

# FOLIA FORESTALIA 455

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1981

---

---

MARJA-LIISA SALMINEN

KUORMATRAKTORIN KULJETTAJAN  
KUORMITTUMISEN ARVIOINTI  
PSYKOFYSIOLOGISILLA MENETELMILLÄ

EVALUATION OF THE STRAIN ON THE  
FORWARDER DRIVER WITH THE HELP  
OF SOME PSYCHOPHYSIOLOGICAL METHODS

---



METSÄNTUTKIMUSLAITOS  
*THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE*

Osoite: Unioninkatu 40 A  
*Address:* SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401  
*Phone:*

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Tuomas Heiramo
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonen
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtion-metsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallista ja neljä luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

*The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and four strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.*

FOLIA FORESTALIA 455

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1981

Marja-Liisa Salminen

KUORMATRAKTORIN KULJETTAJAN KUORMITTUMISEN  
ARVIOINTI PSYKOFYSIOLOGISILLA MENETELMILLÄ

Evaluation of the strain on the forwarder driver with  
the help of some psychophysiological methods

ODC 302  
ISBN 951-40-0500-7  
ISSN 0015-5543

SALMINEN M-L. 1981. Kuormatraktorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psykofysiologisilla menetelmillä. Summary: Evaluation of the strain on the forwarder driver with the help of some psychophysiological methods. *Folia For.* 455:1—21.

Tutkimuksessa arvioidaan metsätraktorityön kuormittavuutta mittaamalla kuljettajien kuormittumista psykofysiologisten menetelmien avulla. Mittareina käytetään sydämen syketaajuutta ja sen vaihtelua, katekolamiinien ja ketogeenisten steroidien erittymistä virtsaan ja reaktioajan vaihtelua työpäivän eri ajan-kohtien välillä.

Tällaisessa sensomotorisessa työssä kuormittuminen ei aina tule selvänä esille kaikissa psykofysiologisissa mittareissa eikä myöskään työn tuottavuudessa, koska työntekijä pystyy kompensoimaan kuormittumistaan aktiivaatiotasoaan kohottamalla. Yleensä iltapäivällä tapahtuvat muutokset kuljettajien syketaajuudessa ja sen vaihtelussa sekä lisääntynyt hormonien erityys kertovat ponnistelujen ja kuormittumisen lisääntymisestä.

---

The work load of forward driving was studied by measuring the strain of drivers with psychophysiological methods. The indicators used were heart rate and its variability, urinary excretion of catecholamines and ketogenic steroids, and the variation in reaction time at different times of the working day.

In this kind of sensomotoric work, the strain does not always appear clearly in all the psychophysiological variables or in the productivity of work, because the worker can compensate for the strain by increasing the activation level. Generally, the changes that occurred in the afternoon in heart rate and its variability and also increased excretion of hormones, indicated the increase in effort and strain.

## SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	4
2. AINEISTO JA MENETELMÄT .....	5
21. Koehenkilöt ja työolosuhteet .....	5
22. Testit .....	5
23. Virtsanäytteet .....	5
24. Syketiedot .....	6
Syketaajuuden hetkellinen vaihtelu .....	6
Syketietojen analysointi .....	6
3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU .....	7
31. Kuljettajien tuntemukset .....	7
32. Hormonien erityis virtsaan .....	8
33. Syketaajuus .....	9
34. Syketaajuuden hetkellinen vaihtelu .....	11
35. Syketaajuuden vaihtelun spektrianalyysi .....	12
36. Muutokset työajanmenekissä .....	18
4. PÄÄTELMÄT .....	18
KIRJALLISUUS .....	19
SUMMARY .....	20

## 1. JOHDANTO

Raskaan metsätyön keventäminen koneiden avulla on muuttanut metsätyön luonnetta. Osasta metsätyöntekijöitä on tullut koneiden ohjaajia. Valtaosa koneista on vielä kuormaakantavia metsätraktoreita. Kuormatraktorityö kuuluu automaatioltaan keskiasteeseen. Kone ei suorita työtehtäviä automaattisesti, vaan tehtävien suorittamiseen tarvitaan ihmisen ohjausta.

Puoliautomaation on teollisuustyössä liitetty monia työntekijälle haitallisia piirteitä (Gardell 1978). Osa niistä löytyy metsätraktorityöstäkin. Työhygieenisistä haitoista korostuvat melu ja heilunta (Hansson ja Wikström 1974, Kättö ja Salmi 1973, Teikari 1977a). Työtä tehdään pääasiassa urakkapalkalla ja työhön liittyy yrittäjillä raskaita taloudellisia paineita. Metsätyöhön liittyvä vapaus on vähenemässä (Kyttilä 1978). Työntekijät joutuvat entistä enemmän työskentelemään korjuuketjuissa, jolloin heidän vaikutusmahdollisuutensa työhön, sen suorittamisajankohtaan ja -tapaan vähenevät. Toisaalta työhön liittyy myös yksintyöskentelyä, mikä vähentää sosiaalisen kanssakäymisen mahdollisuuksia. Etenemismahdollisuudet työssä ovat vähäiset (Hall 1973, Teikari 1977b).

Puiden kuljetus kuormatraktorilla on suurimmaksi osaksi sensomotorista työtä. Tätä työtä voidaan tarkastella ihminen-konejärjestelmän mallin avulla. Kuljettaja tekee työtä koneen kanssa: koneesta ja ympäristöstä saamansa informaation avulla hän ohjaa koneen toimintoja (Vuorinen 1978).

Sensomotorinen prosessi korostuu erikoisesti kuormaimen käytössä. Kuljettaja havainnoi lähinnä näköaistin avulla kouran liikkeitä, kouraa hän puolestaan ohjaa hallintalaitteiden avulla saamaansa informaation perustuen. Harjaantumisen myötä hallintalaitteiden käyttö muuttuu helpommaksi ja työ koetaan helposti yksitoikkoiseksi. Metsätyöolosuhteet ovat kuitenkin hyvin vaihtelevat, mikä poistaa työn saman-

laisuutta ja yksitoikkoisuutta. Kuljettaja pystyy myös itse säätelemään työtahtiaan. Työn suuret tuottavuuden vaatimukset nostavat työtahdin kuitenkin suureksi. Kuormaimen käyttö vaikuttaa paljon tuottavuuteen, koska valtaosa työajasta varsinkin lyhyillä ajomatkoilla on kuormaamista ja purkamista (Kahala 1979).

Sensomotorisen työn kuormittavuuden arviointi on vaikeaa, koska työntekijän kuormittumista aiheuttavat työn piirteet eivät ole helposti löydettävissä. Kuormittuminen aiheuttaa työntekijän elimistössä tai toiminnoissa muutoksia työn aikana. Muutokset saattavat heijastua myös vapaa-aikaan. (Harstela 1979, Teikari 1979, Työolojen... 1976) Työntekijän kuormittumisen voimakkuuteen vaikuttavat kuormitustekijöiden lisäksi yksilön sisäiset suoritusedellytykset, jotka muodostuvat yksilön ominaisuuksien lisäksi hänen sen hetkisestä elämäntilanteestaan (Honkasalo 1978). On muistettava, että kuormittuminen ei ole aina haitallista. Vasta kun elimistö ei pysty vapaa-ajan aikana palautumaan kuormituksen aiheuttamista muutoksista tai kun työntekijä kokee kuormittumisen elimistönsä ja persoonallisuutensa tasapainoa uhkaavaksi tilaksi, aiheuttaa työ työntekijällä stressireaktioita (Kallimo ym. 1979).

Kuormittumisen aiheuttamat haitalliset muutokset eivät ole läheskään selviä ja yksiselitteisiä. Häiriöt työntekijän psyykkisissä ja fyysisissä toiminnoissa ilmenevät sekä akuutteina että yhä useammin vasta pitkän altistusajan kuluttua. Koska kuormittumisen vaikutukset ilmenevät monella eri tasolla, tapahtuu häiriöiden mittaaminen eri keinoilla. Kysely- ja haastattelututkimuksin arvioidaan tilanteen työntekijässä synnyttämiä kokemuksia. Erilaisin psykofysiologisin mittarein seurataan työntekijän elimistössä tapahtuvia muutoksia. Työntekijän havainnoinnilla ja suoritusten muutosten avulla arvioidaan työntekijän käyttäytymisessä tapahtuneita muutoksia (Honkasalo

1978, Lehtonen 1977).

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan metsätraktorityön kuormittavuutta mittaamalla kuljettajien kuormittumista lähinnä psyko-fysiologisin mittarein. Mittareina käytetään sydämen syketaajuutta ja sen vaihtelua, katekolamiinien ja ketogeenisten steroidien erittymistä virtsaan ja reaktioajan vaihtelua työpäivän eri ajankohtina. Lisäksi arvioidaan ko. mittareiden soveltuvuutta kenttäkokeisiin ja kuormittumisen indikaattoriksi.

Kiitokset tutkimukseen osallistuneille kuljettajille hyvästä yhteistyöstä. Käsikirjoituksen tarkistivat prof. P. Hakki ja MMT P. Nisula. MMT P. Harstela antoi arvokkaita neuvoja tutkimuksen kaikissa vaiheissa. Maastotöissä avustivat metsätekn. L. Tervo, kok.tutk.ap. U. Paananen, kentäimest. E. Salo ja tutk.ap. S. Kalaja. Katekolamiinien määritykset suoritti huolella Luk. T. Äikäs. Aineiston tietokonekäsitelystä huolehti ohj. H. Aaltio. Kuvat piirsi rva L. Muronranta. Käsikirjoituksen kirjoitti puhtaaksi yo.merk. L. Hakulinen ja englanninkielisen tekstin tarkasti Mr. L. Keyworth. Käsikirjoituksen viimeistelystä avusti os.siht. P. Kinanen. Parhaimmat kiitoksetni myös heille.

## 2. AINEISTO JA MENETELMÄT

### 21. Koehenkilöt ja työolosuhteet

Aineisto koostuu neljästä kuljettajasta, joista jokaisesta on tutkittu kahden päivän ajan. Kuljettaja 1 tutkittiin marraskuussa 1978 ja kuljettaja 2 joulukuussa, kuljettaja 3 tutkittiin vuoden 1979 maaliskuussa ja 4 huhtikuussa. Tiedot kuljettajista, koneista ja työolosuhteista on esitetty taulukossa 1. Kuljettaja 1 ajoi kuukausipalkalla isänsä omistamaa metsätraktoria, muut kuljettajat olivat yksityisyrittäjiä.

### 22. Testit

Kuljettajat saivat ensimmäisenä päivänä kyselylomakkeen. Lomakkeessa kysyttiin taustatietojen lisäksi erilaisia kuormittumisreaktioihin liittyviä kysymyksiä Lehtosen (1977) kehittämän menetelmän mukaan. Vastauslomaketta tarkasteltiin yhdessä kuljettajan kanssa seuraavana päivänä, jolloin tarkennettiin mahdollisia epäselviä kohtia, esimerkiksi vaivojen laatua.

Kolme kertaa päivässä, aamulla ennen töiden aloittamista, keskipäivällä ja illalla töiden päätyttyä kuljettajat antoivat erilaisten väsymystä ja virkeyttä ku-

vaavien adjektiivien avulla arvion tuntemuksistaan (Bradley ja Patkai 1974). Samalla kertaa mitattiin myös verenpaine kuljettajan istuessa levollisesti. Kuljettajan reaktioajassa tapahtuvia muutoksia päivän eri ajankohtien välillä seurattiin. Reaktioaika-mittarissa syttyi määrätyn välein paneelin eri kohtiin valosignaali, jonka kuljettaja sammutti mahdollisimman pian joko kääntämällä kädellään oikeasta nappulasta tai vaihtoehtoisesti painamalla jalallaan oikeaa poljinta. 25 signaaliin kulunut reaktioaika laskettiin yhteen, tulokset ovat neljän yrityksen keskiarvoja.

### 23. Virtsanäytteet

Kuljettajilta kerättiin koko virtsamäärä talteen heidän käydessään tarpeiltaan. Illalla ja yöllä kuljettajat keräsivät virtsan talteen ohjeiden mukaan. Virtsa määrättiin katekolamiiniin erikseen ja 17-ketogeeniset steroidit. Katekolamiiniin määrättiin Eulerin ja Lishajkon (1961) fluorimetrisellä menetelmällä. Virtsan 17-ketogeeniset steroidit määrättiin Norymberskin ym. (1953), Applebyn ym. (1955) ja Jørgensenin (1957) kehittämällä menetelmällä.

Taulukko 1. Tietoja kuljettajista, koneista ja työolosuhteista.  
Table 1. Data on the test subjects, machines and working conditions.

Ikä v. Age y.	Ajokokemus v. Driving experience y.	Traktorin merkki Model of tractor	Työmaan laatu Character of cutting area	Maastoluokka Average terrain class	Kouran ohjaus Steering mechanisms of grapple	
Koehenkilö 1 Subject 1	18	3	VOLVO BM	avohakkuu clear cutting	I	6-vipujärjestelmä with 6-lever system
Koehenkilö 2 Subject 2	31	10	VALMET 870 CK	harvennushakkuu thinning	I	6-vipujärjestelmä with 6-lever system
Koehenkilö 3 Subject 3	36	13	LOKOMOMO 909	avohakkuu clear cutting	I	2-vipujärjestelmä with 2-lever system
Koehenkilö 4 Subject 4	36	7	VALMET 872	harvennushakkuu thinning	I	6-vipujärjestelmä with 6-lever system

## 24. Syketiedot

### *Syketaajuuden hetkellinen vaihtelu*

Monissa tutkimuksissa on havaittu sekä fyysisessä että henkisessä rasituksessa sydänpölyksen R-piikkien välisen ajan muuttuvan tasaisemmaksi kuin levossa (K a l s b e e k 1971). Syketaajuudelle on levossa ominaista suuri, osittain rytmisen vaihtelu, jonka yhtenä aiheuttajana on hengitystaajuus.

Koska informaation käsittelyä ja päätöksentekoa vaativien tehtävien kuormittavuuden arviointi on vaikeaa, on syketaajuuden vaihtelun pienenemiseen kohdistettu mielenkiintoa mahdollisena kuormittamisen mittarina. Ilmiötä on tutkittu pääasiassa laboratorio-olosuhteissa, missä kuormittavuuden vaihtelua, esimerkiksi havaittavien signaalien määrää minuutissa voidaan helposti vaihdella (E t t a m a ja Z i e l h u i s 1971). Erilaiset työtehtävät kuormittavat kuitenkin ihmisen tiedonkäsittelyjärjestelmän eri osia vaihtelevassa määrin.

Syketaajuuden hetkelliseen vaihteluun on osoitettu työn kuormittavuuden lisäksi vaikuttavan monien muiden tekijöiden (S a y e r s 1973). Spektrianalyysin avulla on näiden tekijöiden, kuten hengitystaajuuden ja -tilavuuden, verenpaineen, vegetatiivisen hermoston ja aineenvaihdunnallisten vaikutusten osuutta ja laatua pystytty selvittämään ja poistamaan (L u c z a k 1978, C h a r n o c k ja M a n e n i c a 1978). Myös fyysinen rasitus pienentää syketaajuuden vaihtelua (A n t i l a 1979). Jos työ vaatii suurten lihasryhmien käyttöä, on syketaajuuden vaihtelun pieneneminen arveluttava henkisen kuormittumisen mittari (L u c z a k 1979). Syketaajuuden vaihtelun pienenemistä kuvaamaan on kehitetty kymmeniä erilaisia laskennallisia indeksejä (ks. Ergonomics 16(1) 1973). Lähes kaikissa on käytetty taajuuteen tai amplitudiin liittyviä muuttujia, joten tulokset ovat samansuuntaisia. L u c z a k i n (1979) mielestä erilaiset indeksit haittaavat lähinnä eri tutkimusten välistä vertailua.

### *Syketietojen analysointi*

Kuljettajien syketaajuutta mitattiin koko työpäivän ajan telemetrisesti (Medinik Biotelemetry System).

Samanaikaisesti suoritettiin työvaiheiden koodaus nauhan toiselle kanavalle (ks. V a l o n e n 1975). Nauhat tulostettiin Työterveyslaitoksella syke sykkeeltä reikänauhalle. Reikänauhojen analysointi suoritettiin tietokoneella.

Työvaiheista käsiteltiin erillisinä kuormausta ja purkausta sekä kuormattuna ja tyhjänä ajoa. Jokaisesta työvaiheesta tarkasteltiin tuhatta ensimmäistä R-piikin välistä aikaa eli mittausjaksoksi muodostui alle kymmenen minuuttia. Purkaminen kesti yleensä vähemmän kuin kymmenen minuuttia, jolloin tarkasteluun ei aina sisälly tuhatta R-piikkiä. Ajomatkat olivat mittausten vuoksi lyhyitä, joten niistä on vähän tuloksia.

Jokainen kahden R-piikin välinen aika muunnettiin syketaajuudeksi (lyöntiä minuutissa). Jokaiselle työvaiheelle laskettiin myös keskimääräinen syketaajuus ja hajonta näiden tuhannen sykkeen perusteella. Samalta ajanjaksolta laskettiin myös kolmen R-piikin rajoittaman kahden peräkkäisen ajanjakson keston keskimääräinen erotus ja erotusten keskihajonta. Lisäksi laskettiin seuraava indeksi (ks. L u c z a k ja L a u r i g 1973, M u l d e r ja M u l d e r 1973):

$$\text{CAMMA} = \sum_{i=2}^N \frac{|X_i - X_{i-1}|}{L}$$

X = Ekg:n kahden peräkkäisen R-piikin välinen aika ms.

N = 1000

L = Z

$$Z = \begin{cases} 1, & \text{jos } y < 0 \\ 0, & \text{jos } y \geq 0 \end{cases}$$

$$y = (X_i - X_{i-1})(X_{i-1} - X_{i-2}) \\ i = 3, 4, 5, \dots, N$$

Joillekin työjaksoille suoritettiin myös spektrianalyysi. Käytetty ohjelma teki Fourier-muunnoksen valituille jaksolle RR-intervallisignaalia. Jakson pituusdeksi valittiin 120 sekuntia. Spektrianalyysin soveltuva RR-intervallisignaali saatiin alkuperäisestä RR-intervallisarjasta käyttäen interpolointia, jossa signaalin arvona peräkkäisten RR-intervallien välillä on edellinen RR-intervalli. Näytteenottotaajuutena käytettiin 7,5 Hz. Fourier-muunnos suoritettiin IMSL-kirjaston nopean Fourier-muunnoksen (FFTR) ohjelmalla.



### 3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

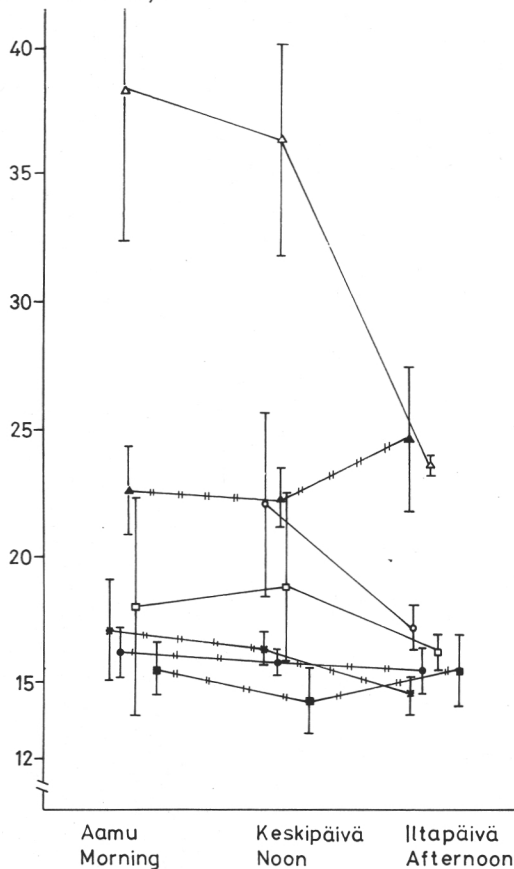
#### 31. Kuljettajien tuntemukset

Kyselyn ja haastattelun avulla ilmeni, että kolme kuljettajaa viihtyi hyvin työssään, tunsivat olevansa omalla alallaan. Lisäksi työ oli heistä mielenkiintoista ja kehittävää. Neljäskään kuljettajaa ei suhtautunut työhönsä täysin kielteisesti. Hän ei kuitenkaan ollut työhönsä tyytyväinen eikä katsonut sen vastaavan taitojaan ja vaatimuksiaan. Kielteisenä kaikki kokivat olemattomat etenemismahdollisuudet ja työtovereiden puutteen. Kaikkien mielestä työhön liittyi paljon

päätöksien tekoa ja harkintaa, osin tähän kysymykseen liittyivät taloudelliset päätökset. Nuorin kuljettaja koki myönteisimmin työolot. Kaikki muut kuljettajat valittivat silmiensä rasittumista, varsinkin pimeässä valoilla ajaminen aiheuttaa silmien ärsyyntymistä. Eniten oireita ilmeni työhönsä kielteisemmin suhtautuvalla kuljettajalla. Yleisimpinä oireina olivat vatsavaivat, jatkuva väsymyksen tunne sekä lihaksien puutuminen (ks. Teikari 1977b, Boststrand 1978).

Työpäivän kuluessa ei kuormittumisoireissa tapahtunut muutoksia. Sekä työpäivän alkaessa että päättyessä kuljettajat arvioivat olevansa jonkin verran väsyneitä. Reaktioaikamittarilla ei saatu myöskään selviä tuloksia, koska laitteen käyttöön liittyi oppimista. Harjoittelusta huolimatta ensimmäiset ajat ovat hitaampia ja hajonnat suurempia (kuva 1). Virheitä syntyi myös enemmän. Mittarin käyttö vaati myös voimakasta keskittymistä. Kruskal-Wallis testillä ei päivän eri ajankohdan välisille arvoille saatu tilastollisesti merkitsevää eroa.

Reaktioaika, sek.  
Reaction time, s



\* # # # Koeh. 1 II pv, Subject 1 II day  
 Δ ——— Koeh. 2 I pv, Subject 2 I day  
 ▲ # # # Koeh. 2 II pv, Subject 2 II day  
 ○ ——— Koeh. 3 I pv, Subject 3 I day  
 ○ # # # Koeh. 3 II pv, Subject 3 II day  
 □ ——— Koeh. 4 I pv, Subject 4 I day  
 ■ # # # Koeh. 4 II pv, Subject 4 II day

Janat ilmaisevat hajonnan  
 Segments of line show standard deviation

Kuva 1. Reaktioajan muutokset työpäivän aikana koehenkilöittäin.

Fig. 1. Changes in the reaction time of each subject during the working day.

### 32. Hormonien eritysvirtsaan

Tulokset on esitetty koehenkilöittäin taulukoissa 2—5. Virtsan eritysvirtsan on annettu niissä keskimääräisenä eritysjanjaksoa kohti. Tuloksista ilmenee yksilöiden välinen suuri vaihtelu, tietyt suuntalinjat on kuitenkin havaittavissa.

Virtsan eritysvirtsan oli alhaisimmillaan yöllä, myös keskipäivällä eritysvirtsan oli vähäistä. Alhaisen eritysvirtsan syynä on ehkä heilunta ja ääriä, aiheuttajana saattaa olla myös vuorokautisen rytmin muuttuminen. Katekolamiineista adrenaliinin eritysvirtsan kohosi noradrenaliinia selvemmin aamulla. Kahdella kuljettajalla adrenaliinin eritysvirtsan oli myös iltapäivällä voimakasta (taulukko 3). Eritysvirtsan kohoaaminen aamulla lienee yhteydessä yleiseen työhön sopeutumisreaktioon ja tarkkaavaisuuden lisääntymisvaatimuksiin. Adrenaliinin eritysvirtsan kohooa noradrenaliinia selvemmin tarkkaavaisuutta vaativissa tehtävissä (Frakenhaeuser 1971). Iltapäivän kohonneet arvot merkinnevät sitä, että kuljettajat ovat lisänneet ponnisteluaan ja kohottaneet aktiivatiotasoaan pystyäkseen pitämään yllä aamupäivän suoritus-tason. Erot eritysvirtsassa johtunevat osaksi yksilöiden erilaisesta luonteesta ja jokaiselle ominaisesta reagoinnista (Franken-haeuser 1975). Adrenaliinin yöeritysvirtsan putosi kaikilla normaalille, alhaiselle tasolle.

Noradrenaliinin eritysvirtsan väheni selvästi yöllä, eritysvirtsan oli kuitenkin ehkä hiukan normaalia korkeampaa (taulukko 4). Korkeimmat pitoisuudet löytyivät virtsasta lähinnä iltapäivällä, poikkeuksena kuljettaja 3. Iltapäivän kohonneet arvot ilmentänevät lisärasituksen, kuten heilunnan ja melun olemassaoloa (Tsaneva 1972). Wuolijoen (1978) heiluntakokeissa havaittiin, että vasta voimakas heilunta aktivoi sympaattista hermostoa ja lisäksi noradrenaliinin eritysvirtsan. Altistusaika näissä laboratorio-kokeissa oli vain tunti. Ilmeisesti heikomman heilunnan vaikutukset ilmenevät vasta yli tunnin kuluttua. Noradrenaliinin eritysvirtsan muutokset saattavat liittyä myös verenpaineen säätelyyn, koska ääriä saattaa aiheuttaa joillakin henkilöillä arterioliin supistumista ja ihoverenkierron vähenemistä (Soininen 1975).

Ketogeenisten steroidien eli lisämunuaisen kuorikerroksen steroidien eritysvirtsan on voimakasta aamulla, laskee hiukan keskipäivällä ja kohooa jälleen iltapäivällä (taulukko 5). Yöarvoja kohottaa eritysvirtsan koehenkilö 3, joka aloitti työt toisena yönä puoli kahdelta. Kortisolin eritysvirtsan plasmassa noudattaa Ashoffin (1978) mukaan kuitenkin sisäistä 24-tuntin vuorokausirytmia, mihin uni- ja valvtilan ei pitäisi vaikuttaa. Plasmassa kortisoli sitoutuu transkortiiniin, jos plasman kortisoli-pitoisuus ylittää transkortiinin sitomiskapasiteetin, erittyy virtsaan vapaata kortisolia.

Taulukko 2. Virtsan eritysvirtsan koehenkilöittäin eri ajankohtina.

Table 2. Urinary excretion of each subject at different times during the day

Keskimääräinen eritysvirtsan — Average urine flow	Koehenkilö — Subject						Keskiarvo — Mean $\bar{x}$	Keskihajonta — Standard deviation s	
	1		2		3				4
	I	II	I	II	I	II	I	II	
ml/min			17.30—	16.40—	17.50—				
			22.00	22.30	21.30				
			0,41	0,82	0,55		0,59	0,21	
ml/min			22.00—	22.30—	21.30—				
			6.00	1.30	5.40				
			0,46	0,58	0,32		0,45	0,13	
ml/min	6.30—	5.30—	6.00—	8.00—	9.30—	5.40—			
	11.30	9.30	10.40	12.10	12.40	11.25			
	0,63	1,0	1,02	0,96	1,84	0,70	1,0	0,4	
ml/min		9.30—	11.00—	10.40—	12.10—	10.00—	11.25—		
		16.55	14.45	14.00	16.40	14.25	15.30		
		0,68	0,77	1,13	0,66	0,40	0,96	0,77	0,23
ml/min	11.30—		14.45—		12.40—	14.25—			
	17.45		17.30		17.40	17.50			
	0,50		1,94		1,02	1,17		1,16	0,5

Taulukko 3. Adrenaliinin erityis virtsaan koehenkilöittäin eri ajankohtina.

Table 3. Urinary excretion of adrenaline from each subject at different times during the day.

Keskimääräinen erityis — Average excretion	Koehenkilö — Subject								Keski- arvo — Mean $\bar{x}$	Keski- hajonta — Standard deviation s	
	1		2		3		4				
	I	II	I	II	I	II	I	II			
ng/min				17.30—			16.40—		17.50—		
				22.00			22.30		21.30		
				29,8			3,9		3,7		12,5 15,0
ng/min				22.00—			22.30—		21.30—		
				6.00			1.30		5.40		
				0,7			0,9		0,5		0,7 0,2
ng/min	6.30—	5.30—		6.00—	8.00—	9.30—		5.40—			
	11.30	9.30		10.40	12.10	12.40		11.25			
	6,3	6,8		5,5	16,7	12,0		11,3		9,8 4,3	
ng/min		9.30—	11.00—	10.40—	12.10—		10.00—	11.25—			
		16.55	14.45	14.00	16.40		14.25	15.30			
		6,3	7,2	9,0	7,0		10,6	9,5		8,3 1,5	
ng/min	11.30—		14.45—			12.40—	14.25—				
	17.45		17.30			17.40	17.50				
	6,2		19,1			5,6	20,5			12,9 7,0	

Taulukko 4. Noradrenaliinin erityis virtsaan koehenkilöittäin eri ajankohtina.

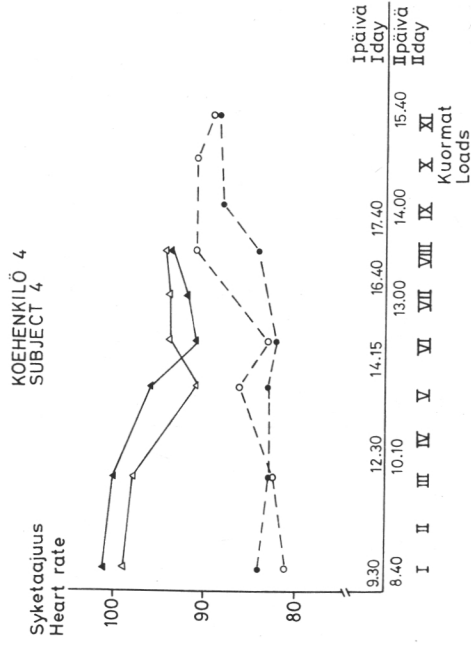
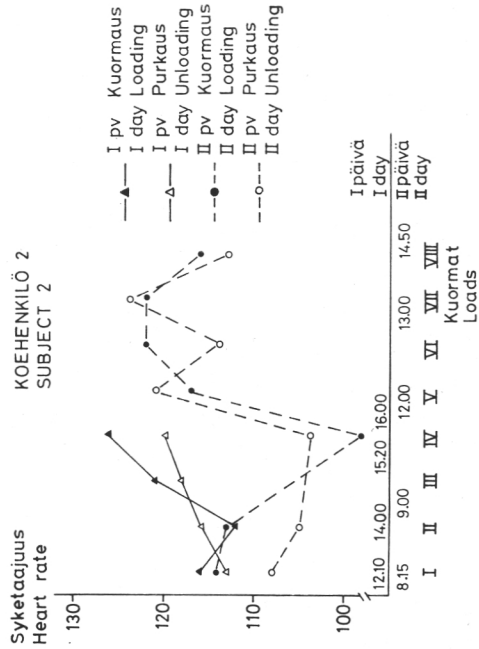
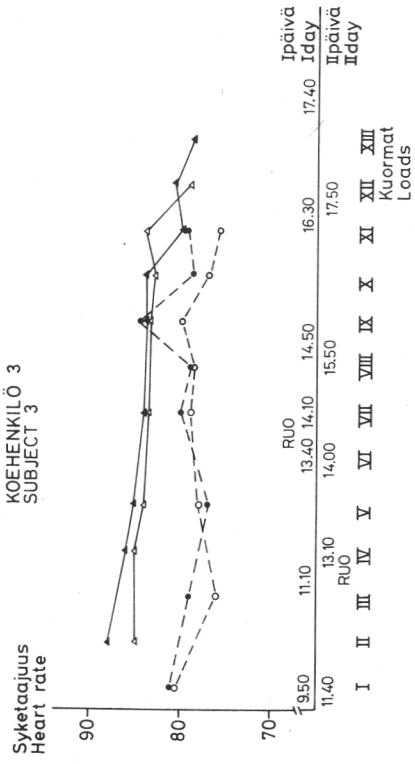
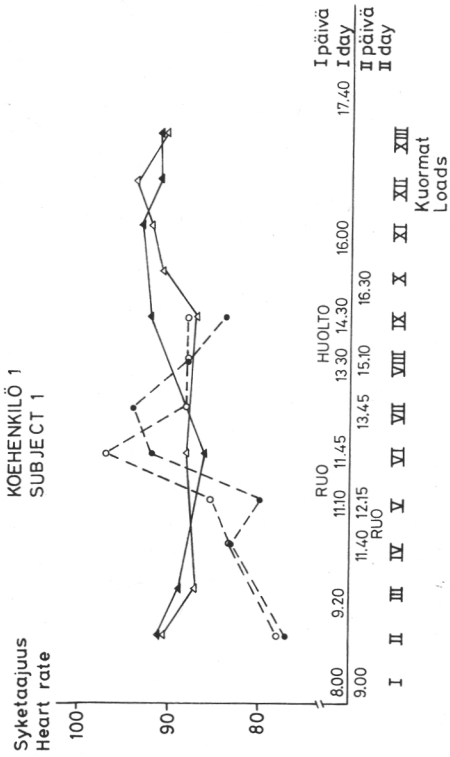
Table 4. Urinary excretion of noradrenaline from each subject at different times during the day.

Keskimääräinen erityis — Average excretion	Koehenkilö — Subject								Keski- arvo — Mean $\bar{x}$	Keski- hajonta — Standard deviation s	
	1		2		3		4				
	I	II	I	II	I	II	I	II			
ng/min				17.30—			16.40—		17.50—		
				22.00			22.30		21.30		
				14,9			35,8		28,8		20,5 10,6
ng/min				22.00—			22.30—		21.30—		
				6.00			1.30		5.40		
				15,3			28,6		10,7		18,2 9,3
ng/min	6.30—	5.30—		6.00—	8.00—	9.30—		5.40—			
	11.30	9.30		10.40	12.10	12.40		11.25			
	22,0	21,2		17,6	56,9	45,9		28,8		32,1 15,8	
ng/min		9.30—	11.00—	10.40—	12.10—		10.00—	11.25—			
		16.55	14.45	14.00	16.40		14.25	15.30			
		18,5	11,8	27,8	33,0		18,3	34,2		25,6 9,8	
ng/min	11.30—		14.45—			12.40—	14.25—				
	17.45		17.30			17.40	17.50				
	27,4		60,0			39,6	68,1			48,8 16,1	

Kortisolin lisääntyneen erittymisen lisämunuaisesta pitäisi siis heijastua virtsaan erittymisenä. Kohonneet eritysarvot on yhdistetty korkeaan sensomotoriseen kuormitukseen ja henkiseen rasitukseen (T s a n e v a 1972, D a n i e l 1979). T s a n e v a (1972) pitää korkeita arvoja myös merkinä työympäristössä olevista fyysikaalisista haitteijöistä. Kortisolin korkea eritystaso on myös yhdistetty pitkäaikaiseen kuormittamiseen. Eritys on sen sijaan vähentynyt monotonisessa, paikallaan pysyvässä työssä. (S m i r n o v ym. 1978).

### 33. Syketaajuus

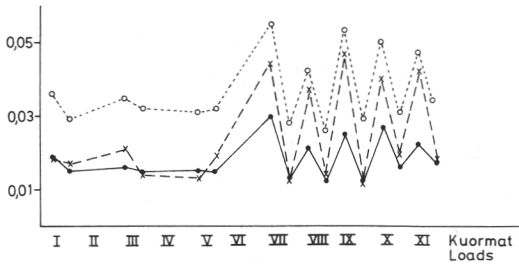
Kuljettajien syketaajuus vaihteli päivän mittaan 80—100 kertaa minuutissa arvojen välillä, kuljettajalla 2 arvot olivat korkeampia 100—120 kertaa minuutissa. Kuljettajaa 3 lukuunottamatta kuljettajien syketaajuudessa oli päivän mittaan kohoava suuntaus toisena päivänä (kuva 2). Ensimmäisen päivän arvot ovat myös korkeampia kuin toisena päivänä kuvastaen tilanteen outouden vaikutusta syketaajuuteen. Muutenkin syketaajuus on alueella, missä sitä ei voida pitää



Kuva 2. Syketaajuuden päivittäinen vaihtelu koehenkilöittäin.  
Fig. 2. The daily variation in heart rate for each subject.

Taulukko 5. 17-ketogeenisten steroidien eritysvirtsaan koehenkilöittäin eri ajankohtina.  
 Table 5. Urinary excretion of 17-ketogenic steroids from each subject at different times during the day.

Keskimääräinen eritysvirtsa — Average excretion	Koehenkilö — Subject						Keskiarvo — Mean $\bar{x}$	Keskihajonta — Standard deviation s
	1		2		3			
	I	II	I	II	I	II		
$\mu\text{g}/\text{min}$	6.30— 5.30—		17.30— 22.00—		16.40— 22.30—		17.50— 21.30—	
	11.30 9.30		5,5 6,00		6,6 1,30		4,3 5,40	
	6,2 6,6		4,8 8,2		5,7 11,1		8,4 12,5	
$\mu\text{g}/\text{min}$	9.30— 11.00—		6.00— 8.00—		9.30— 9.30—		5.40— 5.40—	
	16.55 14.45		14.00 16.40		12.40 12.40		11.25 11.25	
	5,3 4,2		6,2 8,4		8,1		12,5 12,5	
$\mu\text{g}/\text{min}$	11.30— 14.45—		10.40— 12.10—		10.00— 11.25—		10.00— 11.25—	
	17.45 17.30		14.00 16.40		14.25 15.30		14.25 15.30	
	7,0 16,5		7,2 9,7		10,1 10,1		3,8 3,8	



—●— Erotusten keskiarvo  
 Mean of differences  
 - - - x - - - Erotusten keskihajonta  
 Standard deviation of differences  
 ..... o ..... Camma

Kuva 3. Syketaajuuden vaihtelua kuvaavien muuttujien päivittäinen vaihtelu.  
 Fig. 3. The daily fluctuation in the variables that measure heart rate variability.

luotettavana kuormittumisen indikaattorina, koska monet psyykkiset ja emotionaaliset tekijät saattavat vaikuttaa syketaajuuden kohoamiseen.

Syketaajuuden keskihajonta ei lisääntynyt työpäivän aikana. Sen sijaan keskihajonnassa oli suurtakin vaihtelua kuormien välillä varsinkin iltapäivällä. T s a n e v a (1972) pitääkin korkeita sykintäarvoja ja vaihtelurajojen kasvua väsymyksen merkinä.

### 34. Syketaajuuden hetkellinen vaihtelu

Tässä tutkimuksessa erilaiset syketaajuuden vaihtelua kuvaavat muuttujat käyttäytyivät hyvin samalla tavalla (kuva 3). Cammassa ja erotusten keskihajonnassa muutosten suuruus kuvastui vain selvempänä kuin erotusten keskiarvossa. Koska camman laskennassa käytettävän ajanjakson pituus ei

ollut aikaisempien tutkimusten perusteella aivan selvä, jaettiin tuhannen R-piikin jakso kahteen viidensadan piikin jaksoon (taulukko 6, s.16). Tuloksista ilmeni, että camman arvoissa oli eroja näiden kahden viidensadan piikin jaksojen välillä ja toisaalta ne erosivat myös tuhannen piikin arvosta. Erot eivät näytä kuitenkaan johtuvan laskennallisista tekijöistä, vaan kuormituksessa tapahtuvista muutoksista, koska muutoksissa on havaittavissa tietty johdonmukaisuus. Iltapäivällä camman arvot olivat kuormituksen alkupuolella yleensä korkeampia eli kuormittuminen oli vähäisempää, vastaavasti loppupuolella arvot olivat alhaisempia ja kuormittuminen suurempi. Tuhannen R-piikin avulla laskettu camma antoi ajanjakson keskimääräisen arvon. Syketaajuus oli myös iltapäivällä kuorman loppupuoliskolla korkeampi kuin alkupuoliskolla,

mikä osaltaan kuvaa kuormittumisen lisääntymistä.

Kuvassa 4 on esitetty camman vaihtelu kuormittain sekä kuormaus- että purkausvaiheessa. Alhaisemmat arvot kertovat sensoromotorisen kuormituksen lisääntymisestä ja/tai aktivaatiotason kohoamisesta. Muutoksissa ei ole mitään selvää, kaikille kuljettajille yhteistä linjaa. Purkausvaihe ei näytä kuormitukseltaan olevan kuormausta helpompi, esimerkiksi kuljettajan 3 toisen päivän purkausvaiheen cammat ovat selvästi alhaisempia kuin kuormausvaiheen. Selitys ei löydy nopeammasta työskentelystä, koska työvaiheen 13 eli kouran vienti tyhjänä suoritusnopeus ei suinkaan ollut purkausvaiheessa nopeampi kuin kuormauksessa (kuva 6). Motorinen aktiivisuus on työssä ilmeisesti niin alhaista, että sillä ei ole häiritsevää vaikutusta camman arvoihin. Esimerkiksi koehenkilöllä 3 on kuormauksen työvaiheen 13 ajanmenekki toisena päivänä ollut lähes sama, vaikka cammassa tapahtuikin selviä muutoksia.

Koehenkilö 1 ajoi ensimmäisenä päivänä kuormat XII ja XIII pimeässä, mikä näkyy sekä lisääntyneenä työaikana (työvaihe 13, kuva 6) että camman arvojen selvänä laskuna. Kuljettajan on selvästi täytynyt lisätä ponnisteluaan suoriutuakseen työstään. Syketaajuuden vaihtelussa näyttää olevan yksilöllisiä "sisäisistä tekijöistä" johtuvia eroja. Eräänä sekoittavana tekijänä on ikä, koska nuorimman kuljettajan (kuljettaja 1) arvot poikkesivat selvästi muiden arvoista. Näyttää myös siltä, että vaihtelulla olisi tietty minimiraja, jonka alapuolelle se harvoin menee. Näillä kuljettajilla se näyttäisi kuormatrankorityössä olevan camman arvon 0.02 tuntumassa. Tällaisen rajan olemassaolo on aivan luonnollista, elimistö sietää päivästä toiseen tietyn kuormittumisen ja palautuu siitä ilman häiriöitä. Ensimmäisen päivän alkupuolen arvoihin vaikuttaa selvästi tilanteen outous. Toisena päivänä kuljettajilla 2 ja 4 näkyy selvemmin lievä laskeva tendenssi kuin ensimmäisenä päivänä. Kuljettajilla 1 ja 3 ilmiö ei tule yhtä selvänä esille, koska kuljettaja 1 ajoi viisi ensimmäistä kuormaa tukkeja ja loppupäivän kuitupuuta, kuljettaja 3 puolestaan ajoi seitsemän kuormaa tukkeja ja sen jälkeen kuitupuuta. Yleisenä piirteenä näyttää myös olevan, että camman arvot olivat melko samantyyppisiä III—V ensimmäisen kuorman aikana,

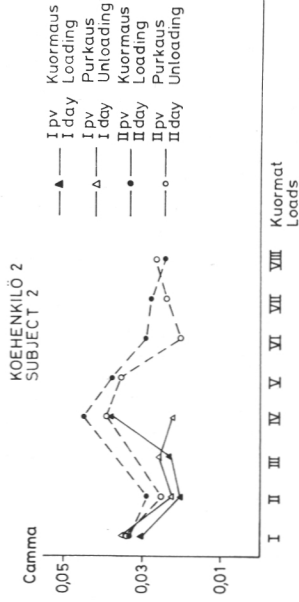
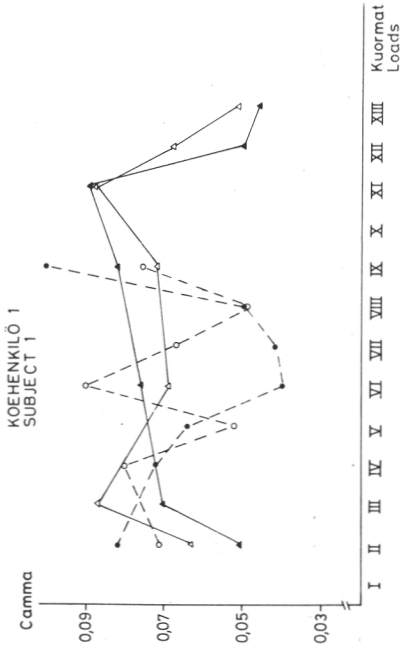
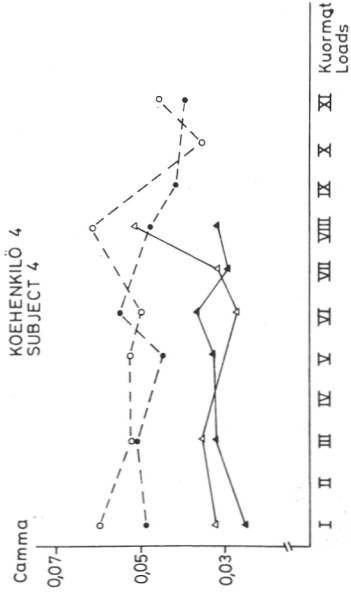
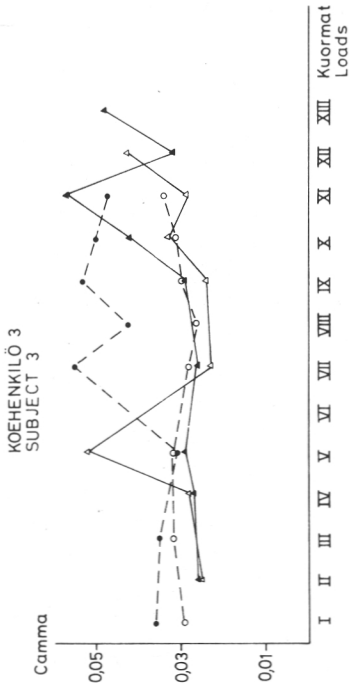
minkä jälkeen vaihtelu kasvoi. Viimeisellä kuormalla tapahtuu ilmeisesti jonkinlainen latauksen purkautuminen, koska camman arvot kohosivat lähes kaikilla.

### 35. Syketaajuuden vaihtelun spektrianalyysi

Spektreissä on selvästi yksilöllisiä eroja (kuva 5), mutta päivän kuluessa niissä tapahtuu samansuuntaisia muutoksia. Yleisenä piirteenä on 0,15 Hz:ä korkeampien taajuuksien amplitudien pienentyminen työpäivän edetessä. Kaikilla voidaan havaita koko päivän kaksi piikkiä, toinen niistä sijoittuu 0,05 Hz alapuolelle ja toinen 0,12 Hz tienoille. Näiden piikkien amplitudit kohoavat joillakin koehenkilöillä päivän keskivaiheilla (kuormat IV—VII) ja laskevat sen jälkeen. Charnockin ja Manenican (1978) aineistossa ilmeni koehenkilöiden spektreissä kaksihuippuisuutta pakkotahtisissa työskentelyoloissa, vapaassa työtahtisissa huippuja sen sijaan oli yksi. Sayersin (1973) käsityksen mukaan alempi piikki liittyy lämpötilan säätelyyn ja toinen vasomotorisiin tekijöihin.

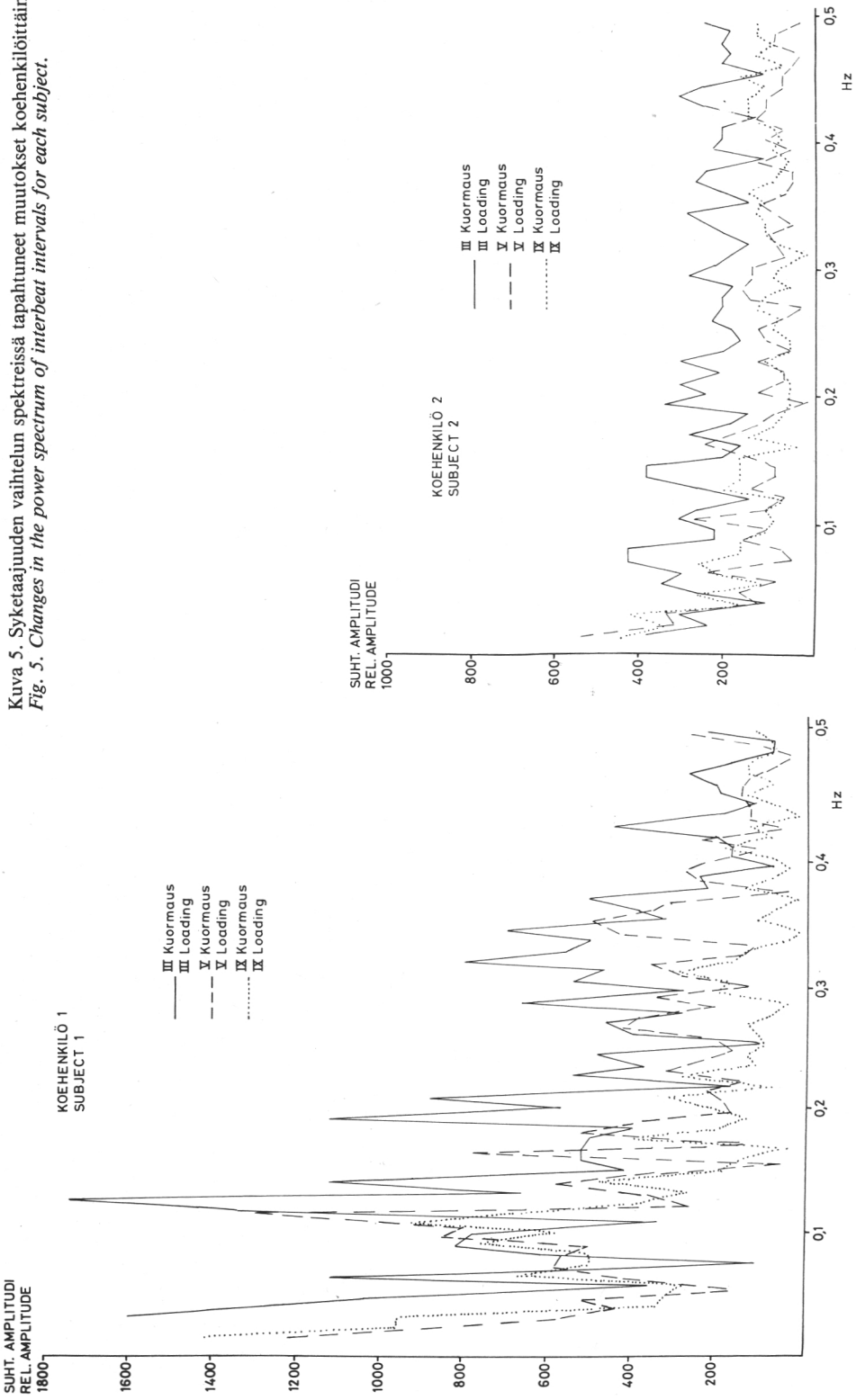
Henkisessä kuormituksessa on havaittu 0,1 Hz:n alueella amplitudin pienenemistä, minkä on oletettu aiheutuvan muutoksista vasomotorisessa verenpaineen säätelyssä (Anttila 1979). Kuljettajilla 2 ja 3 tapahtui spektrien piikeissä pienenemistä työpäivän loppupuolella. Piikkien säilymisen selityksenä saattaa olla, että traktoreiden ääriä vaikuttaa tähän vasomotoriseen verenpaineen säätelyyn (Harstela ja Salminen 1980).

Hengityksen vaikutukset taajuusalueella 0,2—0,3 Hz häviävät tai siirtyvät matalammalle taajuusalueelle henkisessä kuormituksessa (Anttila 1979). Kuljettajilla näkyy myös selvästi amplitudin pieneneminen tällä alueella. Vielä II kuormassa, joillakin kuljettajilla myös V ja VI kuormassa näkyy korkeita amplitudeja hengityksen taajuusalueella. Viimeisissä kuormissa amplitudit ovat selvästi painuneet alhaiselle tasolle (kuva 5). Charnockin ja Manenican (1978) tutkimuksissa hengitystaajuuden amplitudit pienenivät vapaatahtisessa työssä, pakkotahtisessa työssä ilmeni sen sijaan hengityksen vaikutus.

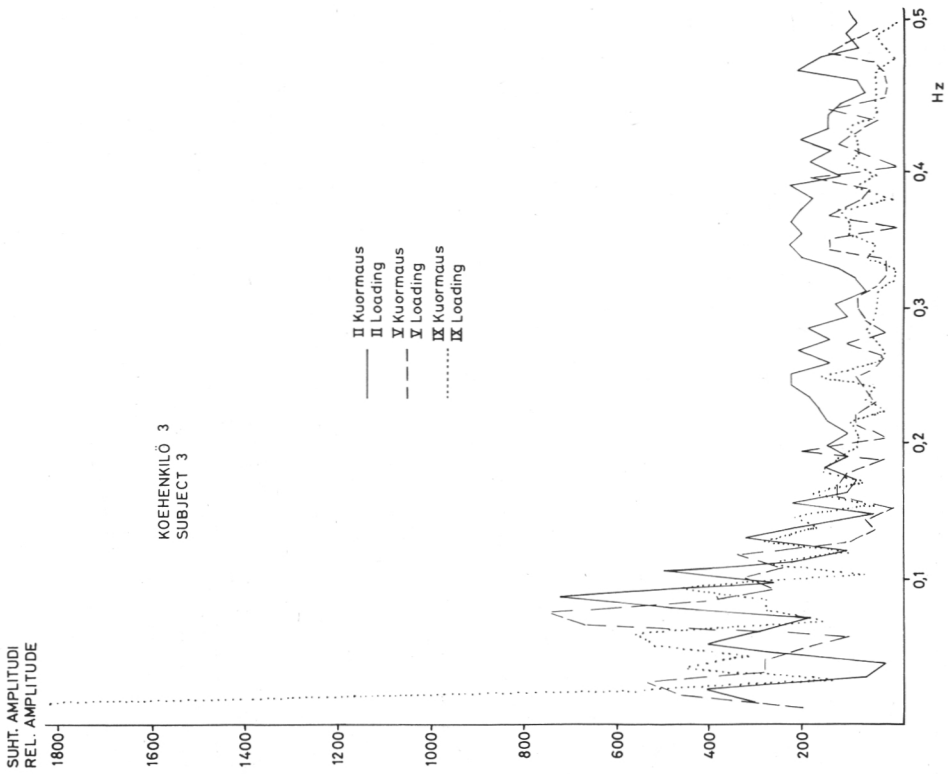
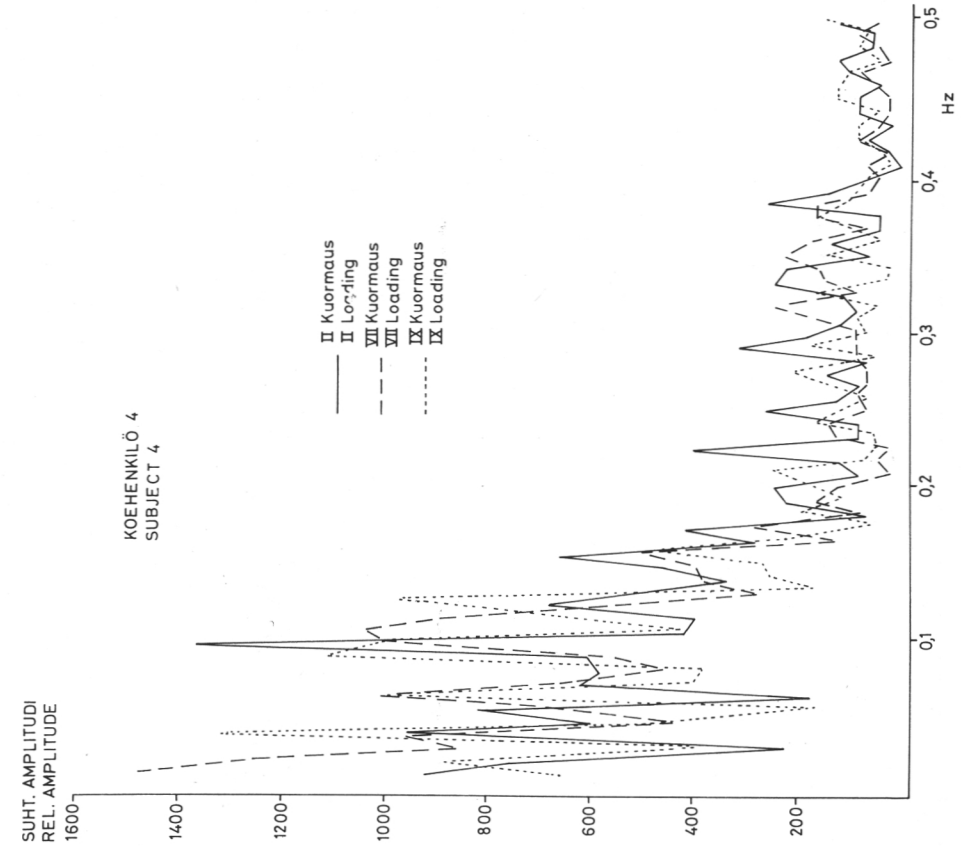


Kuva 4. Camman päivittäinen vaihtelu koehenkilöittäin.  
Fig. 4. The daily variation in the Camma index for each subject.

Kuva 5. Syketaajuuuden vaihtelun spektreissä tapahtuneet muutokset koehenkilöittäin.  
 Fig. 5. Changes in the power spectrum of interbeat intervals for each subject.







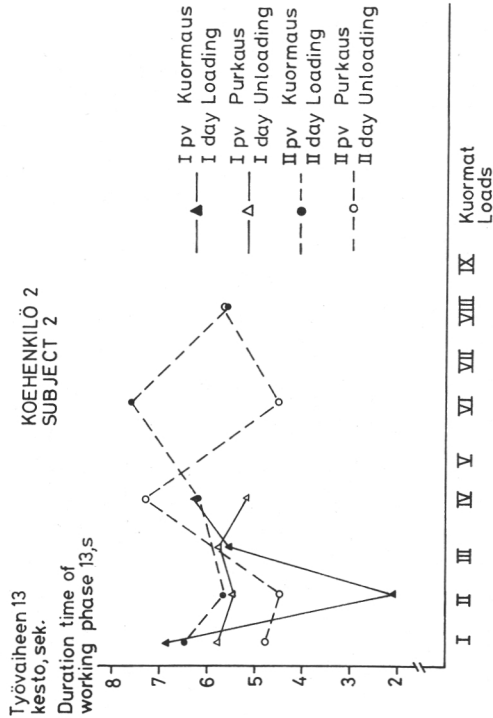
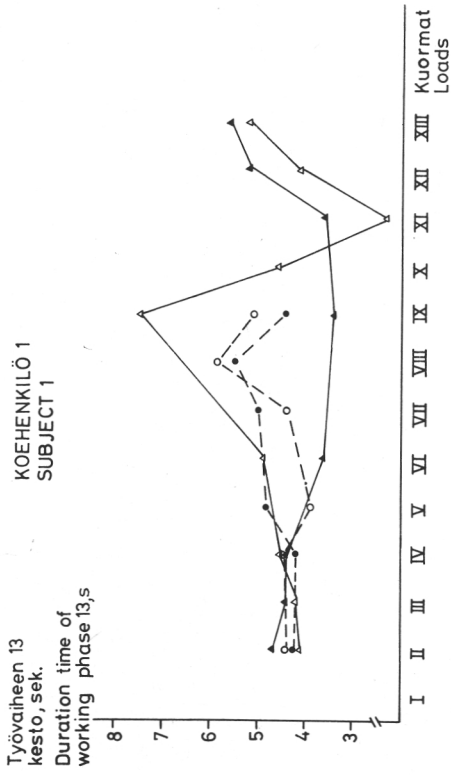
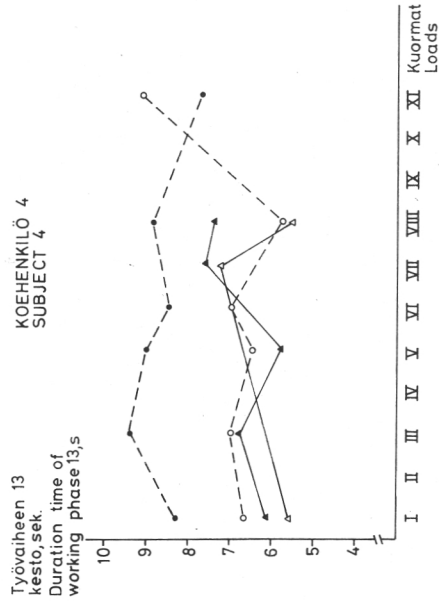
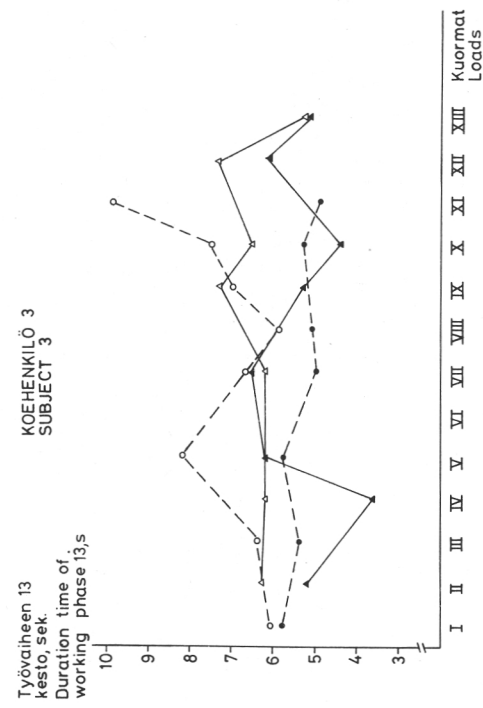
Taulukko 6. Camman ja syketaajuuden arvot kuormauksen alku- (A) ja loppupuolelta (L) ja koko ajanjaksolta (K).  
 Table 6. The Camma and heart rate values at the beginning (A) and the end of loading (L) and also for the whole time period (K).

KOEHENKILÖ 1 SUBJECT 1	Kuormaus — Loading											
	II			V			VII			IX		
	K	A	L	K	A	L	K	A	L	K	A	L
Camma	.082	.097	.068	.065	.065	.052	.042	.036	.047	.104	.126	.068
Syketaajuus Heart rate	76	76	79	81	80	86	94	96	91	83	84	87
Syket.hajonta Standard deviation of heart rate	10	11	8	8	7	7	7	6	6	13	17	7

KOEHENKILÖ 2 SUBJECT 2	Kuormaus — Loading								
	III			V			VI		
	K	A	L	K	A	L	K	A	L
Camma	.035	.032	.027	.028	.032	.021	.029	.025	.042
Syketaajuus Heart rate	105	106	103	117	119	113	123	125	118
Syket.hajonta Standard deviation of heart rate	6	5	4	5	5	4	6	6	6

KOEHENKILÖ 3 SUBJECT 3	Kuormaus — Loading														
	I			V			VII			IX			X		
	K	A	L	K	A	L	K	A	L	K	A	L	K	A	L
Camma	.036	.032	.033	.031	.033	.030	.055	.062	.045	.054	.049	.065	.051	.051	.041
Syketaajuus Heart rate	81	81	81	77	77	77	80	79	81	85	82	88	79	79	83
Syket.hajonta Standard deviation of heart rate	4	4	5	3	3	2	7	6	6	11	9	14	7	7	5

KOEHENKILÖ 4 SUBJECT 4	Kuormaus — Loading														
	I			II			V			VI			VIII		
	K	A	L	K	A	L	K	A	L	K	A	L	K	A	L
Camma	.049	.049	.046	.050	.051	.058	.046	.044	.045	.059	.065	.056	.048	.048	.048
Syketaajuus Heart rate	84	84	84	83	83	83	83	82	84	82	81	82	84	83	85
Syket.hajonta Standard deviation of heart rate	6	5	6	5	6	5	6	5	6	7	7	6	6	5	5



Kuva 6. Työväiheen 13 keston päivittäinen vaihtelu koehenkilöittäin.  
Fig. 6. The daily variation in the duration of working phase 13 for each subject.

### 36. Muutokset työajanmenekissä

Muutoksia työajanmenekissä tarkasteltiin eri työvaiheiden keston muutosten perusteella. Erikoisesti tarkasteltiin työvaihetta 13, minkä aikana kuormauksessa koura siirrettiin tyhjänä kuormasta kasan tai tukin luo, purkauksessa tyhjä koura ohjattiin kassalta kuormaan. Tämän työvaiheen arvioitiin olevan vähiten altis työvaikeustekijöiden häiriöille, joten siinä näkyisivät parhaiten väsymyksen aiheuttamat muutokset. Kaikkien työvaiheiden kestossa oli havaittavissa samansuuntaisia muutoksia, mikä selittynee osittain kasan etäisyydestä kuormaan ja ajettavan tavaralajin vaihtumisesta. Kuljettajan 4 aineistosta ilmeni, että jos kasan etäisyys kasvoi kahdesta kolmeen metriin, lisääntyi työvaiheen 13 kesto noin kaksi

sekuntia. Hän ajoi harvennushakkuumaalla. Kuljettajalla 3 työvaiheen 13 kesto ei sen sijaan riippunut kasan etäisyydestä. Hän ajoi avohakkuutyömaalla.

Kuvassa 6 nähdään työvaiheen 13 keston muutokset koehenkilöittäin. Muutoksissa ei voida havaita mitään selvää samankaltaisuutta. Saman kuormauksen sisällä vientiajat nopeutuvat hieman kuormauksen loppupuolella, mikä ilmeisesti aiheutuu siitä, että kuorman edistyessä kouran vientimatkat lyhenevät. Työvaiheiden keston näyttävät vaikuttavan siis monet työvaikeustekijät, joiden vaihtelu peittää alleen mahdolliset väsymyksen vaikutukset. Jotta ajanmenekin muutoksien aiheuttajat pystyttäisiin selvittämään, tarvittaisiin työvaikeustekijöiden tarkempi analyysi kuin mitä nyt suoritettiin.

## 4. PÄÄTELMÄT

Vaikka metsätyön luonteessa on koneellistamisen seurauksena tapahtunut muutos, ei työntekijöiden fysiologisessa vasteessa ole tapahtunut kaikkien muuttujien osalta muutosta parempaan. Työn fyysinen rasitus on selvästi keventynyt. Syketaajuuden avulla arvioituna työ on kevyttä tai kohtalaisen raskasta. Verenkiertoelimistön rasitus on siis pienentynyt huomattavasti. Fyysisen rasituksen sijalle on tullut henkisiä kuormitteita. Lisämunuaisen hormonien eritysvirtsaan ei ole kuljettajilla oleellisesti vähäisempää hakkuumiehiin verrattuna (Salminen 1980). Katekolamiinien erityis on ehkä hieman alhaisempaa, ketogeenisten steroidien vastaavasti korkeampaa. Hormoneista ei vielä tiedetä, mitkä pitoisuudet ovat terveydelle vaarallisia, jatkuva korkea eritystaso lisännee mm. sydänsairauksien riskiä (Johnson 1980).

Käytetyistä mittareista mikään ei anna selvää vastausta työntekijän kuormittumisesta tai stressireaktiosta. Muutokset syketaajuudessa ja sen vaihtelussa sekä lisääntynyt hormonien erityis iltapäivällä kertovat väsymyksestä. Työntekijöiden on lisättävä ponnisteluaan, jotta he pystyisivät pitämään aikaisemman suoritus tasonsa. Tutkimuksen aikana kuljettajat tekivät normaalia lyhyem-

pää työpäivää. Työskentelyolosuhteiden vaikeutuminen työpäivän lopussa (kuljettaja 1) näkyi selvästi syketaajuuden vaihtelussa. Hormonien yöeritys palautui normaalille tasolle.

Tällaisessa sensomotorisessa työssä väsymys ei aina tule selvänä esille työn tuottavuudessa, koska työntekijä pystyy kompensoimaan väsymystään aktiivaatiotasoaan kohottamalla (Voronin 1978). Työn jakautuminen erilaisiin työrupeamiin, kuormaukseen, ajoon ja purkaukseen lisää työn vaihtelevuutta ja viivästyttää monotonian ja väsymyksen tuntemuksia. Kuljettajat väsyvät selvästi 3—5 tunnin työskentelyn jälkeen, mutta he pystyvät pitämään tuottavuuden entisellä tasolla kohottamalla aktiivaatiotasoaan. Vasta 7—9 tunnin työskentelyn jälkeen, kun työn kuormittavuus lisääntyi pimeään vuoksi, alkoi työn tuottavuus laskea kuljettajalla 1.

Kuormatraktoriötä voidaan pitää varsin mielekkäänä metsätyönä. Työn raskaus on kohtuullista. Työntekijät saavat käyttää vaihtelevasti tietojaan ja taitojaan. Kuljettajat näkevät työnsä tulokset heti sekä työ saadaan loppuun suoritetuksi, kun leimikko on kokonaan ajettu. Nämä tekijät osaltaan edistävät korkean motiivaatiotason synty-

mistä. Työhön liittyy tiettyä vaihtelevuutta esimerkiksi erilaiset ajopalstat, työ on vapaata ja työtahdin voi osin itse määrätä. Työympäristön fysikaalisia kuormitteita, melua ja heiluntaa on mahdollista vähentää koneiden teknisen kehittelyn avulla. Kuljettajat tekevät yleensä kuitenkin kohtuuttoman pitkiä työpäiviä, ehkä selviytyäkseen

kalliin koneen hankinnasta. Seurauksena saattaa olla sosiaalinen eristäytyminen ja pitkien työpäivien aiheuttama kuormittuminen, ”jatkuva väsymyksen tunne”, minkä vaikutukset saattavat näkyä elimistössä vasta vuosien altistuksen jälkeen ja ovat huonosti mitattavissa käytetyillä mittareilla.

## KIRJALLISUUS

- ANTILA, K. 1979. Quantitative characterization of heart rate during exercise. *Scand. J. Clin. Lab. Inv. Supp.* 153:1—68.
- APPLEBY, J. et al. 1955. *Biochem. J.* 60:453.
- ASHOFF, J. 1978. Circadiane Rhythmen im endocrinem System. Summary: Circadian rhythms in the endocrine system. *Klin. Wschr.* 56:425—435.
- BOSTRAND, L. 1978. Av maskinförarna upplevda besvär. *Sveriges Skogsvförb. Tidskr.* 1—2:31—35.
- BRADLEY, G. & PATKAI, P. 1974. Skiftarbete vid mekaniserad avverkning. Summary: Shiftwork in mechanized logging. *Rapp. Upps. Instn. Skogstek. Skogshögsk.* 66:1—84.
- CHARNOCK, D. & MANENICA, I. 1978. Spectral analysis of R-R intervals under different work condition. *Ergonomics* 21(2):103—108.
- DANIEL, J. 1979. Relationship between resistance to mental and physical loads. *Ergonomics* 22(6):703 (abstr.).
- ETTAMA, J.H. & ZIELHUIS, R.L. 1971. Physiological parameters of mental load. *Ergonomics* 14(1):137—144.
- EULER von, U.S. & LISHAJKO, F. 1961. Improved technique for the fluorimetric estimation of catecholamines. *Acta Physical. Scand.* 51:348—356.
- FRANKENHAEUSER, M. 1971. Behaviour and circulating catecholamines. *Brain research* 31:241—262.
- 1975. Sympathetic-adrenomedullary activity, behaviour and the psychosocial environment. Pp. 71—94 in *Venables, P. & Christie, M.* (eds). *Research in psychophysiology.* 444 s. London. John Wiley & Sons.
- GARDELL, B. 1978. Työn sisältö ja elämisen laatu. 132 s. Helsinki. Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- HALL, B. 1973. Skogsarbetet ur psykologisk synvinkel. *Ekon. Forskn. Stift. Skogsarb.* 11:1—4.
- HANSSON, J.-E. & WIKSTRÖM, B.-O. 1974. Vibrationsbelastning på skogsmaskinförare. Summary: Vibration stress on forest drivers. *Rapp. Upps. Instn. Skogstek. Skogshögsk.* 67:1—28.
- HARSTELA, P. 1979. Puunkorjuun ergonomia. 151 s. Suonenjoki.
- & SALMINEN, M.-L. 1980. Heart rate variability and some other psycho-physiological variables when driving some forest machines. *IUFRO, Div. 3, Proceedings* 21.—26.9.1980.
- HONKASALO, A. 1978. *Työsuojelu, ergonomia.* 184 s. Otaniemi. Otakustantamo.
- JOHANSSON, G. 1980. Stress — strain at work — general knowledge and aspects. *IUFRO, Div. 3, Proceedings* 21.—26.9.1980.
- JØRGENSEN, M. 1957. *Acta Endock.* 26:424.
- KAHALA, M. 1979. Puutavaran kuormatratkorkuljetus ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Forwarder transport of timber and factors influencing it. *Metsätehon tiedotus* 355:1—30.
- KALIMO, R., KAUPPINEN-TOROPAINEN, K. & LINDSTRÖM, K. 1979. Psykkinen työsuojelu. Summary: Psychological and social factors in working life. *Työterveyslaitoksen katsauksia* 30: 1—116.
- KALSBEEK, J. 1971. Sinus arrhythmia and the dual task method of measuring mental load in *Singleton, W., Fox, J. & Whitefield, D.* (eds) measurement on man at work — an appraisal of physiological and psychological criteria in man-machine systems. London. Taylor & Francis Ltd.
- KYTTÄLÄ, T. 1978. Työn organisointimahdollisuudet puunkorjuussa. Summary: Aspects of work organizing in logging. *Folia For.* 361:1—37.
- KÄTTÖ, J. & SALMINEN, H. 1973. Metsätorktorien melu, tärinä ja heilunta. Summary: Noise, vibration and rocking of forest tractors. *VAKOLA, tutk. sel.* 10:1—35.
- LEHTONEN, A. 1977. Menetelmäkehittälyä työhön liittyvän stressin ja stressireaktioiden tutkimiseksi kyselyllä. Summary: Questionnaire for use in research on work stress. *Työterveyslaitoksen tutkimuksia* 132:1—67.
- LUCZAK, H. 1978. Fractioned heart rate variability. Part I. Analysis in a model of cardiovascular and cardiorespiratory system. *Ergonomics* 21 (11):895—911.
- 1979. Fractioned heart rate variability. Part II. Experiments on superimpositions of components of stress. *Ergonomics* 22(12):1315—1324.
- & LAURIG, W. 1973. An analysis of heart rate variability. *Ergonomics* 16(1):85—98.
- MULDER, G. & MULDER-HAJONIDES van der MEULEN, W. 1973. Mental load and the measurement of heart rate variability. *Ergonomics* 16(1): 69—83.
- NORYMBERSKI, J. et al. 1953. *Lancet* I:1276.

- SALMINEN, M.-L. 1980. Työntekijän fysiologinen ja biokemiallinen kuormittuminen hakkuutyössä. Summary: Heart rate changes and some biochemical factors during the day at cutting work. *Commun. Inst. For. Fenn.* 96.6:1—35.
- SAYERS, B. 1973. Analysis of heart rate variability. *Ergonomics* 16(1):17—32.
- SMIRNOV, K., VIRU, A., SAZONA, T. & SMIRNOVA, T. 1978. [17 -oksikortikoiden erityksen vuorokautinen rytmi paikallaan pysyvässä ja yksitoikkoisessa tuotannollisessa työssä]. Käännös venäjältä. *Fiziologija Čeloveka* 4(1):42—45.
- SOININEN, H. 1975. Koko kehon värinä. Kirjallisuuskatsaus. Summary: Whole body vibration. A literature review. *Työterveyslaitoksen tutkimuksia* 116:1—38.
- TEIKARI, E. 1977 a. Traktorin ergonomiset ominaisuudet puutavaran lähikuljetuksessa. Summary: The ergonomic properties of tractor in the forest haulage of timber. *Työteho-seuran julkaisuja* 195:1—64.
- 1977 b. Traktorinkuljettajien arviot puutavaran lähikuljetuksesta. Summary: Opinions of tractor operators about the forest haulage of timber. *Työteho-seuran julkaisuja* 196:1—69.
- 1979. Metsätyöntekijöiden työviihtyvyys. Summary: Job satisfaction among forest workers. *Työteho-seuran julkaisuja* 208:1—96.
- TSANEVA, N. 1972. Väsymys työssä. Sivut 3—22 teoksessa *Väsymys työssä*. 161 s. Helsinki Työterveyslaitos.
- Työolojen tutkimisen teoreettisia lähtökohtia. 1976. Teoreettista työsuojelututkimusta suunnitelleen työryhmän mietintö. 115 s. Helsinki. Suomen Akatemia.
- VALONEN, P. 1975. Tekomiehen fyysinen kuormitus kehittyneissä työvaltaisissa kuitupuun teko-menetelemissä. Summary: The physical strain on the logger in advanced labour intensive pulpwood preparation methods. *Folia For.* 243:1—31.
- WUOLIJOKI, E. 1978. Heilunnan vaikutukset kuljettajaan. Summary: Surveying the effects of vibration (Preliminary report). *Teho* 11:21—24.
- VUORINEN, H. 1978. Metsätraktorin kuljettajan kuormittamisen mittaussmahdollisuudet. Summary: Possibilities of measuring the strain on forest tractor drivers. *Folia For.* 347:1—16.

## SUMMARY

Mechanization has changed the character of forest work. The physical strain on the worker has decreased, but the psychical strain has increased correspondingly. In this study the work of the forwarder's driver was investigated. Forest haulage with a forwarder is largely sensomotoric work. The sensomotoric process becomes pronounced especially when using a grapple. While evaluation of the load in this kind of work is difficult, the result is often measurement of the strain-induced changes in the worker's homeostasis and functions.

The work load of forwarder driving was observed by measuring the strain on the drivers with psychophysiological indicators. The indicators used were heart rate and its variability, urinary excretion of catecholamines and ketogenic steroids, and the variation in reaction time at different times of the working day. In addition, the suitability of these indicators for field studies and how well they measure the strain were evaluated.

The test subjects were four experienced drivers. The measurements were performed two days for each worker. Three of them were contractors and the fourth drove a forwarder owned by his father. The strain reactions were also evaluated by questionnaires and interview. In addition, the drivers reported three times during the day their feelings about fatigue and activity with help of descriptive adjectives.

The changes in the reaction time of the drivers were recorded at different times during the working day. All the urine of the drivers was collected during the working day. In the evening and at night the drivers collected their urine according to instructions issued. The drivers' heart rate was measured during the working day by a telemetric system. Simultaneously, the working phases were coded on the other channel of the magnetic

tape. Every heart beat time was transferred from the magnetic tape to the whole band. The whole bands were analysed by computer.

Loading and unloading and also driving loaded and unloaded were treated as separate working phases. The average heart rate and its standard deviation were calculated for each phase. The average difference of two successive R-R interval times and the standard deviation of these differences were calculated from the same time period. The Camma index describing the heart rate variability was also calculated. For some working phases spectral analyses of heart rate variability were also carried out with the help of Fourier transformation.

Three drivers were satisfied with their job, felt that the work suited them. The fourth driver was not quite satisfied with his job and he also thought that the work did not come up to the level of his skills and requirements. All the drivers thought that the work required a lot of decision making and consideration; decision making on economical problems was partly included in this question. Typical strain symptoms were pain in the stomach, stiff muscles and a persistent feeling of fatigue.

The drivers estimated that they were a little tired both at the beginning and at the end of the working day. The reaction time measurements did not give any clear results, because practice was required in the use of the apparatus. The Kruskal-Wallis test showed no statistically significant difference between different times during the day.

The urinary excretion of the drivers was lowest during the night, and in the morning, too, it was very small. Of the catecholamines, the excretion of adrenaline increased more clearly in the morning than of

noradrenaline. The excretion of adrenaline of two drivers was also strong in the afternoon. The increase in the urinary excretion of adrenaline in the morning may be associated with the general adaptation reaction to the work and increased need for concentration. The increased excretion in the afternoon may indicate that the drivers have raised their effort and activation level to be able to maintain the same performance level as in the morning.

The highest urinary noradrenaline contents were found in the afternoon, except for driver 3. Increased excretion in the afternoon may indicate the existence of an additional load, such as noise and vibration. The increased excretion of ketogenic steroids supports the existence of physical loads. The increased excretion of steroids has also been connected with somatomotoric load and the existence of prolonged strain.

The heart rate of the drivers increased during the second day, except for driver 3. The heart rate ranged from 80 to 100 beats a minute; driver 2, whose heart rate ranged from 100 to 120 beats a minute, was an exception. The heart rate variability of drivers 2 and 4 as measured by the Camma index showed a decreasing tendency at the end part of second day. The results for drivers 1 and 3 are difficult to interpret, because they changed their work during the day from driving logs to pulpwood. The lower the Camma values, the greater was the strain.

Changes of similar trend occurred during the day in the power spectra of cardiac interbeat intervals. A general feature was the decreasing of amplitudes in the range over 0,15 Hz during the working day. Under

mental load the influence of breathing disappears in the spectral range from 0,2 to 0,4 Hz. This phenomenon appeared clearly in the drivers' results as a decrease in amplitudes in this spectral zone. The other typical feature of mental load, low power in the spectral range 0,1 Hz, did not appear as clearly in the results. An explanation of the occurrence of spikes may be that the vibration of the forwarder influences the regulation of vasomotoric blood pressure, which is thought to cause these spikes.

None of the variables alone indicated the possible strain and stress reactions of the worker. Several variables together gave, however, an impression of the trend of the changes. In this kind of somatomotoric work the strain does not always appear clearly in the psychophysiological variables or in the productivity of work, because the worker can compensate for the strain by increasing his activation level. Generally, the changes in heart rate and its variability and the increased excretion of hormones which occurred in the afternoon indicated the increase in effort and strain.

The physical load typical of forest work has decreased in the driving of a forwarder. The work also offers variety. The character of the driving areas changes and the work includes different phases which can delay the feeling of monotony and fatigue. The worker can, however, be exposed to physical loads, working alone, long working days and a responsibility for expensive machinery, factors which may cause changes in the worker's homeostasis after an exposure of years. These changes are not readily measurable with the variables used in the study.









ODC 302  
ISBN 951-40-0500-7  
ISSN 0015-5543

SALMINEN M-L. 1981. Kuormatrazektorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psykofysiologisilla menetelmillä. Summary: Evaluation of the strain on the forwarder driver with the help of some psychophysiological methods. *Folia For.* 455:1—21.

The strain on the forwarder driver during the working day was measured by the heart rate and its variability, changes in the urinary excretion of catecholamines and 17-ketogenic steroids, and the worker's reaction time. None of the variables alone indicated the possible strain. Several of the variables together, however, gave an idea of the trend of the changes.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland

ODC 302  
ISBN 951-40-0500-7  
ISSN 0015-5543

SALMINEN M-L. 1981. Kuormatrazektorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psykofysiologisilla menetelmillä. Summary: Evaluation of the strain on the forwarder driver with the help of some psychophysiological methods. *Folia For.* 455:1—21.

The strain on the forwarder driver during the working day was measured by the heart rate and its variability, changes in the urinary excretion of catecholamines and 17-ketogenic steroids, and the worker's reaction time. None of the variables alone indicated the possible strain. Several of the variables together, however, gave an idea of the trend of the changes.

Author's address: The Finnish Forest Research Institute, Suonenjoki Research Station, SF-77600 Suonenjoki, Finland

Tilaa kortin kääntäpuolelle merkitsemäni julkaisut (julkaisun numero mainittava).

*Please, send me following publications (add numbers of the publications on the backside of the card).*

Nimi  
*Name*

---

Osoite  
*Address*

---

---

---

---

Metsäntutkimuslaitos  
Kirjasto/*Library*  
Unioninkatu 40 A  
SF-00170 Helsinki 17  
FINLAND



Folia Forestalia

---

---

Communicationes Instituti Forestalis Fenniae

---

---

Huomautuksia & tiedusteluja  
*Remarks & calls for information*

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

# METSÄNTUTKIMUSLAITOS

## THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

### Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto  
*Department of Soil Science*

Suontutkimusosasto  
*Department of Peatland Forestry*

Metsänhoidon tutkimusosasto  
*Department of Silviculture*

Metsänjalostuksen tutkimusosasto  
*Department of Forest Genetics*

Metsänsuojelun tutkimusosasto  
*Department of Forest Protection*

Metsäteknologian tutkimusosasto  
*Department of Forest Technology*

Metsänarvioimisen tutkimusosasto  
*Department of Forest Inventory and Yield*

Metsäekonomian tutkimusosasto  
*Department of Forest Economics*

Matemaattinen osasto  
*Department of Mathematics*

### Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema  
*Parkano Research Station*  
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland  
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema  
*Muhos Research Station*  
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland  
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema  
*Suonenjoki Research Station*  
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland  
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoelasema  
*Punkaharju Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland  
Puh. — *Phone:* (957) 314 142

Ojajoen koeasema  
*Ojajoki Experimental Station*  
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland  
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema  
*Kolari Research Station*  
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland  
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema  
*Rovaniemi Research Station*  
Os. — *Address:* Eteläranta 55  
96300 Rovaniemi 30, Finland  
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema  
*Joensuu Research Station*  
Os. — *Address:* c/o Joensuun korkeakoulu  
c/o Joensuu University  
PL 111  
80101 Joensuu 10, Finland  
Puh. — *Phone:* (973) 28 311

Ruotsinkylän jalostuskoelasema  
*Ruotsinkylä Tree Breeding Station*  
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland  
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

- No 446 Kuusela, Kullervo & Salminen, Sakari: Ahvenanmaan maakunnan ja maan yhdeksän eteläisimmän piirimetsä-lautakunnan alueen metsävarat 1977—1979.  
Forest resources in the Province of Ahvenanmaa and the nine southernmost Forestry Board Districts in Finland 1977—1979.
- No 447 Uusvaara, Olli: Pelkkahakkureilla tehdyn hakkeen ja sahatavaran pinnan laatu.  
Quality of chips and surface of sawn timber made by chipper headrigs.
- No 448 Vuokila, Yrjö: Kasvatustiheyden vaikutus istutuskuusikon kasvuun ja tuotokseen.  
The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland.
- No 449 Kinnunen, Kaarlo & Mäki-Kojola, Sakari: Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Satakunnassa.  
Natural regeneration of Scots pine in western Finland.
- No 450 Isomäki, Antti & Väisänen, Jarmo: Harvennustavan vaikutus kasvatettavaan puustoon ja harvennuskertymään.  
Thinning method and its influence on the remaining growing stock and on the thinning yield.
- No 451 Varmola, Martti: Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. The external quality of pine plantations.
- No 452 Roiko-Jokela, Pentti: Maaston korkeus puuntuotantoon vaikuttavana tekijänä Pohjois-Suomessa.  
The effect of altitude on the forest yield in northern Finland.
- No 453 Pohtila, Eljas & Timonen, Mauri: Suojametsäalueen viljelytaimikot ja niiden varhaiskehitys.  
Scots pine plantations and their early development in the protection forests of Finnish Lapland.
- No 454 Gustavsen, Hans Gustav: Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla.  
Site index curves for conifer stands in Finland.

## 1981

- No 455 Salminen, Marja-Liisa: Kuormatraktorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psykofysiologisilla menetelmillä.  
Evaluation of the strain on the forwarder driver with the help of some psychophysiological methods.
- No 456 Raitio, Hannu: Pääravinlannoituksen vaikutus männyn neulasten rakenteeseen ja ravinnepitoisuuksiin ojitetulla lyhytkorsinevalla.  
Effect of macronutrient fertilization on the structure and nutrient content of pine needles on a drained short sedge bog.
- No 457 Huttunen, Terho: Suomen piensahat 1980.  
Small sawmills in Finland, 1980.
- No 458 Kärkkäinen, Matti & Salmi, Juhani: Länsi-Uudenmaan rannikon mäntytukkien ominaisuudet eräällä sahalaitoksella.  
Properties of pine logs in a coastal sawmill in southern Finland.
- No 459 Kärkkäinen, Matti: Polttopuun rasiinkaadon ja muiden kuivausmenetelmien perusteet.  
Foundations of leaf-seasoning and other drying methods of fuelwood.
- No 460 Metsätalastollinen vuosikirja 1980.  
Yearbook of Forest Statistics, 1980.
- No 461 Raulo, Jyrki & Lähde, Erkki: Rauduskoivun kylvökokeita Lapissa.  
Sowing experiments with *Betula pendula* in Finnish Lapland.
- No 462 Raulo, Jyrki & Rikala, Risto: Istutettujen männyn, kuusen ja rauduskoivun taimien alkukehitys eri tavoin käsitellyllä viljelyalalla.  
Initial development of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings planted on a forestation site prepared in different ways.
- No 463 Hyppönen, Mikko: Eräiden metsikönkasvatusvaihtoehtojen edullisuus metsähallituksen Pohjois-Suomen metsissä.  
Profitability of some stand growing alternatives in the State forests of northern Finland.
- No 464 Harstela, Pertti & Piirainen, Kimmo: Esitutkimus PIKA 75 harvesterin automaatioasteen vaikutuksista tuotokseen, mittaustarkkuuteen ja kuljettajan kuormittumiseen.  
Output, accuracy of measuring and strain of the driver at three automation levels of PIKA 75 harvester. A pilot study.
- No 465 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1978—80.  
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1978—80.
- No 466 Harstela, Pertti & Tervo, Leo: Pitkän puutavaran esijuonto vinttureilla ja hevosella.  
Bunching of timber by winches and horse.

---

Metsätutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Institutii Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat tilaukset osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

*Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.*