

Metsätehon raportti 268
9.2.2024

ERGONOMIA PUUTAVARA- AUTON KUORMAUKSESSA ERILAISILLA KUORMAIMEN OHJAUSLAITTEILLA

Heikki Ovaskainen
Asko Kilpeläinen
Victor Zhidchenko

ISSN 1796-2374 (Verkkajulkaisu)

METSÄTEHO OY
Vernissakatu 1
01300 Vantaa

www.metsateho.fi

ERGONOMIA PUUTAVARA- AUTON KUORMAUKSESSA ERILAISILLA KUORMAIMEN OHJAUSLAITTEILLA

Heikki Ovaskainen
Asko Kilpeläinen
Victor Zhidchenko

Metsätehon raportti 268
9.2.2024

ISSN 1796-2374 (Verkkójulkaisu)

© Metsäteho Oy

SISÄLLYS

1 TUTKIMUKSEN TAUSTAA	3
2 AINEISTO JA MENETELMÄT	5
2.1 Taustateoriaa	5
2.2 Aineisto ja menetelmät.....	6
2.2.1 Koehenkilöt ja ohjaustapamittaukset	6
2.2.2 Aikatutkimus	8
2.2.3 Työkoneen liikkeiden ja kiihtyvyyksien mittaaminen	8
2.2.4 Kuljettajan kokonaiskuormittumisen arviointi sykkeen, sykevälivaihtelun sekä ihon sähkön johtuvuuden muutosten avulla.....	9
2.2.5 Lihasaktiivisuuden (EMG) mittaus	10
2.2.6 Liikeanalyysi	10
3 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	11
3.1 Kuormaus- ja purkamisliikkeiden määrät ja kestot eri ohjaustavoilla	11
3.2 Työkoneen liikkeiden ja kiihtyvyyksien vertailu.....	13
3.3 Kuljettajien kokonaiskuormittumisen arviointi sykkeen, sykevälivaihtelun sekä lihasaktiivisuuden (EMG) muutosten avulla	16
3.3.1 Sykemuuttujat	16
3.3.2 Sykkeestä laskettavat stressimuuttujat.....	18
3.3.3 Lihasaktiivisuuden (EMG) arviointi eri työtehtävien aikana ..	20
3.4 Liikeanalyysi	22
3.4.1 Olkanivel.....	22
3.4.2 Kyynärnivel	22
3.4.3 Rannenivel.....	23
3.4.4 Nilkanivel.....	23
4 JOHTOPÄÄTÖKSET	25
KIRJALLISUUS.....	26

1 TUTKIMUKSEN TAUSTAA

Puutavara-auton kuljettajan työpäivästä kuluu puutavaran kuormaukseen vaihtelevasti aikaa riippuen siitä, millaista työtä auto suorittaa ja millaisissa olosuhteissa se toimii. Esimerkiksi junan kuormaamisessa korostuu nosturin käyttö, erityisesti tilanteissa, joissa asemalla ei ole erillistä nosturia kuormaamiseen. Sen sijaan pitkillä toimitusmatkoilla, joissa puutavaran purkamisen tapahtuu nostotrukin avulla, auton nosturin käyttö voi jäädä alle kahteen tuntiin työvuoron aikana.

Puutavara-auton käyttöaika voidaan jakaa työvaiheisiin, kuten tyhjänä ajoon, kuormaukseen, siirtymisiin metsävarastojen välillä, kuormattuna ajamiseen, purkamiseen, muuhun ajoon, pieniin huoltotöihin ja taukoihin. Kuormaamiseen käytetään keskimäärin yli 20 % työajasta, kun taas tyhjänä ajoon kulutetaan noin 15 %. Metsävarastojen välillä siirtymiseen käytetään noin 10 % työajasta ja kuormatun puutavara-auton ajamiseen 25 % työpäivästä. Kuorman purkamiseen tehtaalla kuluu 15 % työajasta, ja loput vajaa 15 % työajasta jakautuu muihin työvaiheisiin (Nurminen & Heinonen 2007).

Perinteisesti puutavarakuormaimia on ohjattu mekaanisilla vivuilla, joita on ollut yksi jokaista hydraulisyylinteriä kohden. Perinteisessä nosturissa on yhteensä kuusi sylinteriä, joista neljä on ohjattu käsivivulla ja kahta jalkapolkimilla. Vivuilta kuljettajan ohjausliike välittyy hydraulilohkolle, jossa kara liikkuu haluttuun suuntaan sallien öljyn virtaamisen sylintereihin. Tämä liike on kaksisuuntainen, jolloin myös lohkolta tuleva energia välittyy ohjaimen ja päinvas-toin (Hietaoja 2014).

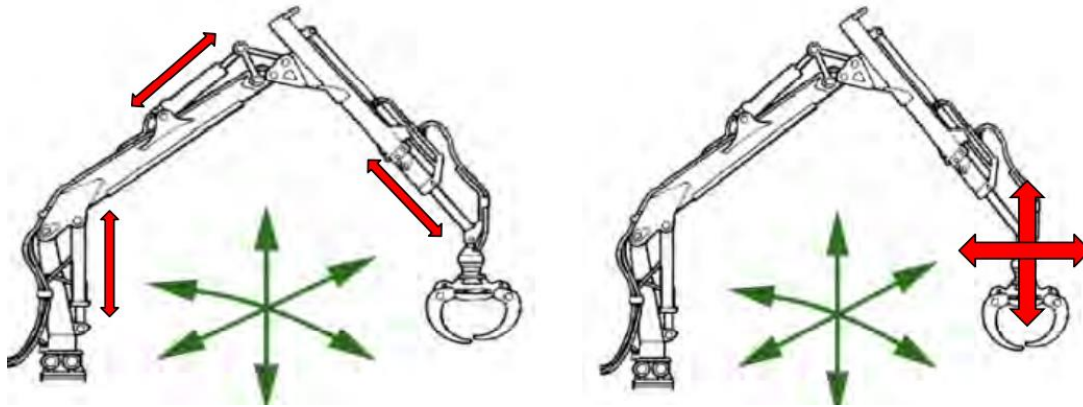
Puutavarakuormaimissa on erilaisia mekaanisia vivustoja. Joissakin malleissa vivut liikkuvat neljään suuntaan, mikä mahdollistaa neljän eri liikkeen suorittamisen yhdellä vivulla ja siten kahden eri sylinterin ohjauksen. Tämä helpottaa samanaikaisten liikkeiden suorittamista ja tehostaa työskentelyä. Usein jalkapolkimilla ohjataan edelleen kahta eri sylinteriryhmää, kuten puomin jatketta ja kouran avausta. Mekaanisen liikkeen välittämisen periaate lohkolle säilyy kuitenkin edelleen samanlaisena. Yleisin puutavara-autojen kuormaintyyppi on kaksi poljinta ja neljä käsivipua tai kaksi poljinta ja kaksi mekaanista käsiohjainta.

Mekaanisella ohjauksella on useita etuja, kuten edullinen toteutus ja luotettavuus. Erityisesti Suomen haastavissa olosuhteissa, joissa talvella esiintyy jäätä ja kosteutta, mekaaniset ohjausjärjestelmät ovat osoittautuneet luotettaviksi. Lisäksi mahdolliset ongelmat on helppo korjata, koska ohjausvoima välitetään lohkolle metallitankojen avulla (Hietaoja, 2014). Mekaanisen ohjauksen puolesta puhuu myös iäkkäämpi käyttäjäkunta, joka on hyvin omaksunut mekaaniset ohjausmenetelmät. Mekaaninen ohjaus eroaa huomattavasti esiohjatuista järjestelmistä.

Esiohjatussa kuormaimessa lihaksen voima välitetään hydraulilohkolle joko hydraulisesti tai sähköisesti. Yleisesti käytössä ovat sauvaohjaimet (joystick), joilla ohjataan kahta sylinteriä. Lisäksi polkimia, nappeja ja keinuviipuja voidaan käyttää osassa liikkeistä, mikä helpottaa samanaikaisten liikkeiden suorittamista. Hydraulisessa esiohjauksessa sauvaohjaimilla ohjataan esiohjausöljyä, joka mahdollistaa tarkan säädön ja vähentää käden rasitusta. Esiohjausöljy kulkee pieniläpimittaisia hydrauliletkuja pitkin päälohkolle, jossa ohjataan kuormaimen karaa. Täysin sähköisessä esiohjauksessa ohjaimissa käytetään sähköä ja magneettiventtiilejä lohkolle liikkeen ohjaamiseen. Sähköinen esiohjaus tarjoaa joustavuutta ohjauslaitteiden sijoittelussa ja mahdollistaa mukautuvuuden säätämällä virtausnopeuksia. Kuitenkin sähköisen esiohjauksen korkeampi hinta, osien vikaherkkyys ja korjausten haastavuus asettavat haasteita.

Kärkiohjaus on sähköisen esiohjauksen alalaji, jossa puutavarakouraa ohjataan horisontaalisesti ja vertikaalisesti tietokoneen avulla (Kuva 1). Tämä tapahtuu sylinterikohtaisten liikkeiden

sijaan, ja kuljettajan tarvitsee ohjata enää vain kouraa ja sen rotaattoria. Ohjausmenetelmän vaihtaminen sähköisen esiohjauksen ja kärkiohjauksen välillä on helppoa. Kärkiohjaus hyödyntää kuormaimen tietokonetta ja antureita, jotka lähettävät tietoa puomin kulmista, sylinterien asennoista ja venttiilipöydästä. Tietokoneen automaatiojärjestelmä laskee ja optimoi sylinterikohtaiset säädöt kuljettajan haluamaan suuntaan, jolloin kuljettajan ei tarvitse huolehtia yksittäisistä liikkeistä. Edellä kuvatun perusteella voidaan näin ollen olettaa, että kärkiohjattu kuormain nopeuttaisi kuormaimen käytön oppimista ja alentaisi kuormaimen käyttäjään kohdistuvaa fyysistä ja psyykkistä kuormittumista.



Kuva 1. Kärkiohjatun ja perinteisen ohjaimen ero. Vasemmalla perinteinen ohjausmenetelmä ja oikealla kärkiohjattu. (Kuva: Paakkunainen 2015)

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, alentaako kärkiohjattu kuormain kuljettajaan kohdistuvaa fyysistä ja psyykkistä kuormitusta verrattuna mekaaniseen nelivipuhjaukseen ja sähköiseen kaksivipuhjaukseen. Koska tutkimuksen aikana mitattavat ohjaustavat sekä kuormattavan puutavaran määrä vaihtelivat jonkin verran koehenkilöiden välillä, tulokset esitetään sekä yksilö- että ryhmätasolla. Aiemmin on tutkittu kärkiohjauksen vaikutusta kuormaimen ohjaustapojen oppimiseen simulaattoritutkimuksena (Ikäheimo 2022). Tämä tutkimus on osa samaa tutkimuskokonaisuutta.

2 AINEISTO JA MENETELMÄT

2.1 Taustateoriaa

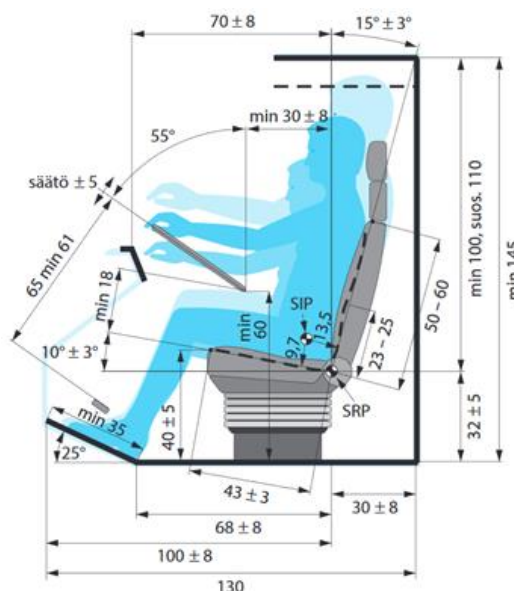
Fyysiseen työergonomiaan vaikuttavat mm. ohjaamon ja istuimen rakenne sekä ohjauslaitteiden sijoittelu ja rakenne, työntekijän tapa toimia ja liikuttaa kehoaan työskennellessään sekä työhön sisältyvät muut mahdolliset tehtävät. Lisäksi ergonomiaan vaikuttavat myös työasennon oikea säätö, työpisteen korkeus ja syvyys sekä näyttöjen ja näppäimistöjen ergonominen sijoittelu.

Ohjaamon ja istuimen rakenne on tärkeä tekijä fyysisessä työergonomiassa. Hyvin suunnitellun ohjaamon tulee tarjota riittävä tila työntekijän liikkumiselle ja mukavalle työskentelyasennolle. Istuimen tulee olla säädettävissä erilaisille käyttäjille ja tarjota riittävä tuki selälle ja lantialle. Lisäksi istuimen pehmusteiden ja verhoilun tulee olla laadukkaita ja tarjota mukavuutta pitkäkestoiseen työskentelyyn.

Ohjauslaitteiden sijoittelulla ja rakenteella on suuri merkitys työergonomian kannalta. Tärkeimpien ohjauslaitteiden tulisi olla helposti käytettävissä ja sijoitettu ergonomisesti oikeille paikoille. Ohjauslaitteiden käyttöliittymän tulee olla selkeä ja intuitiivinen, jotta työntekijä voi suorittaa tarvittavat toiminnot vaivattomasti ja nopeasti.

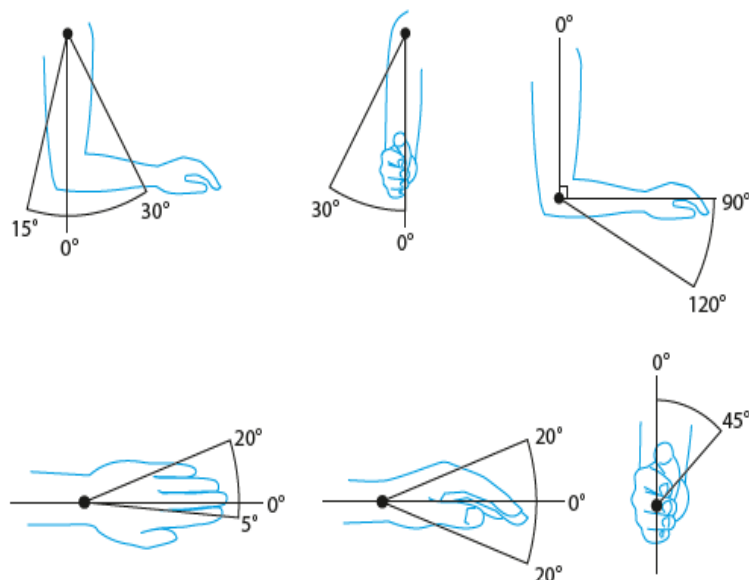
Työntekijän tapa toimia ja liikuttaa kehoaan työskennellessään vaikuttaa myös merkittävästi fyysiseen työergonomiaan. Oikeaoppinen työasento ja ergonominen työskentelytapa vähentävät rasitusta keholle ja estävät työperäisten vammojen syntymistä. Työntekijän tulisi kiinnittää huomiota oikeanlaiseen kehon asentoon, taukojen pitämiseen ja ergonomisiin työvälineisiin.

Kuvassa 2 on esitetty ohjaamon mitoituussuosituksia pitkään kestävään ohjaustyöhön (Launis & Lehtelä 2011). Puutavarakuormaimella työskentely ei ole pääsääntöisesti pitkäaikaista, vaan lyhyitä suorituksia työpäivän sisällä, joten tämä ohjeistus on suuntaa antava.



Kuva 2. Ohjaamon mittasuosituksia pitkään kestävään ohjaustyöhön.

Suosittelaville yläraajojen työliikkeiden liikeradoille työvaiheen aikana on olemassa raja-arvot, jotka on esitetty kuvassa 3 (Launis & Lehtelä 2011). Näitä arvoja suositellaan pitkään kestävässä ohjaustöissä, jollaiseksi puutavara-auton kuormaimen käyttöä ei voida luokitella. Niitä on käytetty tässä tutkimuksessa kuitenkin tavoitteellisina viitearvoina. Ääriasentoja voi olla, mutta toistuvuuden ja voimankäytön lisääntyessä niitä olisi vältettävä.



Kuva 3. Yläraajan suositeltavia asentoja, jotka ovat yleensä liikkeen suunnittelun lähtökohtia.

2.2 Aineisto ja menetelmät

2.2.1 Koehenkilöt ja ohjaustapamittaukset

Tutkimukseen osallistui kuusi koehenkilöä, joista kolme oli opiskelijaa, kaksi opettajaa ja yksi ammattikuljettaja. Koehenkilöiden taustatiedot on kuvattu taulukossa 1. Mittaukset toteutettiin kahdessa jaksossa: 15.-17.2.2022 (jakso 1) ja 6.-7.4.2022 (jakso 2) Savon ammattiopiston harjoituskentällä Kuopiossa.

Taulukko 1. Koehenkilöiden taustatietoja.

Muuttuja	Kaikki					Opiskelijat					Opettajat / ammattilaiset				
	N	Ka	SD	Min	Max	N	Ka	SD	Min	Max	N	Ka	SD	Min	Max
Ikä (v.)	6	27,1	6,6	18	35	3	24,0	7,9	18	33	3	30,3	4,0	28	35
Pituus (cm)	6	177,6	7,3	167	185	3	182,0	5,2	176	185	3	173,3	7,1	167	181
Paino (kg)	6	82,3	16,3	67	110	3	89,3	21,0	68	110	3	75,3	9,1	67	85
Työkokemus (v.)	6	3,8	5,4	0	14	3	0	0	0	0	3	7,7	5,5	4	14
Opetuskokemus (v.)	6	1,5	3,2	0	8	3	0	0	0	0	3	3,2	4,3	0	8
Opiskeluvuodet (v.)	6	0,4	0,5	0	1,5	3	0,8	0,6	0,5	1,5	3	0	0	0	0

Tutkimuksessa käytettiin koulun puutavara-autoa, joka oli varustettu Keslan 2112T -kuormaimella (Kuva 4). Kuormaimen ohjaustapaa pystyi muuttamaan helposti, sillä kuormain oli varustettu Kesla Quick -järjestelmällä, joka mahdollistaa neljän eri ohjaustavan käytön samassa kuormaimessa. Ohjaustavan vaihto kestää muutaman minuutin. Työtehtävänä koehenkilöillä

oli täyden nipun kuormaaminen ja purkaminen tukkeja ja kuitupuuta eri ohjaustavoilla puutavara-auton veturin kuormatilaan koehenkilölle tyypillisellä työskentelyrytmillä.



Kuva 4. Tukkien kuormaussuoritus käynnissä tutkimuksen puutavara-autolla.

Kuormaimen ohjaustapoina tutkimuksessa käytettiin seuraavia:

- mekaaninen nelivipuhjaus polkimilla (Kuljettaja 1, ammattilainen)
- mekaaninen kaksivipuhjaus polkimilla (Kuljettajat 2 ja 3)
- sähköinen kaksivipuhjaus polkimilla (Kuljettajat 4, 5 ja 6)
- sähköinen kaksivipuhjaus ilman polkimia (Kaikki kuljettajat)
- kärkeohjaus (Kaikki kuljettajat)

Mitattujen ohjaustapojen jakaantuminen tutkimuskuljettajille on kuvattu taulukossa 2. Mekaanisesta ohjaustavasta jouduttiin siirtymään sähköiseen kaksivipuhjaukseen polkimilla välienerikon takia jakson 2 mittauspäivissä. Lisäksi jakson 2 mittauksissa kuitupuun määrä oli myös pienempi kuin helmikuussa, joten mittaukset eivät ole työn kokonaisajamenekin ja -suoritteiden osalta kuitupuun kohdalla täysin vertailukelpoisia. Yksittäisenä mittauksena mitattiin myös jakson 2 aikana sähköinen nelivipuhjaus opiskelijan tekemänä. Sitä ei kuitenkaan analysoitu muun datan kanssa.

Taulukko 2. Tutkimuskuljettajilla käytetyt ja mitatut kuormaimen ohjaustavat.

Ohjauslaite	Polkimet	Esiohjaustapa	Auton tyyppi	15/02/2022	16/02/2022	17/02/2022	06/04/2022	06/04/2022	07/04/2022
				Kuljettaja 1 Ammattilainen	Kuljettaja 2 Opiskelija	Kuljettaja 3 Opiskelija	Kuljettaja 4 Opettaja	Kuljettaja 5 Opettaja	Kuljettaja 6 Opiskelija
4-vipuhjaus	Kyllä	Mekaaninen	Oma	x					
4-vipuhjaus	Kyllä	Sähköinen	Koulun uusi auto						x
2-vipuhjaus	Kyllä	Mekaaninen	Koulun vanha auto		x	x			
2-vipuhjaus	Kyllä	Sähköinen	Koulun uusi auto				x	x	x
2-vipuhjaus, sähkö.	Ei	Sähköinen	Koulun uusi auto	x	x	x	x	x	x
Kärkeohjaus	Ei	Sähköinen	Koulun uusi auto	x	x	x	x	x	x

2.2.2 Aikatutkimus

Kuorman purkamista tarkasteltiin aikatutkimuksen avulla. Purkaminen jaettiin neljään työvaiheeseen: taakan tekeminen kuormatilassa, taakan siirto kasaan, taakan irrottaminen ja kouran siirtäminen takaisin kuormatilaan ottamaan seuraavaa taakkaa tukkeja. Kuva 5 esittää kuorman purkamisen työvaiheet. Työskentely kuvattiin kahdella GoPro-kameralla, joista toinen kuvasi kopin sisältä kuljettajan näkömää ja toinen ulkopuolelta kokonaissuoritusta.



Kuva 5. Puutavarakuorman purkamisen työvaiheet tutkimuksessa.

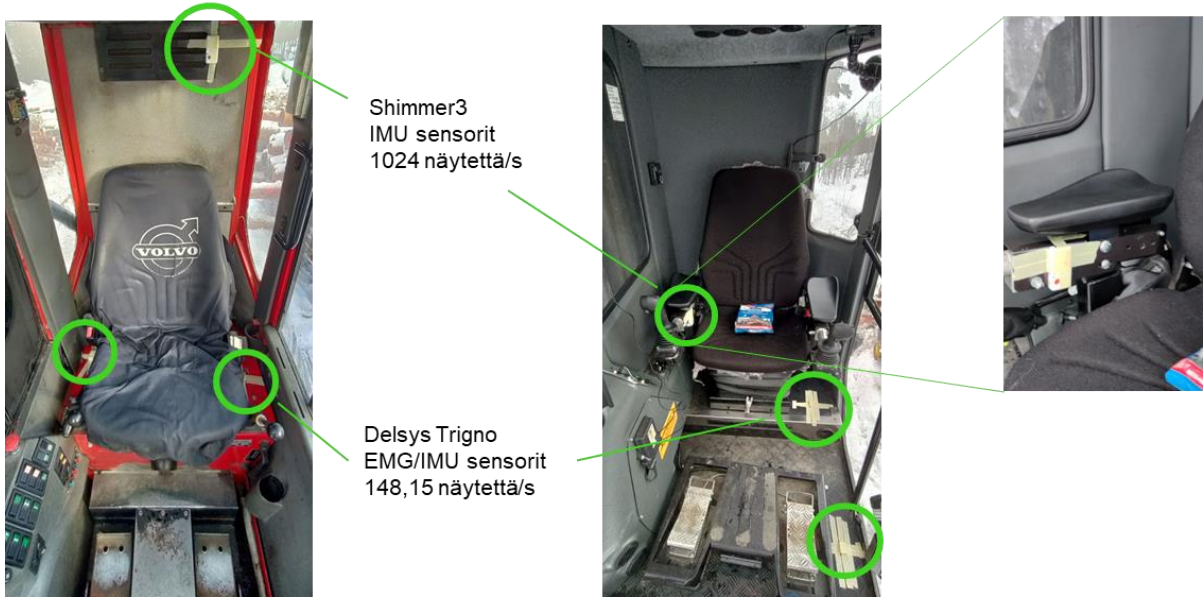
Kuljettajan kuormittumisen mittaamisessa käytettiin seuraavassa kuvattuja menetelmiä ja mittalaitteita. Kyseisillä mittalaitteilla selvittävät muuttujat on kuvattu mittalaitteen yhteydessä.

2.2.3 Työkoneen liikkeiden ja kiihtyvyyksien mittaaminen

Isku- ja värinätasot mitattiin nosturin ohjaamoon asennetuilla inertiamittayksiköillä (IMU). Jokainen anturi sisälsi 3D-kiihtyvyyssanturin ja 3D-gyroskoopin. Anturien asennuspaikat on esitetty kuvassa 6.

Jonsered 1080

Kesla 2112T



Kuva 6. IMU:en kiinnityspaikat kuormaimen hytissä.

Kahdet langattomat Delsys Trigno EMG/IMU -anturit kiinnitettiin ohjaamon lattialle samansuuntaisesti. Käyttämällä kahta anturia varmistettiin mittausten luotettavuus. Yksi Shimmer 3 IMU -anturi kiinnitettiin istuimeen. Kaikki anturit kiinnitettiin pinnoille kaksipuolisella teipillä. Teipin tehtävänä oli suojata antureita pölyltä ja vahingossa tapahtuvalta vaurioitumiselta. Shimmer 3 IMU -anturin näytteenottotaajuus oli 1024 näytettä sekunnissa. Delsys Trigno EMG/IMU-antureiden enimmäissallittu näytteenottotaajuus oli 148,15 näytettä sekunnissa. Koska istuimen värinä on oleellisempaa kuljettajan terveyden kannalta, Shimmer-antureiden dataa käytettiin laskentoihin.

Tärinä ja iskut analysoitiin menetelmällä, joka on kuvattu ISO 2631-5 standardin kohdassa *Mekaaninen värinä ja värähdys — Ihmisen altistumisen arviointi koko vartalon värinälle — Osa 5: Menetelmä, joka sisältää useita värähdysä.* Tämä standardi on suunniteltu arvioimaan värähtelyn vaikutusta ihmisen terveyteen, erityisesti selkärangan terveyteen. Standardin mukaan, kun riskitekijä (R-arvo) on alle 0,8, se osoittaa "pienen mahdollisuuden ei-toivottuihin terveysvaikutuksiin" lannerangan nikamalevyjen alueella. Kun R-arvo ylittää 1,2, se yleensä osoittaa "suuremman mahdollisuuden ei-toivottuihin terveysvaikutuksiin".

Poikkeama edellä kuvatun standardin soveltamisesta oli, että kiihtyvyyssmittari kiinnitettiin istuimen käsinojaan istuinalustan sijaan. Tämä johtui siitä, että mittauksia tehdessä istuinalustan kiihtyvyyssmittarin levyä ei ollut saatavilla. Käsinoja oli jäykästi yhdistetty istuinalustaan, joten se oli lähin vastaava kiinnityspiste istuimen värinän mittaamiseen.

2.2.4 Kuljettajan kokonaiskuormittumisen arviointi sykkeen, sykevälivaihtelun sekä ihon sähkön johtuvuuden muutosten avulla

Kokonaiskuormittumisen arvioinnissa käytettiin seuraavia mittalaitteita:

1. Sykkeen ja sykevälivaihtelun mittaus tehtiin Polar H10 -sykemittarilla, jonka mittausten analysointi suoritettiin Kubios HRV Premium -ohjelmistolla.
2. Ihon sähkön johtuvuuden mittaus tehtiin Shimmer 3 GSR+ -laitteella, jonka mittausten analysointi suoritettiin iMotions-ohjelmistolla.

Mittausten tarkoituksena oli selvittää hengitys- ja verenkiertoelimistön kokonaiskuormitus sekä hetkellisten kuormituspiikkien esiintyminen eri työtehtävien ja koehenkilöiden välillä.

2.2.5 Lihasaktiivisuuden (EMG) mittaus

Lihasaktiivisuuden mittaus tehtiin Delsys PM W05 Trigno -laitteen avulla. Mitattavat lihakset ja lihasryhmät olivat seuraavat:

1. Kyynärvarren koukistajat (oikea, vasen)
2. Kyynärvarren ojentajat (oikea, vasen)
3. Epäkäslihas, hartioiden kuormittuminen (oikea, vasen)
4. Kaksoiskantalihas, nilkan ojentaja (oikea, vasen)
5. Etumainen sääri-lihas, nilkan koukistaja (oikea, vasen)

Mittauksen tarkoituksena oli selvittää näiden lihasryhmien kuormittumista kuormaussuoritusten aikana sekä lihasryhmien väsymistä suoritusten aikana.

2.2.6 Liikeanalyysi

Liikeanalyysin tavoitteena oli tehdä 3D-liikeanalyysi puutavarakuormaimen käyttäjän toimista: kuormaimen nouseminen, käyttö (kuormaus ja purkaminen) ja poistuminen kuormaimelta. Tutkimuksen osatavoitteina olivat:

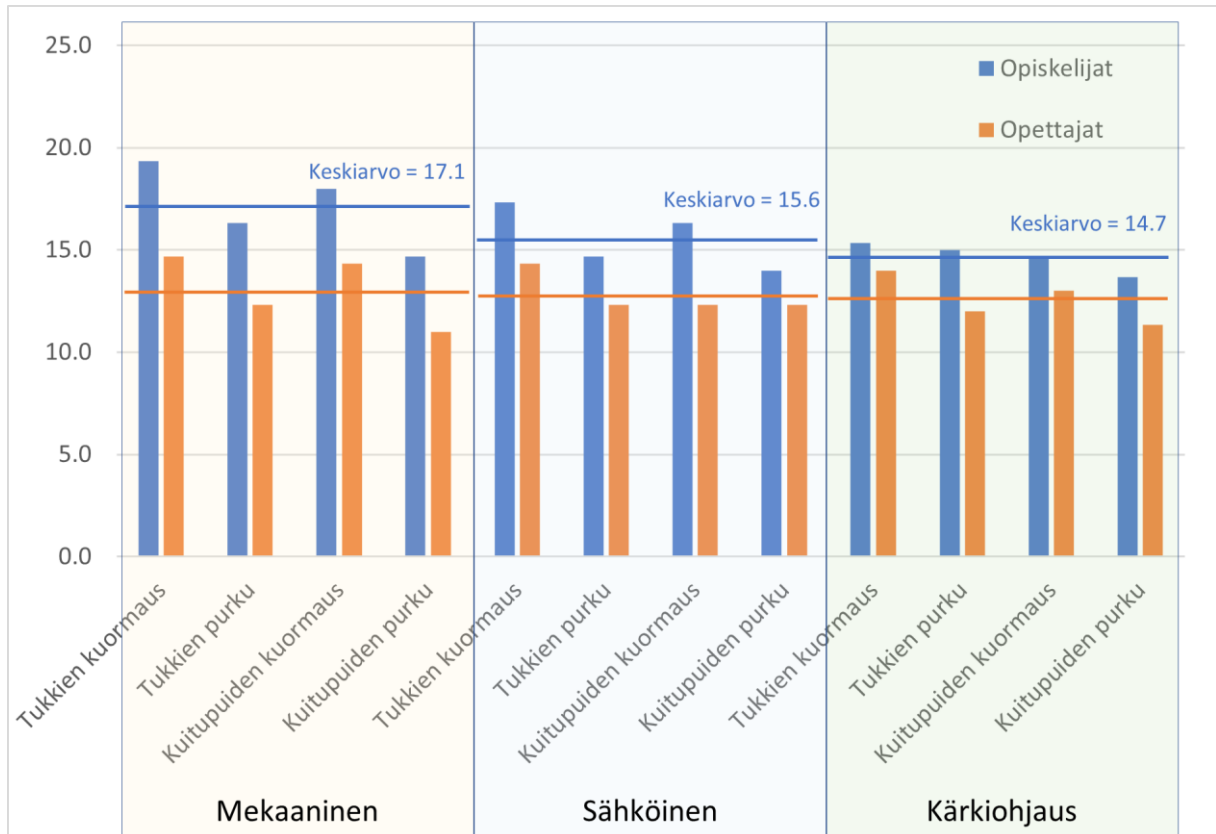
- Vertailla kolmea eri kuormaamistapaa kuuden eri koehenkilön kesken.
- Kuvata suoritusten aikana käytetyt nivelkulmat (nilkka, olkapää, kyynärpää, ranne) sekä mahdolliset ongelmakohdat ja kuormitushuiput eri nivelissä.
- Kuvata kehon eri osien (alaraajat, alaselkä, yläselkä, yläraajat, pää) altistumista tärinälle ja kiihtyvyyksille liikesuoritusten aikana.
- Vertailla tuloksia eri ajokokemuksen omaavilla kuljettajilla.

Vertailua varten jokaiselta koehenkilöltä valittiin tukkipuiden kuormaamisvaihe, jota analysoidiin ja vertailtiin eri ohjaustapojen välillä. Analyysi keskittyi työskentelyn aikana aktiivisiin niveliin, jolloin polvi ja lonkkanivel jätettiin analyysin ulkopuolelle.

3 TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

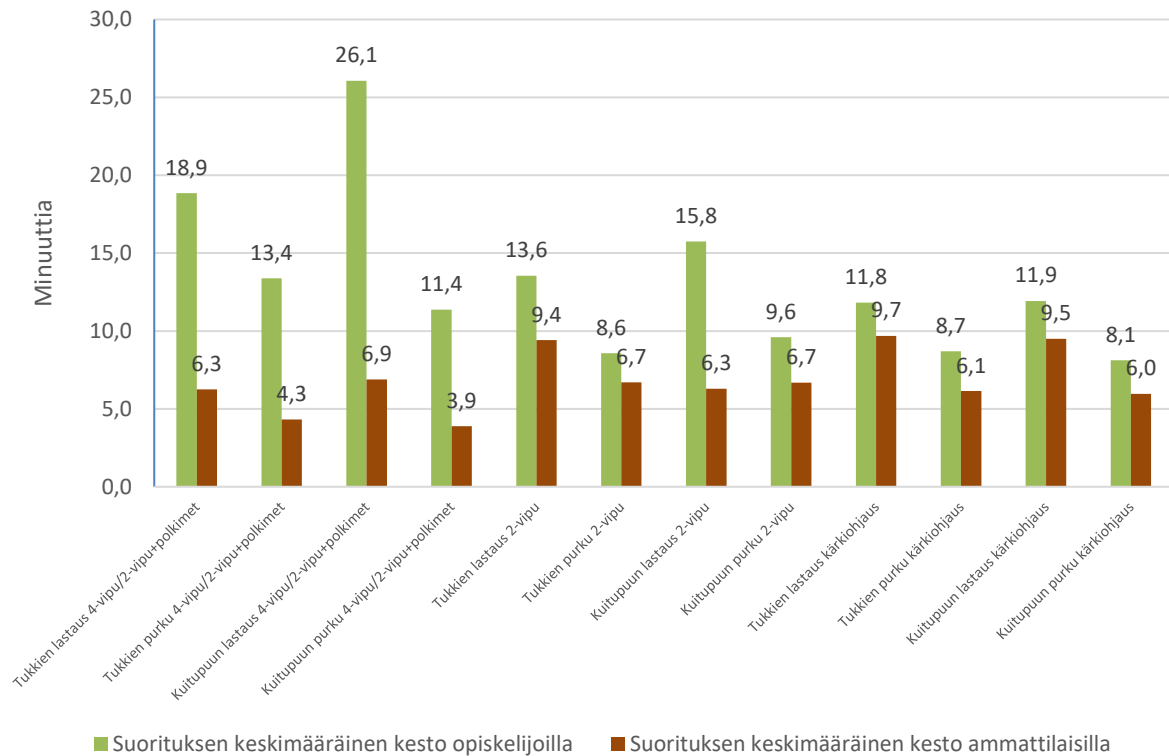
3.1 Kuormaus- ja purkamisliikkeiden määrät ja kestot eri ohjaustavoilla

Kuva 7 esittää työsykliä lukumäärän kuormattaessa ja purettaessa tukki- ja kuitupuukuorma puutavarayhdistelmän vetoautosta. Kuormauksessa tai purkamisessa yksi työsykli sisältää kaikki neljä työvaihetta kullakin puutavaralajilla. Keskimääräinen työsykliä lukumäärä väheni opiskelijoilla siirryttäessä mekaanisesta ohjauksesta sähköiseen ja kärkehjoukseen. Opettajilla ja ammattikoulujettajilla työsykliä lukumäärä ei juurikaan muuttunut.



Kuva 7. Kuormaus- tai purkusuiklien keskimääräinen lukumäärä ohjaustavoittain ja puutavaralajeittain opettajilla ja oppilailla.

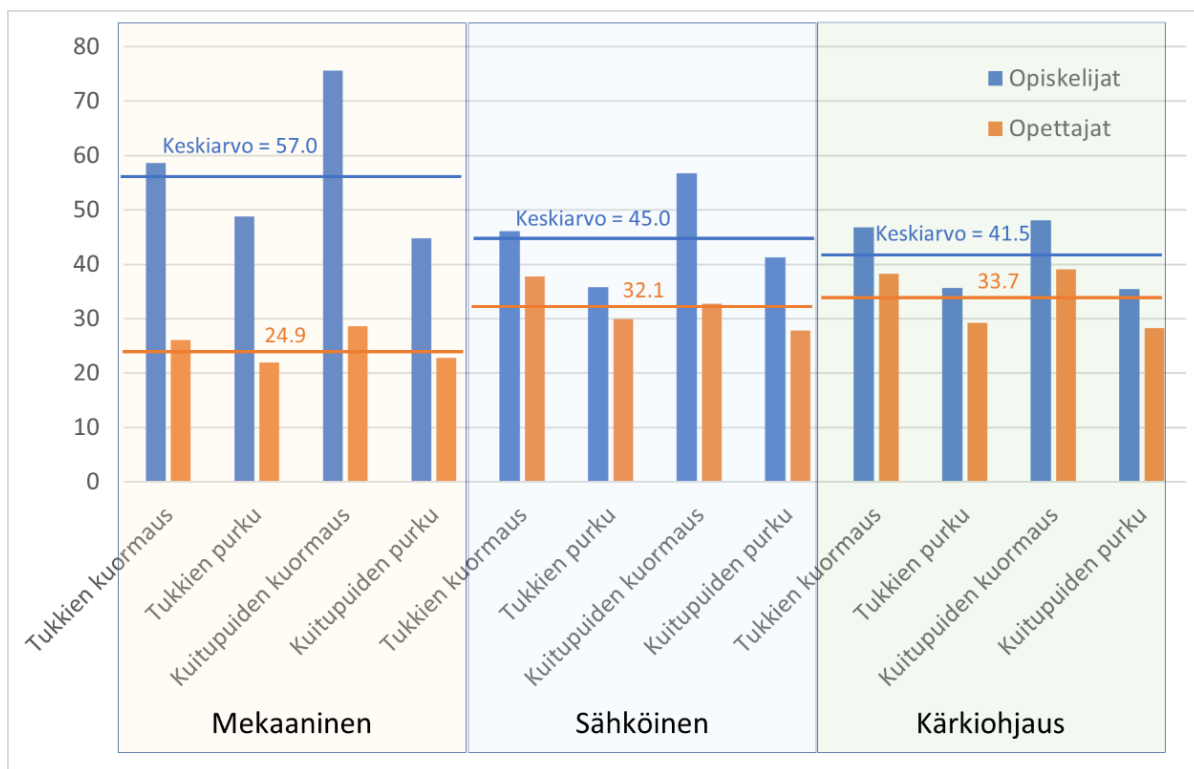
Työsuorituksen kesto vaikuttaa oleellisesti työssä kuormittumiseen. Kuvassa 8 on esitetty eri ohjaustyyppien vaikutus kuormaamiseen ja purkamiseen käytettävään aikaan opiskelijoilla ja ammattilaisilla puutavaralajeittain. Opiskelijoiden käyttämä aika oli keskimäärin kaksi kertaa (106 %) enemmän kuin ammattilaisilla, kun kaikki eri suoritukset huomioidaan. Ero korostui erityisesti ohjaustavoilla, joissa polkimet olivat käytössä. Niissä aikaa kului keskimäärin kolme kertaa (220 %) enemmän kuin ammattilaisilla. Sähköisellä kaksivipuohjauksella ero oli 67 % ja kärkehjouksella 31 %. Erot kuormausnopeudessa korostuvat 4- ja 2-vipuohjauksella polkimien kanssa, mutta erot kaventuvat selvästi kärkehjousta käytettäessä.



Kuva 8. Suoritusten kestot opiskelijoiden ($n = 3$) ja ammattilaisten ($n = 3$) välillä. Ohjaustyyppien vaikutus kuormaamiseen ja purkamiseen käytettävään aikaan opiskelijoilla ja ammattilaisilla puutavaralajeittain.

Opiskelijoilla sähköinen kärkiohjaus vähensi kuormaamiseen käytettävää aikaa keskimäärin 15 % (1,8 min), mikä oli yhdenmukaista muiden työvaiheiden kanssa paitsi tukkikuormaa purettaessa. Ammattilaisilla kärkiohjaus hidasti kuormaamisnopeutta keskimäärin 8 % (0,5 min), kun kaikki työvaiheet huomioitiin. Tarkasteltaessa työvaiheita erikseen, työ hidastui vain kuormausvaiheissa, kun taas kuormaa purettaessa kärkiohjaus oli hieman nopeampi työskentelytapa.

Kuvassa 9 on esitetty keskimääräinen kesto kullekin työsyklille. Opiskelijoilla työsyklin keskimääräinen kesto lyheni siirryttäessä mekaanisesta sähköiseen ja kärkiohjaukseen, kun taas opettajilla ja ammattikuljettajilla keskimääräinen työsyklin kesto muuttui päinvastaiseen suuntaan.



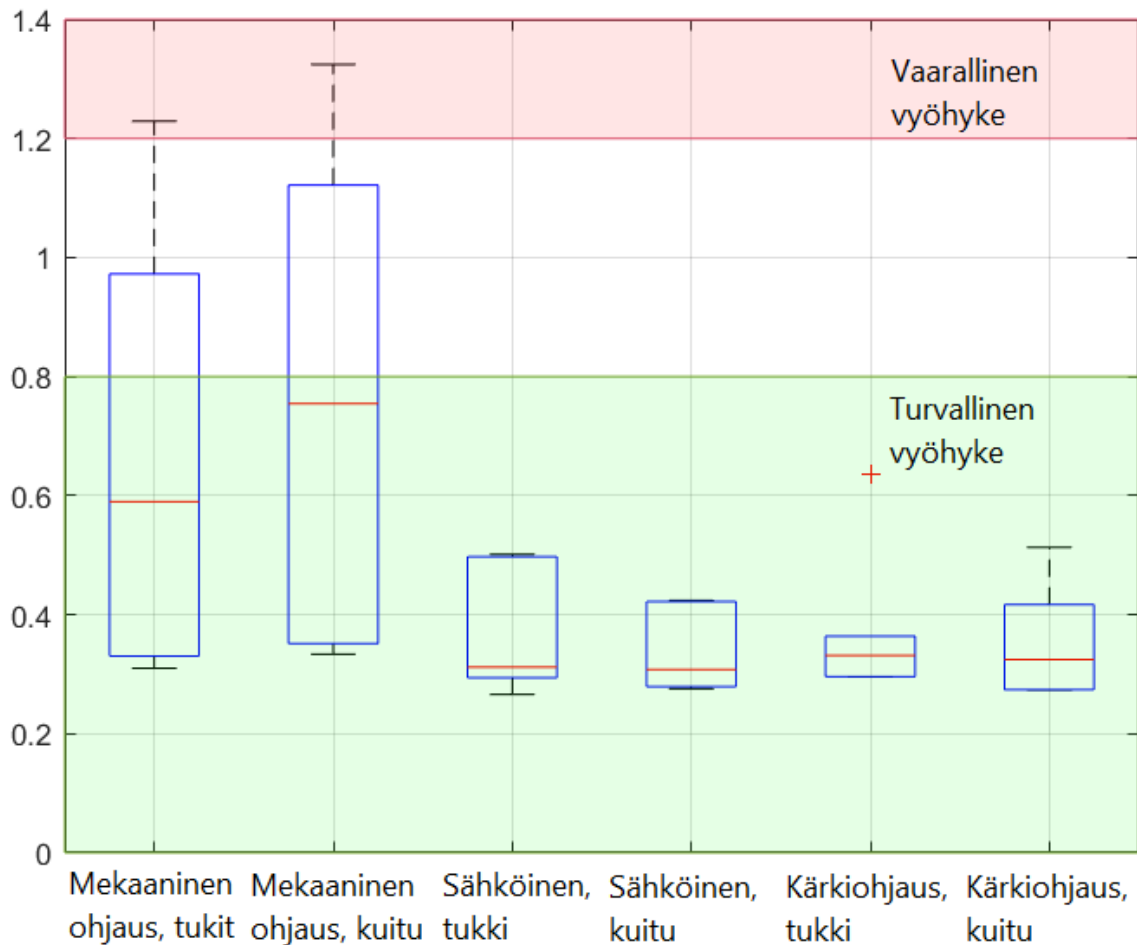
Kuva 9. Kuormaus- tai purkusyklien keskimääräinen kesto sekunteina ohjaustavoittain ja puutavaralajeittain opettajilla ja opiskelijoilla.

Tulokset viittaavat siihen, että kärkiohjaus on aloitteleville kuljettajille helpompi ohjaustapa oppia. Sen avulla opiskelijat pystyivät suorittamaan tehtävät nopeammin ja vähemmällä liikkeellä verrattuna mekaaniseen ohjaustapaan. Opettajille ja ammattikuljettajille perinteinen mekaaninen ohjaustapa oli sen sijaan tuttu ja näin ollen opettajat ja ammattikuljettajat käyttivät sitä tehokkaammin kuin kärkiohjausta.

Edellä kuvattuihin tuloksiin vaikuttivat myös jaksossa yksi käytetyt erilaiset ohjaustyytit 2-viuhjauksessa pedaalien kanssa sekä käsiteltävän kuitupuun pienempi määrä jaksolla 2. Näin ollen kuormauksen kokonaisaikojen vertaamiseen tulee suhtautua varauksella kuitupuun osalta. Keskimääräinen sykli aika on näin ollen vertailukelpoisempi. Osa kuljettajista teki myös enemmän puiden tasaamista kuormaamisen aikana, ja tämän tekniikan runsas käyttö luonnollisesti pidensi kuormaamiseen käytettyä aikaa.

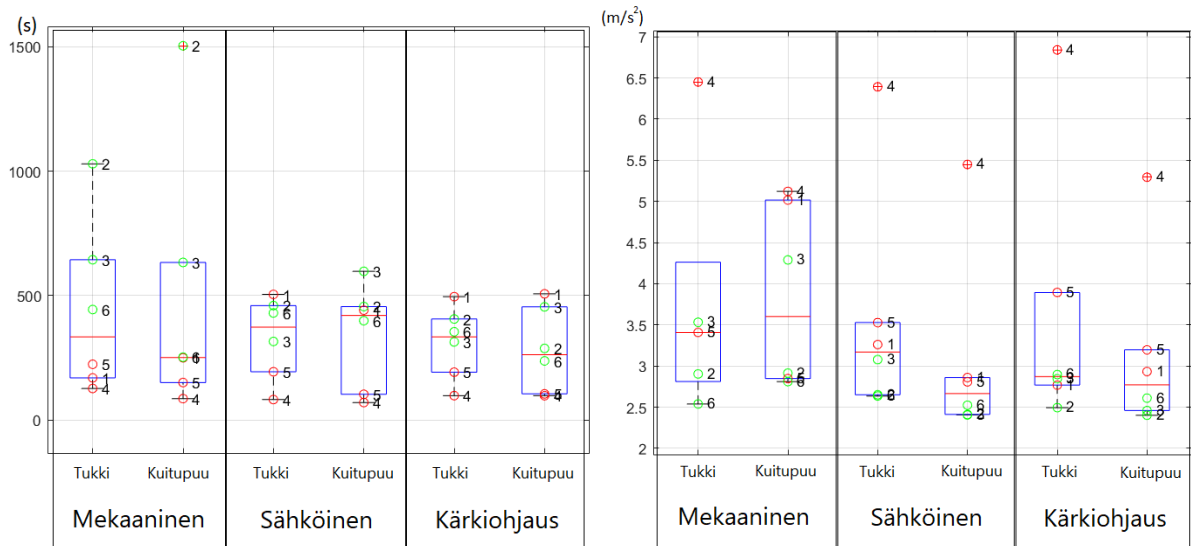
3.2 Työkoneen liikkeiden ja kiihtyvyyksien vertailu

Kuva 10 esittää yhteenvedon kuljettajan terveyden kohdistuvasta haitallisesta vaikutuksesta tärinän perusteella laskettuna kuljettajan uran alkaessa 21-vuotiaana ja kestäessä 35 vuotta kullekin ohjaustyytelle. Kokeet, joissa käytettiin sähköistä ja kärkiohjausta, osoittivat turvallisia tärinätasoja. Kokeet, joissa käytettiin mekaanista ohjausta, osoittivat mahdollisuuden kuljettajan joutumiseen vaaralliselle vyöhykkeelle. Tämä tarkoittaa, että on suuri todennäköisyys haitallisille terveysvaikutuksille lannerangan nikamalevyjen osalta, jos kuljettajat altistuvat tärinälle ja tärähdyksille tällaisissa määrin koko uransa ajan.



Kuva 10. Tärinän vaikutus kuljettajan terveyteen ohjaustavoittain ja kuormattavine puutavara-lajein vertailtuna, kun tarkastellaan kuljettajan uraa sen alkaessa 21-vuotiaana ja kestäen 35 vuotta, 215 työpäivää vuodessa ja 6 kuormaus- ja purkusuuritusta päivässä. Kuvaajan pysty-akselilla on ISO 2631-5 standardin mukaan laskettu riskitekijä (R-arvo).

Absoluuttiset maksimiarvot kiihtyvyydelle pystysuunnassa ovat tärkein yksittäinen muuttuja haittavaikutusten arvioinnissa. Kyseisiä maksimiarvoja esiintyi tukkien tarttumisvaiheessa, jolloin nosturi alkoi liikkua tukkien tarttumisen jälkeen. Tulosten vaihtelun syiden selvittämiseksi kiihtyvyydestietoja verrattiin keston mittauksiin. Havaittiin, että suurin tärinä esiintyi nopeimmissa työjaksoissa. Useimmissa kokeissa ammattikuljettajat ja opettajat, jotka olivat nopeampia kuin opiskelijat, altistuivat korkeammille tärinätasojille. Kuva 11 esittää yhteyden kuormausvaiheen kokonaiskeston ja kuljettajan istuimen kiihtyvyyden keskiarvon neliöjuuren kokonaismäärän välillä kaikissa työvaiheissa ja kussakin ohjaustyyppissä. Kokonaiskiihtyvyys huomioi tärinän kaikissa kolmessa suunnassa.



Kuva 11. Boxplot-kuviot tukkeihin tarttumisen kokonaiskeston osalta kullekin ohjaustypille puutavaralajeittain (vasemmanpuoleinen kuva) ja kuljettajan istuimen kiihtyvyyden (m/s^2) RMS-arvo kaikista keskiarvoista tarttumisvaiheesta (oikeanpuoleinen kuva). Vihreät ympyrät kuvaavat opiskelijoiden tarttumisvaiheen tietoja ja punaiset ympyrät vastaavat opettajien ja ammattikuljettajien tietoja.

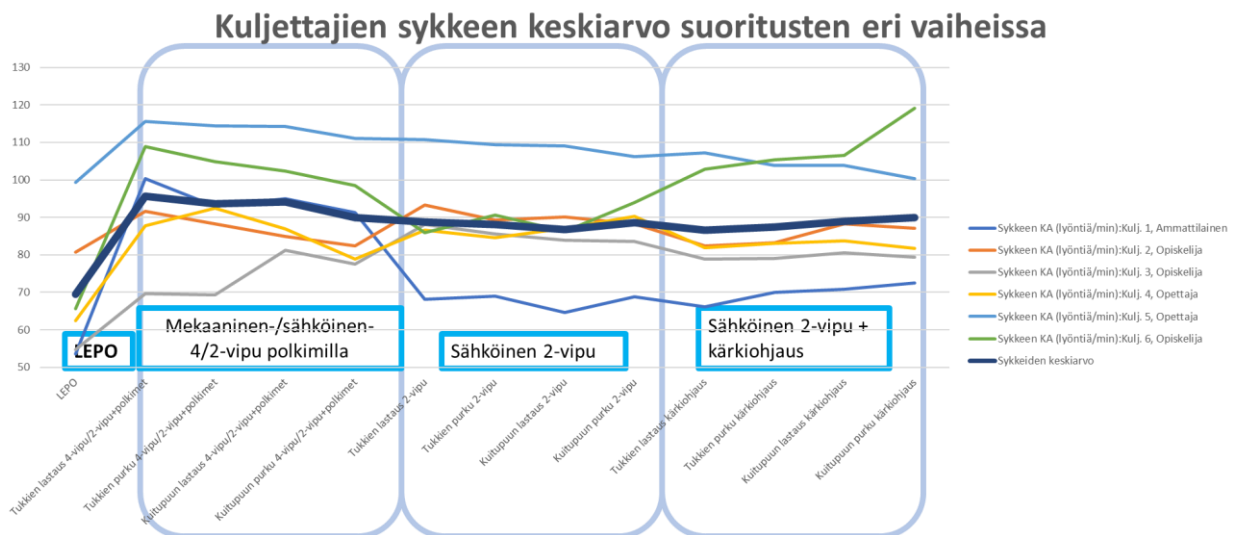
Aineisto osoittaa, että useimmissa tapauksissa opiskelijoiden hitaampi työ vastaa alhaisempia tärinän arvoja. Suurimmat kokonaiskiihtyvyyden arvot sekä poikkeamat liittyvät opettajien ja ammattikuljettajien suorittamiin nopeisiin työjaksoihin. Tämä korostaa suorituskyvyn ja toimintaturvallisuuden tasapainon löytämisen tärkeyttä.

3.3 Kuljettajien kokonaiskuormittumisen arviointi sykkeen, sykevälivaihtelun sekä lihasaktiivisuuden (EMG) muutosten avulla

Mittauksen tarkoituksena oli selvittää, miten hengitys ja verenkiertoelimistön kokonaiskuormitus muuttuu kuormaustehtävien ja koehenkilöiden välillä eri ohjaustavoissa.

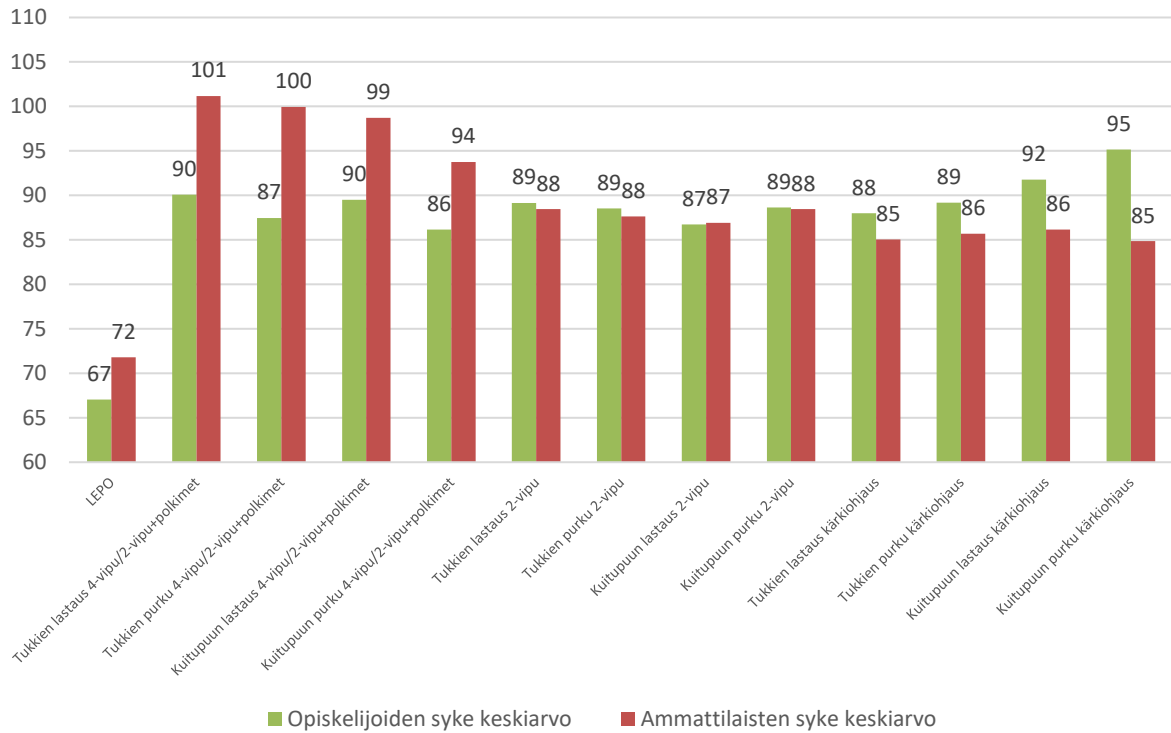
3.3.1 Sykemuuttujat

Kuvassa 12 esitetään jokaisen koehenkilön keskimääräiset sykkeet eri suoritusten aikana. On syytä huomata, että sekä leposyke, yksilölliset sykevasteet ja sykevariaatiosta laskettava stressi-indeksi ovat yksilöllisiä, joten analyysissä on keskitytty pääasiassa vertailemaan kyseisiä muuttujia jokaisen kuljettajan lepotilanteessa mitattuun vertailuarvoon. Leposyke oli kaikilla kuljettajilla keskimäärin 69 lyöntiä minuutissa. Työtehtävien aikana syke oli keskimäärin 86–95 lyöntiä minuutissa. Huomioitavaa on, että tehtävien yleinen fyysinen kuormitustaso ei noussut kovin korkeaksi.

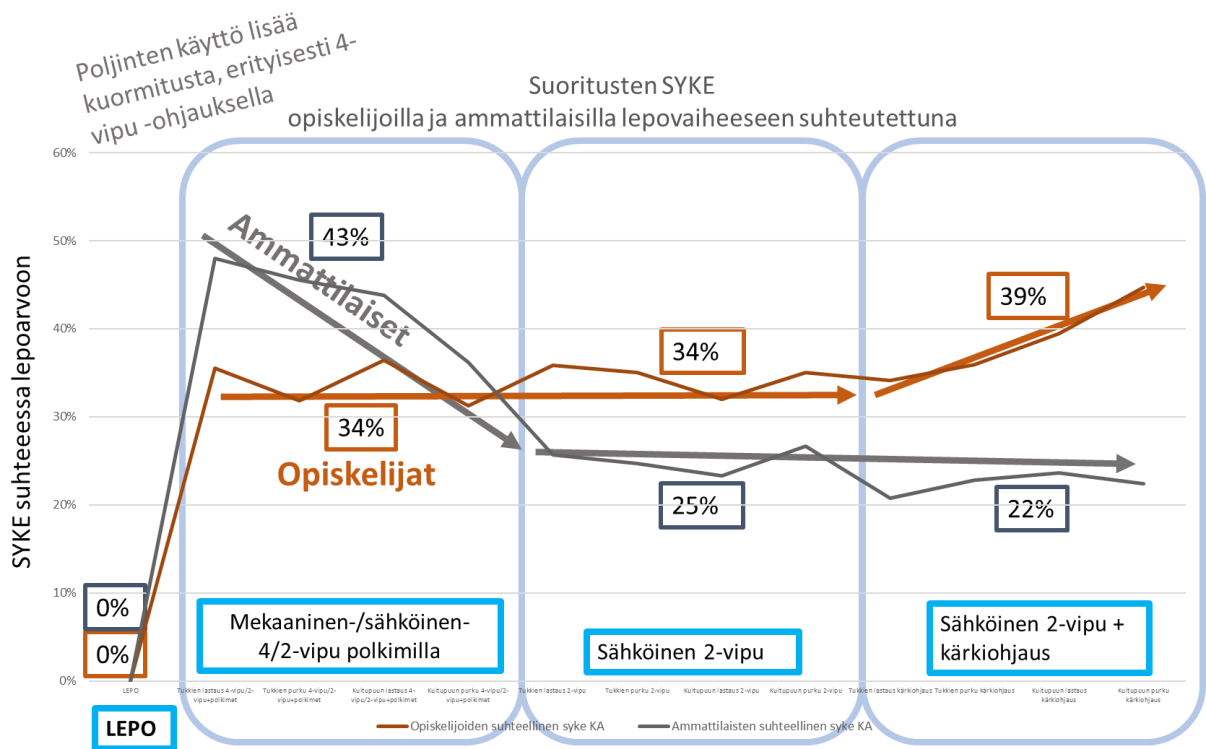


Kuva 12. Kuljettajakohtaiset keskimääräiset sykkeet eri ohjaustavoilla työskenneltäessä.

Kuvassa 13 esitetään ammattilaisten ja opiskelijoiden keskimääräiset sykkeet eri suoritusten aikana. Kuvassa 14 verrataan sykkeiden muutoksia leposykkeeseen. Tukkien kuormaaminen on havaittu melko maltillisesti kuormittavaksi, ja keskimäärin syke nousee istuen tehdystä lepomittauksesta opiskelijoilla keskimäärin 22 lyöntiä ja ammattilaisilla noin 19 lyöntiä eri työtehtäviin verrattuna.



Kuva 13. Keskimääräinen opiskelijoiden (n = 3) ja ammattilaisten (n = 3) syke eri suorituskerrojen aikana.



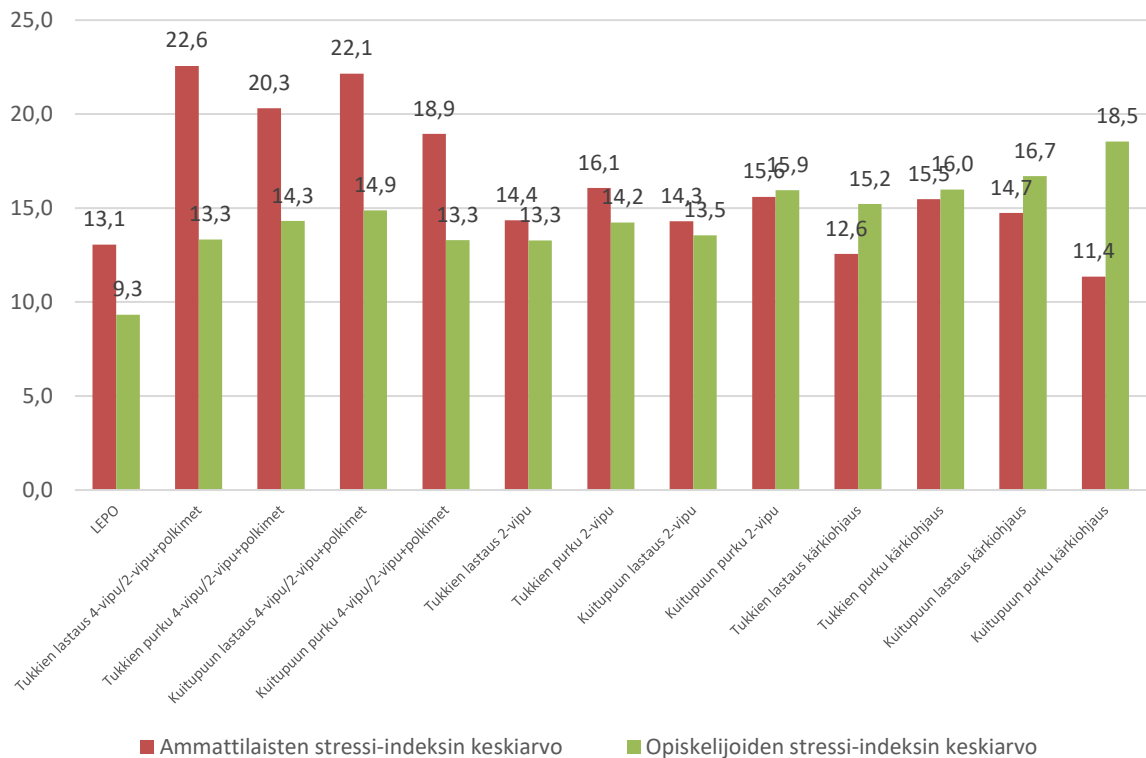
Kuva 14. Ammattilaisten ja opiskelijoiden sykemuutokset eri ohjaustavoilla verrattuna leposykkeeseen.

Ammattilaisten sykkeet olivat 4- ja 2-vipuohjauksella ja polkimien kanssa kuormattaessa keskimäärin 10 lyöntiä korkeammat kuin opiskelijoilla. Kuitenkin sähköisellä 2-vipuohjauksella kuormattaessa sykearvot olivat tasolla (-0,4), ja kärkiohjauksella kuormattaessa sykkeet olivat keskimäärin 6 lyöntiä alhaisemmat kuin opiskelijaryhmällä. Tämä ero voi selittyä sillä, että ammattilainen pystyy toimimaan tehokkaammin kuormatessaan 4/2-vipuohjauksella kuin opiskelija, jonka liikkeet ovat rauhallisempia johtuen hitaammasta työskentelytahdistista.

Eryityisesti ammattikuljettajien ja opettajien sykearvoja vertailtaessa sykkeet olivat alimmillaan kärkiohjausta käytettäessä 85 lyöntiä minuutissa (85 bpm). Sähköisellä 2-vipuohjauksella keskimääräinen syke oli 88 bpm ja mekaanisella 4-vipu/sähköisellä 2-vipuohjauksella polkimien kanssa sykkeet olivat 98 bpm. Kaikki kuljettajat mukaan lukien sykkeet olivat 7 % korkeampia 4-vipu- ja 2-vipu + polkimien ohjauksella verrattuna kärkiohjauksen käyttöön. Sähköinen 2-vipuohjaus ei eronnut kärkiohjauksesta sykkeiden osalta.

3.3.2 Sykkeestä laskettavat stressimuuttujat

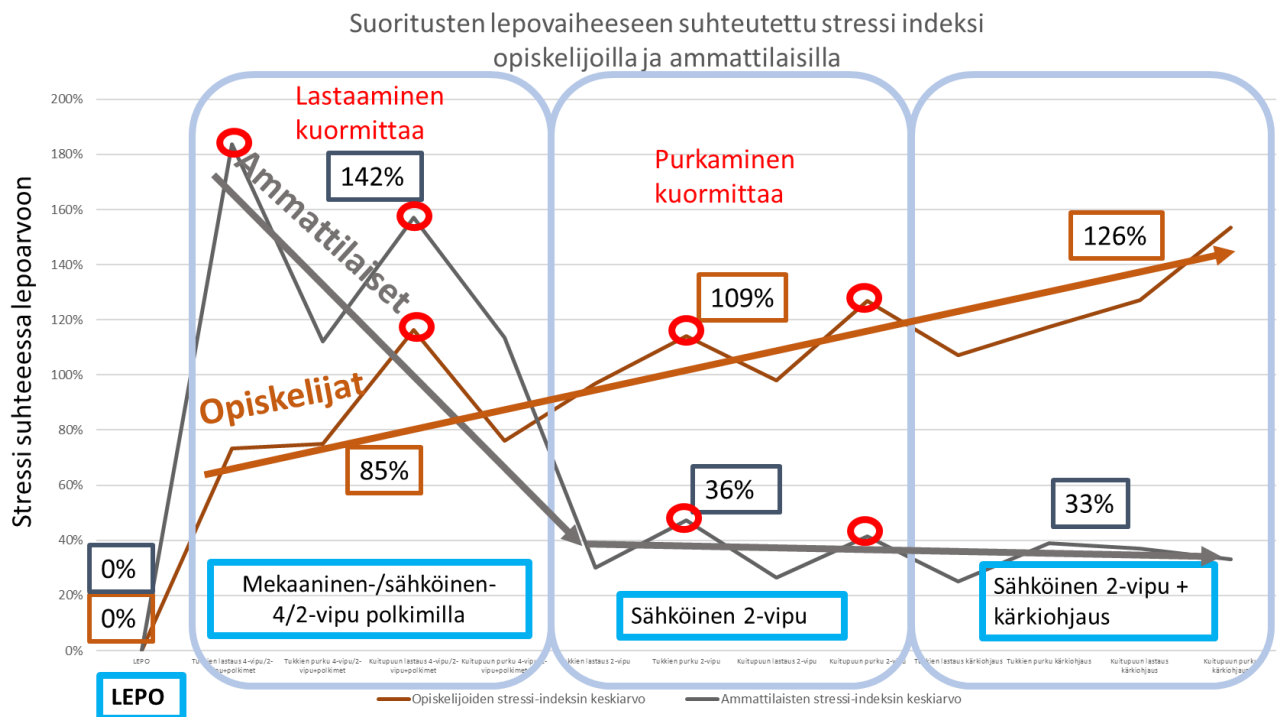
Sykeanalyysissä käytettiin Kubioksen sykeanalyysiohjelmaa, joka mahdollistaa eri suorituksista saatavan stressi-indeksin laskemisen. Stressi-indeksi lasketaan sykkeen ja sykevariaatiomuuttujien avulla. Kuvassa 15 vertaillaan opiskelijoiden ja ammattilaisten keskimääräisiä stressin absoluuttisia arvoja eri ohjaimilla työskennellessä. Lähtötilanteessa stressi-indeksissä on ryhmien välillä hienoinen ero, sillä ammattilaisten keskimääräinen stressi on 33 % korkeampi kuin opiskelijoilla. Kun ammattilaiset käyttävät 4- ja 2-vipuja sekä polkimia, heidän stressi-indeksinsä nousee lepotilaan verrattuna 7,9 yksikköä. Vastaavasti opiskelijoiden stressi-indeksi nousee keskimäärin vain 4,6 yksikköä samoissa olosuhteissa. Ammattilaiset suoriutuivat tehtävästä huomattavasti nopeammin, mikä selittää osaltaan eroa myös heidän kuormittumisessaan.



Kuva 15. Eri kuormaustehtävien keskimääräinen stressi-indeksi (sopimuksellista yksikköä) opiskelijoilla ja ammattilaisilla.

2-vipuohjauksella erot tasoittuivat ryhmien välillä, ja opiskelijoiden stressi-indeksi nousi 14,3 yksikköön, mikä on 4,9 yksikköä korkeampi kuin lepotilassa mitattu arvo. Ammattilaisten stressi-indeksi arvo laskivat edelliseen vaiheeseen verrattuna selvästi arvoon 15,1, joka on enää 2,0 yksikköä suurempi kuin lepotilassa mitattu arvo. Kärkiohjauksella työskenneltäessä ammattilaisten keskimääräinen stressi-indeksin arvo laski edelleen 13,5:een, mikä on enää 0,5 yksikköä yli mitatun lepoarvon. Toisaalta opiskelijoilla stressi-indeksin arvo nousi 16,6:een, mikä on eri työtehtävien korkein arvo opiskelijoilla.

Kuvassa 16 esitetään stressi-indeksin prosentuaalista muuttumista eri koeryhmillä suhteessa ennen mittauksia mitattuun lepoarvoon. Ammattilaisilla polkimien kanssa suoritettu ensimmäinen työtehtävä oli kuormittavampi kuin opiskelijoilla. Ammattilaisten työtehtävään käyttämä aika oli myös merkittävästi vähäisempi, mikä osittain selittää kuormittumisen erilaisuutta. On kuitenkin tärkeää huomata, että vain yksi ammattilainen suoritti tehtävän käyttäen mekaanista nelivipuohjausta, jossa kuormitus oli selvästi suurempi kuin muilla ohjaustavoilla. Tämä seikka hankaloittaa johtopäätösten tekemistä ja vertailua.



Kuva 16. Koehenkilöiden stressi-indeksin muuttuminen suhteessa ennen mittauksia mitattuun lepoarvoon opiskelijoilla ($n = 3$) ja ammattilaisilla ($n = 3$).

Ammattilaisten työskentely oli selvästi nopeinta polkimia käytettäessä (-19 %) verrattuna kärkiohjaukseen, ja myös pelkällä 2-vipuohjauksella ilman kärkiohjausta työskentely oli hieman nopeampaa (-3 %) kuin kärkiohjauksen ollessa mukana (Kuva 8). Tämä saattaisi selittää stressi-indeksin muuttumista eri ohjaustyyppien välillä ammattilaisilla.

Opiskelijoilla työtehtävän ajankäyttö selittää ainakin osittain stressi-indeksin muutosta. Vaikka opiskelijoiden stressi-indeksi kasvoi siirryttäessä sähköiseen 2-vipuohjaukseen (109 % lepoarvosta) ja kärkiohjaukseen (126 % lepoarvosta), suoritus nopeutui samalla 17 %. Kärkiohjaus saattaa siis antaa opiskelijoille varmuutta työskentelyyn, jolloin työtehtävää voidaan nopeuttaa, ja sitä kautta tapahtuu myös hienoinen nousu kuormittumisessa. Kuitenkin ammattilaisten ajankäyttöä ja stressi-indeksiä tarkasteltaessa tilanne oli päinvastainen, koska

ammattilaisilla kärkiohjaus hieman hidasti työskentelyä verrattuna samaan ohjaukseen ilman kärkiohjausta.

Molemmilla ryhmillä kuormaamisen aikana keskimääräinen stressi-indeksi nousi korkeammalle polkimilla ohjattaessa kuin kuorman purkamisen aikana (Kuva 5). Sähköistä 2-vipu - ohjausta käytettäessä huomattiin kuorman purkamisen aikana korkeampia stressiarvoja verrattuna kuormaamiseen. Sen sijaan kärkiohjauksella työskenneltäessä vastaavia eroja ei ollut näkyvissä kuormaamisen ja purkamisen välillä. Näitä muutoksia ei voida selittää suoritus-aikojen eroilla, sillä kuormaaminen oli systemaattisesti pidempi suoritus kuin kuorman purku. Ainoastaan ammattilaisten kuormaaminen kuitupuulla 2-vipuohjausta käyttäen oli keskimäärin hieman lyhyempi kuin purkaminen, mutta ero oli hyvin pieni (alle 30 sekuntia) (Kuva 8). Tutkimusryhmä ei osaa sanoa, mistä tämä muutos voisi johtua.

On tärkeää muistaa, että henkilön kuormittumiseen ja sitä kautta mitattuun stressi-indeksiin testisuoritusten aikana voivat vaikuttaa myös muut kuin itse fyysisestä työsuorituksesta johtuvat tekijät. Esimerkiksi itse mittauksesta aiheutuva kuormitus ja jännitys, nälkä, lämpötilamuutokset, tupakan tai nuuskan tarve, vessahätä tai henkilökohtaiset stressitekijät muualla arkielämässä voivat vaikuttaa tuloksiin.

Liitteessä 1 on esitetty ammattikuljettajan, opiskelijan sekä opettajan yksilölliset syke- ja stressikäyrät ja suoritukseen käytetty aika tukkipuuta kuormattaessa. Suorituksen aikana stressi vaihtelee, ja hetkellisiä kuormitushuippuja on selvästi havaittavissa. Jatkotutkimuksen aiheena voisi olla selvittää, mistä nämä kuormitushuiput johtuvat ja miten niihin voisi vaikuttaa.

3.3.3 Lihasaktiivisuuden (EMG) arviointi eri työtehtävien aikana

Mittauksen tarkoituksena oli vertailla lihasryhmien kuormittumista ja väsymistä ohjaustapojen ja kuormattavien puutavaralajien kesken. Mitattavat lihakset/lihasryhmät olivat seuraavat:

- Ranteen ojentajat
- Ranteen koukistajat
- Hartian kohottaja (epäkäslihaksen yläosa)
- Nilkan ojentajat (kaksipäisen kantalihaksen lateraalinen osa)
- Nilkan koukistajat (etumainen säärilihas)

Yhteenveto suoritusten aikaisista keskimääräisistä lihasaktiivisuuksista on koottu taulukkoon 3.

Taulukko 3. Keskiarvoiset lihasaktiivisuudet (μV ja % maksimijännityksestä) eri työtehtävien aikana.

Lihäs	Aktiivisuus maksimaalisen lihasjännityksen aikana	Kuormaaminen tukit			Purkaminen tukit			Kuormaaminen kuitupuut			Purkaminen kuitupuut		
		Muu*	Sähköinen kaksivipuohjaus	Sähköinen kaksivipu kärkiohjauksella	Muu*	Sähköinen kaksivipuohjaus	Sähköinen kaksivipu kärkiohjauksella	Muu*	Sähköinen kaksivipuohjaus	Sähköinen kaksivipu kärkiohjauksella	Muu*	Sähköinen kaksivipuohjaus	Sähköinen kaksivipu kärkiohjauksella
Oikean ranteen ojentajat	281 (100 %)	15 (5 %)	14 (5 %)	12 (4 %)	14 (5 %)	12 (4 %)	12 (4 %)	13 (5 %)	12 (4 %)	11 (4 %)	13 (5 %)	12 (4 %)	13 (5 %)
Vasemman ranteen ojentajat	228 (100 %)	18 (8 %)	21 (9 %)	17 (7 %)	17 (7 %)	18 (7 %)	14 (6 %)	16 (7 %)	18 (7 %)	14 (6 %)	17 (7 %)	22 (10 %)	15 (6 %)
Oikean ranteen koukistajat	285 (100 %)	13 (5 %)	7 (2 %)	6 (2 %)	13 (5 %)	7 (2 %)	7 (2 %)	10 (4 %)	7 (2 %)	7 (2 %)	9 (3 %)	6 (2 %)	6 (2 %)
Vasemman ranteen koukistajat	384 (100 %)	15 (4 %)	7 (2 %)	8 (2 %)	15 (4 %)	9 (2 %)	8 (2 %)	13 (3 %)	9 (2 %)	7 (2 %)	12 (3 %)	8 (2 %)	8 (2 %)
Oikean hartian kohottaja	203 (100 %)	10 (5 %)	8 (4 %)	8 (4 %)	10 (5 %)	8 (4 %)	9 (4 %)	12 (6 %)	10 (5 %)	13 (6 %)	11 (5 %)	10 (5 %)	12 (6 %)
Vasemman hartian kohottaja	246 (100 %)	12 (5 %)	12 (5 %)	12 (5 %)	13 (5 %)	13 (5 %)	13 (5 %)	11 (4 %)	8 (3 %)	10 (4 %)	11 (4 %)	10 (4 %)	12 (5 %)
Oikean nilkan ojentaja	57 (100 %)	5 (9 %)	3 (5 %)	3 (5 %)	3 (5 %)	3 (5 %)	3 (5 %)	3 (5 %)	2 (3 %)	3 (5 %)	5 (9 %)	3 (5 %)	3 (5 %)
Vasemman nilkan ojentaja	48 (100 %)	6 (13 %)	3 (6 %)	2 (4 %)	4 (8 %)	3 (6 %)	2 (4 %)	4 (8 %)	2 (4 %)	2 (4 %)	5 (10 %)	2 (4 %)	2 (4 %)
Oikean nilkan koukistaja	194 (100 %)	10 (5 %)	6 (3 %)	8 (4 %)	12 (6 %)	6 (3 %)	6 (3 %)	9 (5 %)	6 (3 %)	5 (3 %)	7 (4 %)	6 (3 %)	10 (5 %)
Vasemman nilkan koukistaja	142 (100 %)	8 (6 %)	6 (4 %)	5 (4 %)	6 (4 %)	5 (4 %)	4 (3 %)	10 (7 %)	4 (3 %)	5 (4 %)	8 (6 %)	5 (4 %)	5 (4 %)
Yhteensä	2068 (100 %)	112 (5,4 %)	87 (4,2 %)	81 (3,9 %)	107 (5,2 %)	84 (4,1 %)	78 (3,8 %)	101 (4,9 %)	78 (3,8 %)	77 (3,7 %)	98 (4,7 %)	84 (4,1 %)	86 (4,2 %)

* = Mekaaninen- / sähköinen- 4 / 2-vipu polkimilla

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kaikkien työtehtävien aikana lihasten maksimiaktiivisuuteen verrattuna keskiarvoiset lihasaktiivisuudet olivat matalia. Korkeimmat suhteelliset lihasaktiivisuudet havaittiin kaikissa tehtävissä vasemman rannenivelen ojentajalihaksissa, ja ne nousivat korkeimmillaan 10 % maksimiarvosta. Keskiarvoisissa lihasaktiivisuuksissa ei ollut eroja eri työtehtävien tai ohjausjärjestelmien välillä. Ongelmana näyttää pikemminkin olevan lihasten vähäinen fyysinen aktiivisuus tehtävien aikana kuin lihasten ylikuormittuminen.

Pääsääntöisesti suurimmat aktiivisuusarvot havaittiin kuitenkin mekaanisessa/sähköisessä 4-/2-vipuohjauksessa, kun taas pienimmät keskimääräiset aktiivisuudet olivat sähköisessä kaksivipuohjauksessa. Kärkiohjauksella ei ollut vaikutusta keskimääräisiin lihasaktiivisuuksiin eri suoritusten välillä, ja kaikkia lihasryhmiä summaamalla tarkasteltaessa kärkiohjauksesta aiheutuva kuormitus oli matalin. Lihasten väsymistä ei analysoitu, koska lihasaktiivisuudet jäivät hyvin alhaisiksi.

Jatkotutkimuksen aiheena tulisi olla kuormitushuippujen tarkempi selvittäminen ja niiden ajoittuminen eri työvaiheisiin sekä suhteessa kuljettajaan kohdistuvaan tärinään.

3.4 Liikeanalyysi

3.4.1 Olkanivel

Olkavarren tulisi osoittaa pääsääntöisesti alaspäin tai olla hieman koukussa/fleksiossa (30 astetta) tai ojennuksessa/ekstensiassa (15 astetta), jotta se olisi anatomisesti oikeassa asennossa. Kiertoliikettä olkanivelestä tulisi tapahtua vain keskilinjan suuntaan 30 astetta ja ulkorotaatiota tulisi välttää.

Pääsääntöisesti tämä toteutui jokaisella ohjaustavalla, vaikka yksittäisillä lyhyemmillä kuljettajilla olkanivel oli huonoimmillaan jopa puolet ajasta liiaksi koukussa (= yli 30 astetta). Vasen olkapää oli pääsääntöisesti ulkorotaatiossa, minkä takia viitearvojen sisällä oltiin vain alle 30 % työskentelyajasta (Taulukko 4).

Taulukko 4. Koehenkilöiden keskimääräinen aika työsuorituksesta viitearvojen sisällä olkanivelen koukistus ja ojennus -suunnassa sekä sisä- ja ulkorotaatiossa.

		mekaaninen 4/2-vipu + polkimet (3x)	sähköinen 2-vipu (6x)	kärkiohjaus (6x)
Olkanivel ekstensio - fleksio (-15-30 astetta) OIKEA	Viitearvojen sisällä	81 %	91 %	83 %
Olkanivel ekstensio - fleksio (-15-30 astetta VASEN	Viitearvojen sisällä	70 %	87 %	90 %
Olkanivel sisä ja ulkorotaatio 0-30 astetta sisärotaatio OIKEA	Viitearvojen sisällä	68 %	38 %	51 %
Olkanivel sisä ja ulkorotaatio 0-30 astetta sisärotaatio VASEN	Viitearvojen sisällä	29 %	23 %	9 %

3.4.2 Kyynärniveli

Kyynärnivelen ergonomia toteutuisi parhaiten, mikäli se olisi työsuorituksen aikana 90-120 astetta koukussa sekä sisäkierrossa 0-45 astetta (0 asteessa peukalo osoittaa ylöspäin).

Viitearvojen sisällä tapahtunut suorituksen kesto on esitetty taulukossa 5. Kyynärnivelen osalta hajontaa viitearvoihin on enemmän kuin olkanivelen osalta. Pääsääntöisesti kyynärnivelen ojennus ja ulkokierto korostuvat. Erityisesti kyynärniveli työskentelee liiaksi ojentuneena 4- ja 2-vipuohjauksella, kun sen sijaan sähköisessä ohjauksessa ongelma hieman korjaantuu. Parhaiten viitearvojen sisällä pysytään kierto- ja kierto- ja 2-vipuohjauksessa, joissa erityisesti oikean kyynärnivelen asento säilyy hyvänä. Sähköiset ohjaimet ohjaavat kättä toimimaan liiaksi ulkokiertoa.

Taulukko 5. Kyynärnivelen nivelkulmien ajallinen kesto viitearvojen sisällä prosentuaalisesti koko suorituksesta.

		mekaaninen 4/2-vipu + polkimet (3x)	sähköinen 2-vipu (6x)	kärkiohjaus (6x)
Kyynärnivel koukistus ja ojennus, OIKEA	Viitearvojen sisällä	33 %	69 %	68 %
Kyynärnivel koukistus ja ojennus, VASEN	Viitearvojen sisällä	23 %	49 %	59 %
Kyynärnivel pronaatio ja supinaatio, OIKEA	Viitearvojen sisällä	71 %	18 %	34 %
Kyynärnivel pronaatio ja supinaatio, VASEN	Viitearvojen sisällä	36 %	10 %	6 %

3.4.3 Rannenivel

Rannenivelen optimaalinen ergonominen liikerata olisi koukistus- ja ojennussuunnassa 20 astetta molempiin suuntiin keskilinjasta. Pikkusormen puolelle taivutusta saisi tulla 20 astetta ja peukalon suuntaan 5 astetta.

Rannenivelten keskimääräiset ajat viitearvojen sisällä on esitetty taulukossa 6. Suurin ero viitearvoihin syntyy oikean ranteen osalta, joka pyrkii työsuorituksen aikana ojentumaan liiaksi erityisesti sähköisiä ohjaimia käytettäessä (44 %, 30 % ja 40 % viitearvojen sisällä). Sivuttaisuunnassa sekä oikealla että vasemmalla ranteella oli taipumus pyrkiä liiaksi peukalon suuntaan viitearvoihin nähden ja vain noin puolet työskentelyajasta ollaan viitearvojen välissä. Tämä tapahtui tasaisesti kaikilla ohjaustyypeillä.

Taulukko 6. Rannenivelen keksimääräinen aika viitearvojen välissä prosentuaalisesti työsuorituksen aikana.

		mekaaninen 4/2-vipu + polkimet (3x)	sähköinen 2-vipu (6x)	kärkiohjaus (6x)
Ranne fleksio ja ekstensio, OIKEA (-20 - 20 astetta)	Viitearvojen sisällä	44 %	30 %	40 %
Ranne fleksio ja ekstensio, VASEN (-20 - 20 astetta)	Viitearvojen sisällä	96 %	52 %	48 %
Ranne radiaalideviaatio 5astetta (+) ja ulnaarideviaatio 20 astetta (-), OIKEA	Viitearvojen sisällä	48 %	44 %	51 %
Ranne radiaalideviaatio 5astetta (+) ja ulnaarideviaatio 20 astetta (-), VASEN	Viitearvojen sisällä	46 %	35 %	65 %

3.4.4 Nilkkanivel

Nilkkanivelelle ei ole määritelty vastaavia viitearvoja kuin yläraajan nivelille. Nivelen tulisi kuitenkin toimia lähellä lepoasentoaan, mikä nilkkanivelelle on 90 astetta. Viitearvoina tutkimuksessa käytettiin 10 astetta sekä koukistus- että ojennussuuntiin. Analysointia on järkevä tehdä

vain 4- tai 2-vipuohjauksella, jossa käytetään polkimia. Muissa ohjaustavoissa polkimet eivät ole käytössä ja jalat voivat levätä vapaasti hytin lattialla.

Molempien nilkkojen osalta yli puolet ajasta oltiin viitearvojen sisällä ja oikean nilkan asento (70 %) oli hieman parempi kuin vasemman (53 %) (Taulukko 7). Pääsääntöisesti nilkka pyrki koukistumaan enemmän viitearvoihin nähden. Vaikka sähköisissä ohjaustavoissa ei pysytäkään viitearvojen välissä, niin kuljettaja voi hakea itselleen sopivan asennon jalan lepuuttamiseksi. Mikäli työskentely jatkuisi pitkään, niin tähänkin muuttuun tulisi kiinnittää huomiota.

Taulukko 7. Nilkkanivelten keskimääräinen aika viitearvojen välissä prosentuaalisesti työsuo-
ritusten aikana.

		mekaaninen 4/2-vipu + polkimet (3x)	sähköinen 2-vipu (6x)	kärkiohjaus (6x)
Nilkka dorsifleksio 10 astetta (+) ja plantaarifleksio 10 astetta (-), OIKEA (ei viitearvoja!!)	"Viitearvojen" sisällä	70 %	44 %	19 %
Nilkka dorsifleksio 10 astetta (+) ja plantaarifleksio 10 astetta (-), VASEN (ei viitearvoja!!)	"Viitearvojen" sisällä	53 %	38 %	24 %

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, vähentääkö kärkehjattu puutavarakuormain kuljettajaan kohdistuvaa fyysistä ja psyykkistä kuormitusta verrattuna muihin ohjaustapoihin (mekaaninen nelivipuohjaus ja sähköinen kaksivipuohjaus).

Eri ohjaustapojen välillä havaittiin eroja useissa mitatuissa muuttujissa, mutta nämä erot olivat pääosin yksilöllisiä ja yleistyksiä ryhmätasolle ei voitu tehdä kaikkien mittausten kohdalla johdun pienestä koehenkilömäärästä. Huomattavaa kuitenkin oli, että opiskelijat omaksuivat kärkehjatun kuormaimen käytön nopeasti ja saavuttivat sillä paremmat tulokset kuormaus- ja purkuajoissa kuin vertailtavilla menetelmillä.

Sykkeiden ja stressi-indeksin perusteella mekaaninen 4/2-vipuohjaus vaikutti kuormittavan kuljettajaa enemmän kuin sähköiset ohjaustyyppit. Kuitenkin kärkehjouksella ei ollut eroa muihin ohjaustapoihin verrattuna ryhmätasolla. On hyvä huomioida, että kuljettajan käyttökokemus voi vaikuttaa työsuoritukseen ja sitä kautta lisätä kuormitusta. Sykemuuttujien perusteella arvioituna kaikilla ohjaustavoilla havaittu kuormitus oli kuitenkin hyvin maltillista.

Kärkehjouksen vaikutus lihasaktiivisuuteen ei ollut systemaattinen verrattuna sähköiseen 2-vipuohjoukseen ilman kärkehjousta. Kuitenkin mekaaniset 4- ja 2-vipuohjaus osoittautuivat hieman kuormittavammiksi ohjaustavoiksi verrattuna sähköiseen 2-vipuohjoukseen. Tarkempi arviointi lihasaktiivisuudesta työvaihetasolla voisi tuoda esiin mahdollisia eroja ohjaustapojen välillä ja työvaiheiden kuormitushuippuja.

Liikeanalyysin perusteella kärkehjaus ei vaikuttanut kokonaiskuormitukseen verrattuna sähköiseen 2-vipuohjoukseen. Kuitenkin joissain suorituksissa nivelkulmat viipyivät pitkiä aikoja viitearvojen ulkopuolella, joten esimerkiksi penkin ja kyynärnojien asetuksiin tulisi kiinnittää huomiota. Mikäli työskennellään usein viitearvojen ulkopuolella, voimakasta voiman käyttöä ja tärinää aiheuttavia työvaiheita tulisi välttää. Lisätutkimusta tarvittaisiin näiden seikkojen ymmärtämiseksi paremmin.

Vartaloon kohdistuva tärinä oli suurinta mekaanisella 4/2-vipuohjouksella verrattuna sähköiseen 2-vipuohjoukseen, olipa kärkehjaus käytössä tai ei. Muilla ohjaustavoilla havaittiin myös kuormitushuippuja, mutta ne olivat pienempiä. Tulevaisuudessa olisi tärkeää tutkia tarkemmin näiden huippuarvojen suhdetta stressiin, nivelkulmiin ja lihasaktiivisuuteen, jotta voitaisiin vaikuttaa työskentelytapaan tai kuormaimen ominaisuuksiin tarvittaessa. Kuinka pitää tärinätaso hyväksyttävissä rajoissa samalla kun suorituskykyä maksimoidaan, voi olla kiinnostava aihe jatkotutkimusta varten.

Tutkimuksellisesta näkökulmasta kuormaimen erilaisten ohjaustapojen vertaaminen samojen koehenkilöiden toimesta muodostaa merkittävän tutkimushaasteen, sillä tulokseen vaikuttaa huomattavasti koehenkilön tottumus työskennellä tietyllä ohjaustavalla. Uuden ohjaustavan oppiminen ja sillä sujuva työskentely vie paljon aikaa. Tämän vaikutuksen eliminointi tuloksista on hyvin haastavaa pienillä aineistoilla. Näin ollen erilaisten ohjaustapojen vaikutusta kuljettajan työn tuottavuuteen ja ergonomiaan tulisi tarkastella laajalla kuljettajaotoksella.

KIRJALLISUUS

Hietaoja, J. 2014. Metsäkuormaimen sähköisen esiohjauksen suunnittelu. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. 42 s. Saatavilla: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/77728/Opin_naytetyo%20Juhani%20Hietaoja.pdf?sequence=1

Ikäheimo, M. 2022. Puutavara-auton kuormaimen ohjaustapojen vaikutus kuormauksen oppimismenopeuteen. Maisterin tutkielma, Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto. 51 s. Saatavilla: <https://erepo.uef.fi/handle/123456789/28057>

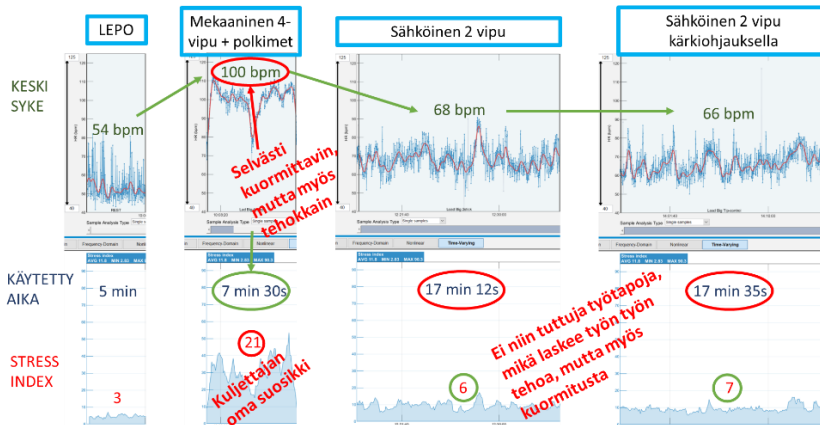
ISO 2631-5:2018 Mechanical vibration and shock. Evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks. Saatavilla: [ISO 2631-5:2018 - Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 5: Method for evaluation of vibration containing multiple shocks](#)

Launis M. & Lehtelä J. (toim.) 2011. Ergonomia. Työterveyslaitos. Tammerprint Oy. 406 s. Saatavilla: <https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-059-1>

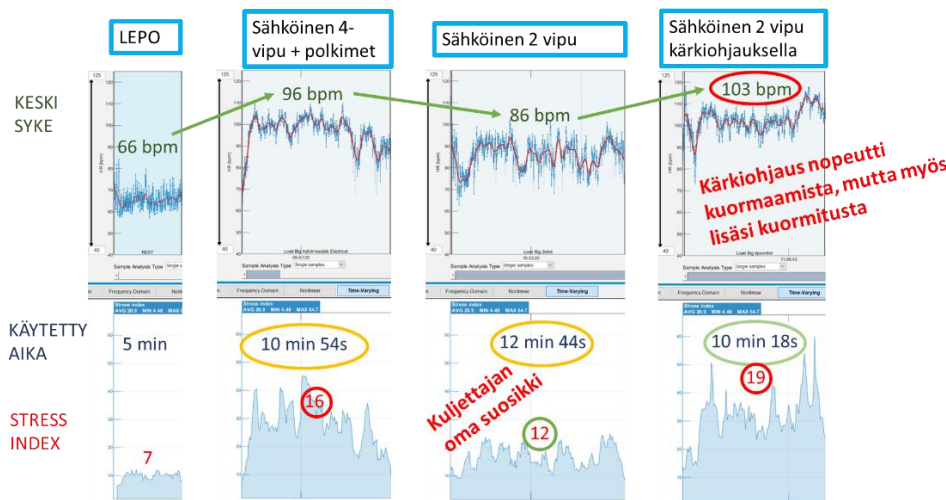
Nurminen, T. & Heinonen, J. 2007. Characteristics and time consumption of timber trucking in Finland. *Silva Fennica* 41(3): 471–487. Saatavilla: <https://silvafennica.fi/article/284>

Paakkunainen, M. 2015. Ergonomics and productivity improvements through machine automation. Abstracts and Proceedings of the 48th Symposium on Forest Mechanization. Linz, Austria 2015. Saatavilla: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163242072>

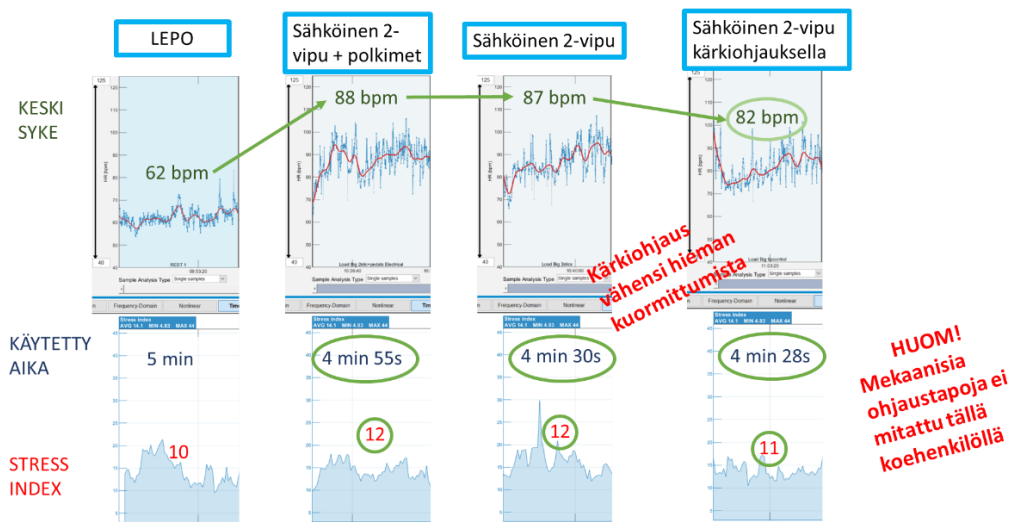
Kolmen koehenkilön syke, stressi-indeksi ja suoritukseen käytetty aika eri ohjaustyypeillä tukkeja kuormattaessa. Ylimmässä kuvassa ammattikuljettaja (Kuva A), keskellä opiskelija (Kuva b) ja alimpana opettaja (Kuva C).



Kuva A. Ohjaustyyppien vaikutus sykkeeseen ja stressiin tukkien kuormaamisen aikana ammattikuljettajalla.



Kuva B. Eri ohjaustyyppien vaikutus sykkeeseen ja stressiin tukkien kuormaamisen aikana opiskelijalla.



Kuva C. Eri ohjaustyyppien vaikutus sykkeeseen ja stressiin tukkien kuormaamisen aikana opettajalla.