysis by the work difficulty factors, the working method, the moving speed illustrating the speed of the work, the time of the working day, the ordinal number of the working day and some independent variables that portray the worker.

— The following of the work difficulty factors were found to be significant independent variables: the temperature in nursery work, and in the cutting of pulpwood the stem volume, branchiness class and the temperature.

— In nursery work pulse rate was explained significantly by the following independent variables describing the worker: the factors "ability to perform heavy parts of the work" and "attitude". In the cutting of roll-seedlings the coefficient of correlation between the strain percentage and the following factors was over 0.5: "work-planning ability", "ability to perform quick-tempo parts of the work", "ability to perform heavy parts of the work" and "need for achievement". In the lifting of seedlings a corresponding correlation was established only with the factor "need for achievement".

— In regression analysis the factors "work-planning ability", "ability to perform heavy parts of the work" and "need for achievement" explained the pulse rate significantly in the cutting of pulpwood. Correlation analysis with at least 10 per cent risk gave a significant correlation in both methods of work between the strain percentage and "work-planning ability" for per-stem strain and between the strain percentage and the "ability to perform heavy parts of the work" for the bunching phase of the work. Physical performance showed a positive correlation with strain. In addition, the coefficients were over 0.5 for the correlation between both the "ability to perform quick-tempo parts of the work" and the "need for achievement" factors and the strain percentage. Subjectively assessed, work skill correlated with the strain of the bunching phase, the coefficient being over 0.6. The correlation between the factors "work-planning ability" and the "ability to perform quick-tempo parts of the work" and strain was positive and contrary to the hypothesis propounded.

— Variation of the pulse rate during the working day was studied in the cutting of pulpwood by a special model using the concept "physiological stage of development". The degrees of explanation were 32...86 per cent. The pulse rate varied as a function of the amount of work done during the working day. Depending on the worker and the amount of work done, the pulse rate curve showed either ascending and descending, or ascending, descending and re-ascending (or stable) cycles.

— The principle of comparative work study seemed to be only partly valid. The variation coefficients for ratios of the consumption of working time means adjusted for the regression variables in the cutting of pulpwood was statistically significantly smaller than the variation coefficients of the means calculated by

methods of work. The result for nursery work was similar, but not statistically significant. On the other hand, interpretation of the principle of comparative work study to mean that the deviation of the relative differences is insignificant from the practical point of view was not substantiated.

— The relative deviation of the ratios between the pulse rate means adjusted for the regression variables was also smaller than that of the means based on working methods. However, a statistically significant difference was established only for the cutting of pulpwood when unadjusted means were used. The use of relative values instead of methods of work means diminished the relative deviation more in the cutting of pulpwood than in nursery work, as it did for the consumption of working time. This sustains the hypothesis that the principle of comparative work study lends itself to comparison of working methods better the more alike the working methods are in character.

— The relative deviation of the strain percentages was greater than that of the pulse rate means. The use of relative values seemed to reduce the coefficient of variation in all the cases, but not statistically significantly. The relative strain values showed a considerably greater deviation than the relative pulse rate values. This shows that the order of strain of the working methods emerges from a relatively small material, whereas quantification of the difference requires a considerably greater test population.

Discussion

Although the empirical material is relatively large for a work study material, the number of workers was no more than five per method because the field work is laborious. Because of the great deviation typical of work study material, this was too few for the testing of several hypotheses postulated in the study. Although it was sought to link the hypotheses with the system-theoretical analysis in the first part of the study, the results of the empirical part must be clearly separated into inter-relations found to be statistically significant and the deduction of hypotheses. Furthermore, it is necessary to remember the principle expounded in Chapter 244 that a conformity to law that has been observed is not necessarily valid for all forest work study materials, and that a conformity to law not detected in this material may be relevant in another material.

It was shown that roughly all the real theory concepts of the uppermost quantitative level or their measuring features used in the system description of the first part have an interaction relationship. It was also possible to demonstrate feedback from work performance to capacity for work via the effects bearing on the worker. Of earlier work study theories, Gläzer's (1962) view that the strain on the worker depends on his physical properties and the speed of the work, but also on "comprehension" of psychic origin, adaptation to work and

organising ability, can be accepted according to the present results. The last-mentioned abilities were found to influence only the strain of cutting roll-seedlings in accord with the original hypothesis, whereas subjectively evaluated work skill correlated relatively strongly with the strain of pulpwood cutting. Consumption of working time was established in the manner of Fornallaz (1940) to be a complex function of the worker's skill, speed of the work, physical and external factors.

Consumption of working time in nursery work (Figs. 15 and 16) was influenced strongly by the working methods. This is natural as the expenditure of time on different products was studied in fairly dissimilar working methods. The work method also has a relatively great effect on the pulse rate. It was not possible to study the effect of conditions, temperature excluded, because of the small variation in these factors. The attention is attracted most in fact by the effect of the worker, which is also fairly great, and by the output of work and the strain on the worker. The factors describing the worker did not explain the consumption of working time in the cutting of roll-seedlings, but strain was diminished by both physical performance and psychic and psychomotor abilities. The need for achievement increased the strain somewhat. It seems that the strain was dominated by physical performance and by the physiological state of development which describes feedback. The last-mentioned also influenced the output of work appreciably. This primary nature of physical performance is supported by the fact that in the regression model it was the first of the factors.

Physical performance did not affect output and strain in the lifting of seedlings. Nor can the effect of the physiological condition be confirmed as it was obtained from a model that explains both methods of work. The same must be said also of the effect of psychic factors. The results are understandable, in fact, as the work was physically light and of a simple nature, so that motivation of work dominated the output of work and also the strain on the worker.

Both methods of work were very similar in the cutting of pulpwood and the effect of the method was therefore relatively small. The same factors were in play in both methods. The influence relationships can consequently be presented in the same formula. In contrast, the effect of working conditions was great, especially on work output. The effect of the worker on both output and the worker's strain was also considerable. The work output was affected most by physical performance, but also by motivation of work and thus the output was increased both by the strengthening of the need for achievement and by a positive attitude. Attitude exerted an influence above all in bunching, which is suggestive of the correlation between attitude and work planning. Physiological status also affected output. The factor "ability to perform heavy parts of the work" was the first to be included in the regression models.

The physiological state of development was the one of the test subject's qualities that influenced the strain on the worker most, but the need for

achievement also exerted a relatively great influence. It was the first independent variable in the per-stem regression model. Physical performance also had an influence and was the first factor to be included in the regression model that describes the buncing work phase; psychic qualities also had an effect. However, the positive correlation between the latter and strain is contrary to the original hypotheses.

Workers with a good physical performance worked faster in the cutting of pulpwood, but they also strained themselves more. The result does not concur with Mälkiä (1974) who reported that when a controlled length of working day was used workers with a poor physical performance were strained more although their earnings were lower. On the other hand, in another material in which the workers were permitted to regulate the length of the working day freely, the strain on those in good condition was greater during the working day than the strain on workers in poor condition. It has been shown that the better the physical performance of a test subject the greater the relative oxygen uptake he can maintain without serious complications (e.g. Åstrand 1969). Levanto (1970) reported that the strain of the "normal speed of work" of three test subjects showed a positive correlation with physical performance. The negative correlation between the need for achievement and strain may be due to the fact that a stronger need for achievement motivated more careful planning of the work.

Using the theory of the dominance of the effects outlined in Chapter 252, it is assumed that in the physically most strenuous work, i.e. cutting of pulpwood, the factor dominating behaviour is physical performance on which disturbance of the equilibrium of the organism under different rates of work is most dependent. The better the condition of the worker, the higher is the relative oxygen uptake level at which he is able to work, in other words the greater the scope left for the effect of motivation. However, other abilities, such as work skill, influence behaviour within the limits set by physical performance. Hence, only workers with a good physical performance were able to raise their working rate to the level foreseen by motivation.

Physical performance dominated behaviour also in medium-heavy work, i.e. the cutting of roll-seedlings, though not as strongly as in the cutting of pulpwood. Since the work has a quick tempo and requires accuracy, psychic and psychomotor abilities also explained significantly the strain on the organism. It is possible that the output has an upper limit dependent on motor abilities and, thus, the increase in physical performance is not able to influence the output of work distinctly, but lowers the strain on the worker.

A second explanation model for behaviour is offered by the relationship to the physiologically optimal speed of work. The deviation of time expenditure seemed to increase with the strain on the worker in the cutting of pulpwood. As there was a positive correlation between physical performance and strain, a

higher performance seemed to produce a wider deviation from the physiologically optimal speed of work. The same phenomenon was observed by *Levanto* (1970) in three test subjects all of whom had a higher "normal speed of work" than the physiological optimum. It is possible that in forest work some factor — e.g. pursuit of earnings — motivates the worker to maintain a working rate which is generally higher than the physiological optimum. In the present material, the scope created by the increase in physical performance was used to increase the speed of work, and this was seen also in the relative consumption of time in working methods 1 and 2. The lighter method 1 was performed at a higher speed and the difference in strain between methods was diminished or disappeared completely. Use of the physiologically optimal speed of work may be disturbed in pulpwood cutting by the heavy static phases in the work (e.g. the carrying of bolts) during which the reduction in the working rate prolongs the duration of static tension.

The explanatory power of the size of the growing stock and the bunching distance has been found to be amazingly low in studies on strain in the cutting of pulpwood (e.g. *Samset et al.* 1969, *Valonen* 1975). This would be explained by the tendency outlined above of the worker to work at the overstraining limit and when the difficulty of the work eases he increases his working speed.

The physiologically optimal working speed in cutting roll-seedlings is probably achieved at a distinctly lower level of strain than in pulpwood cutting. Although the motivation described by the need for achievement increased the strain, it happened independently of physical performance. In other words, the factor physical performance did not dominate behaviour so strongly that it was the condition for stepping up the rate of work. On the contrary, physical performance showed a negative correlation with strain.

The physically light and simple work of lifting seedlings does not strain the circulatory system, but it may strain the skeletal system owing to the working position. The work may also appear to be monotonous. Behaviour is thus dominated by motivation. It is possible that the characteristics which are the conditions for job satisfaction in monotonous repeated work, that is capacity for sustained tension and patience, would explain work output better than the tests employed in the present study (cf. *Elton* 1973).

The explanation in the preceding chapters of the worker's qualities that dominate his behaviour in different working methods concurs with earlier logging studies on the point that the worker's oxygen uptake is a factor that explains strongly the work output and the strain on the worker (*Hansson* 1965, *Mälkiä* 1974). The explanation agrees also with the theory advanced by *Fornalez* (1940) that the physiologically optimal speed of work results in the smallest deviation of working time. The results of *Levanto's* (1970)

study on the effect of the working rate support the view that the physiologically optimal speed of work is generally exceeded in logging.

The relative consumptions of working time and the strain values of the working methods form the quotient of the outputs of the two systems in Figs. 15...17. The same combinations of conditions and worker's qualities are fed as input into both systems. The manner in which the systems process the input information depends on the degree of difference between the structures of the systems. It is probable that when different quality combinations of the worker are fed into the systems the relative outputs obtained and their variation are greater the more the systems differ. The more alike the structures of the systems, the more probably will the change in the input combination exert a similar and relatively equally strong effect on the outputs of both systems. However, relative output will not remain a constant unless the structure of the systems is such that a new input combination always produces in both systems a percentually equally great change from the previous output. This presupposes probably that just the same input factors influence output relatively equally much in both systems. This is not likely ever to be possible in practice as working methods or conditions always differ.

The results of the present work substantiate the explanation described in the foregoing. The working methods differed more in nursery work than in pulpwood cutting. Among other things, the different qualities of the test subject influenced behaviour in both nursery work methods. The coefficients of variation for both relative consumptions of time and strain percentages were also greater in nursery work than in pulpwood cutting in relation to the mean coefficients of variation for each working method.

The dependence of the heart rate level on the cumulating quantity of work was assumed in pulpwood cutting to be an effect of the chain decrease in heart stroke volume-adaptation-fatigue. However, Vuori (1972) observed no noteworthy symptoms indicative of a decreasing stroke volume during a skiing trip made at a high oxygen uptake level. But forest work differs from skiing in that it involves very heavy phases requiring great muscular skill with which static muscular tension is also associated. Using leg bandages, Lundgren (1946) concluded that an increasing pulse rate in forest work is due at least partly to the hydrostatic decrease in the amount of blood in the cardiopulmonary system on account of the erect position.

Nor were fatigue-induced complications or considerable physiological changes associated with the fatigue problem observed by Vuori (1972) during skiing trips. Owing to the nature of forest work changes of this type may be assumed to arise more readily as a consequence of e.g. local overstrain of the muscles. Indeed, with one exception heart strain expressed as the product of pulse rate and systolic blood pressure was found to have risen during the working day. In spite of the high oxygen uptake level and the great muscular and bone strain,

forest work is varied; the durations of the most strenuous phases are often less than 0.5 min. (Harstela 1971 c, Mälkiä 1974). It is thus possible to maintain fairly effectively the aerobic energy consumption of muscles. This is suggested by the strain-reducing effect of the phasing of work which can be accounted for by the replenishment of the oxygen stores of myoglobin (Harstela 1971 c) and by the low lactic acid content of the blood (Mälkiä 1974). However, the great energy requirement may exhaust the energy reserves.

The daily work efficiency curves were not as regular as the pulse-rate curves. Changes in work efficiency have in fact been found to be very individual (Oksala 1966, Harstela et al. 1971). Work efficiency curves have usually been explained as the effect of diurnal rhythm and work breaks. The present results, however, indicate that even the changes in work efficiency in heavy manual work may be primarily a function of the amount of work done and not of the time of the working day, but this is a completely hypothetical assumption.

According to the results of the present study, the following points should be taken into consideration in practical forest work study:

— When different working methods or workers are compared the effect of the work difficulty factors must be eliminated as completely as possible because their effect on the results is very great.

— An increase in the strain level (differences between the methods and the working speed) increase the deviation of the time observations and pulse rates thus placing additional demands on the size of the material. Attention should also be paid to the comparability of the worker's work speeds in the different working methods, and to deviation from the physiologically optimal speed of work.

— The worker's physical qualities — at least the oxygen uptake capacity — exert a pronounced effect on the output and strain of heavy forest work.

— An obvious effect is exerted in some working methods by psychic qualities and in nearly all circumstances by motivation. The test subject should thus possess a normal need for achievement and a normal attitude to work.

— The length of the working day must correspond to a normal day of work. Similarly, the amount of work done must correspond to the performance of a normal working day. This will make it possible to elicit also the normal working speed curve and pulse rate curve as well as cumulative strain.

— Experience of the work also influences the results, which is probably shown by the occurrence of the ordinal number of the working day in the regression models. The workers must therefore be accustomed to the work before the work study. However, the present study does not warrant any conclusions as to the training time required for physical work.

— All the factor groups in Fig. 1 should be taken into consideration in the planning of work studies. All of them appear to be relevant independent variables for the output of work and the strain on the worker in forest work.

— The principle of comparative work study can be better applied to the comparison of working methods the more alike the methods are. In other words, the more they foresee the use of the same capabilities by the workers.

— The number of test subjects required to obtain reliable results depends on how alike the working methods are and whether it is possible to select workers that are of average level in their abilities that affect work. It seems that the number of workers in a study of the relative consumptions of time should be upwards of 3. The same can be said of strain studies if it is sufficient to determine only the mutual order of strain of the working methods. Quantification of the difference requires a considerable increase in the test population.

— The use of "average" workers probably increases the relevance of the principle of comparative work study. The worker's oxygen uptake capacity can probably be employed as a criterion for selection in heavy physical work. The present study does not warrant conclusions regarding psychic and psychomotor qualities and capabilities. It may be worth devoting attention to attitudes and the need for achievement, and obviously also to working skill and, possibly, psychomotor properties. Further studies will be needed to develop a method of evaluating working skill and its effects on the consumption of working time and the strain on the worker. At the present theory-formulation level, the criteria for selection could be physical capability and statistical work achievements. The role of qualities other than physical performance is probably strongly accentuated when the physical strain level diminishes.

— The effect of work difficulty factors even on the relative work study results is great. Consequently, when the differences between working methods are studied according to the principle of comparative work study it is profitable to use models which take work difficulty factors into consideration in the most effective way possible.

— The length of the working day probably also affects the relative work study results, at least in heavy physical work, so when different methods are compared the working days should be equally long and correspond as accurately as possible to a normal day of work. Analysis of the results as a function of the amount of work is useful, especially when it is impossible for practical reasons to apply the above-mentioned ideal of the length of the working day.

It is apparent that the principle of comparative work study has often been applied too uncritically, using too few workers and disregarding the "average" worker requirement. Similarly, according to the literature, hardly any attention has been paid to the difference between working methods. Practice has shown that e.g. wage bases studies have not always led to the desired results and the tariff structure has had to be adjusted on the basis of practical experience. However, there can be also other reasons for this than those analysed here. Mere time studies do not reveal the long-term effects of the feedback chain work performance — effect on worker — working capacity. A worker may overstrain

himself by doing heavier work during the work study which usually lasts a couple of days, but in practical working life over the longer term the level of strain and at the same time the speed and output of the work decrease. In these circumstances parallel use of time studies and strain studies and later revision of the investigation results by means of, say, statistics seem to be useful expedients to corroborate the serviceability of the results.

Liite 1. Analysoitujen kirjallisuustietojen luettelo.

Vaikuttava käsite	Vaikutus	Vaikuttava käsite
Työn tuotos	on riippuvuussuhteita	työn fysiologiset ilmiöt työn psykologiset ilmiöt työolosuhteet tekninen osaaminen jnc. suoritusnopeus suorituskyky — fyysinen — psyykinen koulutus ja ammattitaito
Työn tuotos	vaikuttavat	tuotos työntekijän fyysiset ominaisuudet työtahti keinojen tajuaminen työhön sopeutuminen organisaatiokyky työpäivän pituus ikä suorituskyvyn heikkeneminen
Ansio	riippuu	työtaito työnopeus fyysiset tekijät ulkoiset tekijät mahdollisuus ja halu työn tekoon työn motivointi refleksit, vaistot työtapa
Fysiologinen kuormittuminen	riippuu	päätös fyysinen kuormitus fysiologisten tarpeiden tyytyminen työolosuhteet ulkopuolinen yhteiskunta tarpeiden tyydyttyminen ympäristö ansio energia henkinen rasitus, stressi fysiologiset prosessit
Työsuoritus	vaikutus	kunto psyykinen, psykomotoorinen väsymys kipu hermostuneisuus depressio ikä hapanottokyky
Työsuoritus	ohjausta	
Työkyky	vähentää vaikuttaa	
Motivointi	vaikutus vaikutusten kautta	
Tarvehierarkia	tyydyttyy	
Vaikutukset työntekijään	kuluttaa syntyy ilmenevät tuotteina menetykset vaikutus koetaan	
Fyysinen suorituskyky	vaikuttaa mitataan	

Liite 2. Metateorian laadinnassa käytetyt mittauspiirteet.

p^1 = hermoimpulssit, EMG	p^{33} = ruumiin mitat
p^2 = Lihasien supistuminen	p^{34} = hapenottokyky
p^3 = energian kulutus	p^{34a} = lihaksien voimakkuus
p^4 = syke, EKG	p^{35} = älykkyys
p^5 = hikoilun määrä	p^{36} = koordinoimiskyky
p^6 = veren paine	p^{37} = visuaalinen hahmottamiskyky
p^7 = hengityskaasun määrä	p^{38} = tekninen kyvykkyys
p^8 = —,,— Vo_2	p^{39} = luonne
p^9 = veren CO_2 pitoisuus	p^{40} = havainnon valppaus
p^{10} = veren hematokriitti ja verimäärän jakaantuminen	p^{41} = muut psyyk. ominaisuudet
p^{11} = veren maitohappo	p^{42} = ammattikokemus
p^{12} = veren hormoonit ja ionit	p^{43} = ammattitaito
p^{13} = veren pH	p^{44} = työaika
p^{14} = virtsan hormoonit	p^{45} = altistusaika
p^{15} = lihasvoima	p^{46} = lämpötila
p^{16} = EEG	p^{47} = ääni
p^{17} = GSR	p^{48} = melu
p^{18} = EOG	p^{49} = valaistus
p^{19} = muut aistikuormituksen ind.	p^{50} = paine
p^{20} = kehon osien liikeradat	p^{51} = myrkyt
p^{21} = lihasvoimat	p^{52} = ilman epäpuhtaudet
p^{22} = liikkeiden nopeus	p^{53} = käsiteltävien kappaleiden ominaisuudet
p^{23} = liikkeiden nopeus	p^{53a} = muut fysikaaliset ym. tekijät
p^{24} = liikkeiden koordinaatio	p^{54} = sosiaalinen ympäristö
p^{25} = liikkeiden rytmi	p^{55} = työmäärä
p^{26} = fyys. ja psyyk. oireet	p^{56} = työmenetelmän ja -tavan kuvaus
p^{27} = haastattelut	p^{57} = näkö
p^{28} = verbaaliset ilmaukset	p^{58} = kuulo
p^{29} = käyttäytyminen	p^{59} = tunto
p^{30} = asenteet	p^{60} = haistaminen
p^{31} = sukupuoli	p^{61} = ansio
p^{32} = ikä	

Liite 3. Sykemittauslaitteisto.

Medinik Biotelemetry System IC—45 Mk II

Channel Responce in ECG 0.5 ... 50 Hz

Gain 1000 \pm — 10 %

Transmitter 1C—45:

RF Power Output: 2mW into loop-antenna

Frequency Range: Carrier 224,6 ... 224,9 MHz

Weight: 70 grms

Modulation: NBFM

Receiver Type G:

Antenna impedance: 50 ohms

Modulation: NBFM

Mating plug: Cannon MS 3106 B 145—5P

Power Requirements: 110/220 V ac \pm 10 %, 50 ... 60 Hz
or 50 mA dc 15 ... 18 V

Liite 4. Runkokohtaista työaikaa kuvaavat työvaiheittaiset regressioyhtälöt

Siirtyminen ja tyven raivaus:	R
$y_1 = 59.81 + 1.02x_{30}^x - 3.92x_{26} + 0.00043x_{30}^1x_{32} + 0.19x_{30}x_{31}$	10.0 %
$y_2 = 33.52 + 0.80x_{30}^{xx} + 3.64x_{26}^x$	2.9 %
$y_3 = -8.05 + 0.10x_{26} + 0.089x_{30}^x + 2.66x_{33}^{xx} + 0.25x_{31} + 0.049\frac{x_5^2}{x_{33}}$ $+ 0.07x_{33}^{2xx} + 0.64\frac{x_5^x}{x_{33}} + 3.17\log x_{40}$	91.5 %
$y_4 = -1.99 + 0.37x_{26} - 0.036x_{30} + 2.92x_{33}^{xx} - 0.38x_{31} + 0.66\frac{x_5^2}{x_{33}}$	86.9 %
$y_5 = -30.04 + 6.72x_{26} + 10.31x_{33}^{xx} + 0.15x_{30} - 0.11x_{31} + 3.06\frac{x_5^{xx}}{x_{33}}$ $- 0.53x_{33}^{2xx} + 0.0059\frac{x_5^{2x}}{x_{33}} - 1.78x_{26}x_{33}^{xx}$	89.3 %
$y_A = 17.57 - 1.55x_{26}^x - 0.68x_{62}^{xx} + 0.036\left(\frac{x_5}{x_{33}}\right)^{2xx} + 0.12x_{xx}^{2xx} + 0.89x_{60}^{xx}$	48.3 %
 Kaato:	
$y_1 = 26.66 + 2.48x_{30}^{xx} - 7.73x_{26}^x - 0.00027x_{30}x_{32} - 0.23x_{30}x_{31}^x$	23.7 %
$y_2 = 15.70 + 1.37x_{30}^{xx} - 0.47x_{26}$	33.9 %
$y_3 = 9.20 + 3.73x_{26}^x + 2.53x_{30}^x + 1.47x_{33}^{xx} - 1.36x_{31}^x - 0.12x_{30}x_{33}^{xx}$ $- 0.56x_{26}x_{30}$	43.5 %
$y_4 = 8.97 + 7.38x_{26}^x + 2.67x_{30}^{xx} + 0.11x_{33} - 0.98x_{31} - 1.62x_{26}x_{30}^{xx}$	45.8 %
$y_5 = 19.71 - 4.10x_{26} + 0.52x_{33} - 0.04x_{30} - 0.64x_{31} + 0.064x_{30}^2$	48.7 %
$y_A = 25.97 - 2.60x_{26}^x - 0.25x_{62}^{xx} + 0.00048\left(\frac{x_5}{x_{33}}\right)^2 + 0.0061x_{33}^2$ $- 0.025x_{60} + 1.55x_{30}^{xx}$	30.8 %

Karsinta:	R
$y_1 = 21.13 + 2.99x_{30}^{xx} + 2.64x_{26} + 0.0033x_{30}x_{32}^x + 1.68x_{30}x_{31}^{xx}$	48.1 %
$y_2 = 6.95 + 5.08x_{30}^{xx} - 3.83x_{26}$	56.7 %
$y_3 = 123.97 - 0.61x_{26} + 6.59x_{30}^{xx} - 2.32x_{33}^x + 9.76x_{31}^x - 3.62x_{38}^x$ $- 0.23x_{30}^{2xx} + 2.52x_{30}x_{31}^{xx} + 0.47x_{30}x_{33}^{xx} + 0.0033x_{30}x_{32}^x$	74.7 %
$y_4 = -49.91 - 3.35x_{26} - 8.16x_{30}^x - 1.78x_{33} + 5.49x_{31} + 4.57x_{30}x_{31}^{xx}$ $+ 0.012x_{30}x_{32}^{xx} + 0.53x_{30}x_{33}^{xx} + 9.39x_{40}^x + 46.35 \log x_{30}^{xx} + 0.093x_{30}^{2x}$	77.1 %
$y_5 = 69.67 - 16.03x_{26} - 3.67x_{33}^x - 2.60x_{30} - 5.05x_{31} + 4.81x_{30}x_{31}^{xx}$ $+ 0.059x_{30}x_{32}^{xx} - 0.42x_{32}^{xx} - 0.27x_{30}^{2x} + 0.65x_{30}x_{33}^x$	82.6 %
$y_A = 77.01 - 3.28x_{26}^x - 0.24x_{62}^{xx} - 0.00066\left(\frac{x_5}{x_{33}}\right)^2 + 0.01x_{33}^2$ $- 1.61x_{60}^{xx} + 6.55x_{30}^{xx}$	49.7 %

Symbolit ovat samat kuin luvussa 3412

Liite 5. Työvaiheittaisia syketaajuuksia kuvaavat regressioyhtälöt

Siirtyminen ja tyven raivaus:

R

$$y_1 = 148.0 - 0.73x_{30}^x - 0.000010x_{32}^2 + 0.069x_{30}x_{31} - 0.79x_{40}^{2xx} + 0.27x_{38}^x \quad 10.8 \%$$

$$y_2 = 103.17 - 0.19x_{30} - 0.000035x_{32}^2 - 0.0023x_5^{2xx} + 0.012\frac{x_5^{xx}}{x_{33}^x} + 1.03x_{39}^x \quad 8.2 \%$$

$$y_3 = 71.66 + 2.01x_{26} - 0.13x_{30} + 3.92x_{33}^{xx} - 0.047x_{31} + 7.11\frac{x_5^{xx}}{x_{33}^x} - 0.075\frac{x_5^{2xx}}{x_{33}^x} + 4.27\log x_{32}^x \quad 14.1 \%$$

$$y_4 = 62.50 - 3.09x_{26} + 0.049x_{30} + 8.93x_{33}^{xx} + 0.38x_{31} + 3.25\frac{x_5^{xx}}{x_{33}^x} - 0.051\frac{x_5^2}{x_{33}^x} - 0.46x_{33}^{2x} \quad 17.1 \%$$

$$y_5 = -275.50 - 7.92x_{26} + 2.41x_{33}^{xx} + 0.0021x_{30} - 0.13x_{31} + 0.20x_{38}^2 - 0.00076x_{32}^2 - 0.0046\frac{x_5^{2x}}{x_{33}^x} \quad 40.4 \%$$

$$y_A = 109.86 + 0.40x_{26} - 0.69x_{62}^{xx} + 0.32x_{59}^x + 2.37\frac{x_5^{xx}}{x_{33}^x} + 1.79x_{33}^x - 0.023\left(\frac{x_5}{x_{33}}\right)^{2xx} - 2.37x_{40}^{xx} \quad 20.9 \%$$

Kaato:

$$y_1 = 289.44 - 0.79x_{30}^x - 0.000017x_{32}^2 + 0.46x_{30}x_{31}^x - 1.44x_{40}^{2xx} + 0.50x_{33}^x \quad 15.5 \%$$

$$y_2 = 199.30 + 0.17x_{30} - 0.000024x_{32}^2 - 0.0012x_5^2 + 0.0058\frac{x_5^x}{x_{35}^x} + 1.67x_{38}^{xx} \quad 3.4 \%$$

	R
$y_3 = 117.17 + 4.47x_{26}^x + 0.99x_{30}^x + 0.78x_{33}^x + 3.39x_{31}^x - 56.81 \log x_{40}^{xx}$ $- 0.030 \frac{x_5^{2xx}}{x_{33}^x} + 24.32x_{40}^x + 1.52 \frac{x_5^x}{x_{33}^x} - 0.50x_{30}^x x_{31}^x$	27.5 %
$y_4 = 98.00 + 4.93x_{26}^x - 0.18x_{30}^x - 0.16x_{33}^x + 0.28x_{31}^x - 0.60x_{40}^{2x}$ $+ 1.54 \log x_{32}^x$	11.7 %
$y_5 = 10.37 - 19.76x_{26}^x + 2.41x_{33}^{xx} + 0.0021x_{30}^x - 0.13x_{31}^x + 0.20x_{38}^{2xx}$ $- 0.00076x_{32}^2 - 0.0046 \frac{x_5^{2x}}{x_{33}^x}$	40.4 %
$y_A = 122.64 + 0.73x_{26}^x - 0.71x_{62}^{xx} + 0.44x_{59}^{xx} + 0.30 \frac{x_5^x}{x_{33}^x} + 0.26x_{33}^x$ $- 0.0069 \left(\frac{x_5}{x_{33}} \right)^{2xx} - 2.74x_{40}^{xx}$	51.5 %

Karsinta:

$y_1 = 143.95 - 0.18x_{30}^x + 0.000010x_{32}^2 + 0.13x_{30}^x x_{31}^x - 0.75x_{40}^{2xx}$ $+ 0.19x_{38}^x$	21.9
$y_2 = 105.16 + 0.79x_{30}^{xx} + 0.000005x_{32}^2 + 0.00030x_5^2 - 0.0022 \frac{x_5^x}{x_{33}^x}$ $+ 0.60x_{38}^x$	4.9 %
$y_3 = 100.36 + 0.35x_{26}^x - 6.45x_{30}^{xx} - 0.15x_{33}^x + 5.87x_{31}^x + 48.95 \log x_{30}^{xx}$ $+ 0.070x_{30}^{2x} - 2.83 \log x_{32}^x$	23.0 %
$y_4 = 93.30 + 3.32x_{26}^{xx} - 0.15x_{30}^x - 0.25x_{33}^x - 0.50x_{31}^x - 3.35x_{40}^{xx}$ $+ 1.07 \log x_{32}^x + 0.52x_{38}^x$	25.7 %
$y_5 = 192.58 - 23.48x_{26}^x + 10.00x_{33}^x + 0.57x_{30}^x + 2.18x_{31}^x - 1.25x_{33}^2$ $+ 10.78x_{33}^{xx} - 0.11x_{32}^x$	24.5 %
$y_A = 127.90 - 0.98x_{26}^x - 0.68x_{62}^{xx} + 0.28x_{59}^{xx} + 0.20 \frac{x_5}{x_{33}} + 0.50x_{33}^x$ $- 0.0029 \left(\frac{x_5}{x_{33}} \right)^2 - 2.29x_{40}^{xx}$	17.9 %

Symbolit samat kuin luvussa 3422