

Puutavara-auton kuormaimen ohjaustavan vaikutus kuormaustyön oppimiseen ja tuottavuuteen

Metsätehon tuloskalvosarja 10/2022

Mikko Ikäheimo, Itä-Suomen yliopisto

Heikki Ovaskainen ja Jukka Malinen, Metsäteho Oy

Tiivistelmä

- Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla puutavara-auton puutavarakuormaimen ohjainlaitteiden käytön oppimista ja kuormaustyön tuottavuutta.
- Puutavara-autojen nostureiden ohjainlaitteiden käytön oppimista ja tuottavuutta tutkittiin aikuisopiskelijaryhmällä simulaattoritutkimuksena. Vertailtavat ohjainlaitteet olivat mekaaninen nelivipu kahdella jalkapolkimella, sähköinen kaksivipuohjaus ja kärkiohjaus.
- Kärkiohjauksella aloittelevien kuljettajien lähtötaso oli huomattavasti korkeampi kuin mekaanisella ohjaustavalla. Lisäksi puomin kulkema matka oli kärkiohjauksella selvästi pienin.
- Tutkimuksessa havaittiin myös, että muilla ohjaustavoilla kärkiohjauksen tuottavuustasoa ei saavutettu tutkimusjakson aikana.
- Tutkimus antoi selvän viitteen, että puutavara-autojen kuormaimissa olisi kannattavaa siirtyä sähköisesti esiohjattuihin järjestelmiin ja kärkiohjaukseen.



Puutavara-autoilu tänä päivänä

- Suomessa raakapuun kuljetuksessa puutavara-autojen merkitys on suuri, sillä kuljetettavasta puusta 99,6 % on jossain vaiheessa logistista ketjua puutavara-auton kyydissä (Strandström 2021).
- Keskimääräinen autokuljetusmatka metsävarastosta suoraan tehtaalle on 101 kilometriä (Strandström 2021).
- Kuljetusyrittäjiä Suomessa on noin 650 ja tyypillisimpiä ovat 1–3 puutavara-autoa omistavat perheyrietykset (Metsätrans 2020, nro 1).
- Kuljetuskalusto resursoidaan yleensä tarkasti ja autoa ajetaan pääosin kahdessa tai kolmessa vuorossa viitenä päivänä viikossa.
 - Autokohtaisesti ajokilometrejä kertyy vuodessa yli 180 000 km ja kuljetettavaa puutavaraa 60 000 m³.



Puutavarakuormaimet ja niiden käyttö

- Puutavara-autoissa käytetään Suomessa yleensä mukana kuljetettavaa hydraulista kuormainta, jonka paino on noin 3 tonnia.
- Kuormaimien tyypeiksi ovat vakiintuneet S- ja Z-malliset kuormaimet. Z-mallinen kuormain on yleistynyt auton kokonaispainon noustessa 76 tonniin vuonna 2013. Z-kuormaimen keskeisin etu on matala kuljetusasento, jolloin koko kuormatila voidaan hyödyntää puutavaran kuljetukseen.
- Kuormain voidaan varustaa ohjaamolla, joka on nykyään suosittu Pohjoismaissa. Ohjaamon varusteisiin kuuluu yleensä lämmitys ja mahdollisesti myös ilmastointi.
- Kuormaimen nostoteho on 9-18 tonnimetriä ja ulottuvuus noin 10 metriä. Kouran pinta-ala vaihtelee 0,2-0,5 m² välillä.
- Käyttövoiman nosturit saavat auton hydraulijärjestelmästä.
- Kuormainta käytetään työvuoron aikana kuorman tekemiseen noin 1-10 kertaa riippuen kuljetettavasta puutavaralajista, kuljetusmatkasta ja työvuoron pituudesta.
- Täysperävaunullisen puutavara-auton kuormaamiseen kuluu aikaa noin 20-50 minuuttia riippuen kuormattavasta puutavaralajista.



Kuvat: Kuljetusliike Malinen, Kesla Oyj

Ohjainkombinaatiot

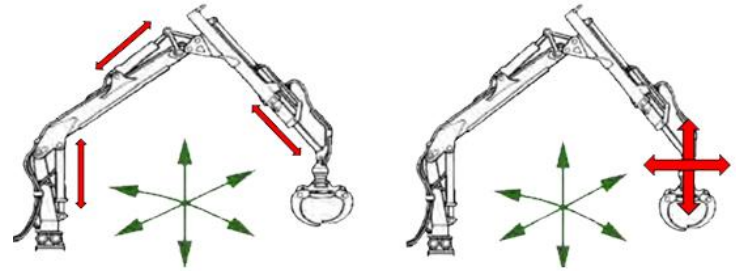
- Ohjausjärjestelmät kuormaimissa voivat olla mekaanisia tai esiohjattuja. Nykyisin yleisin esiohjausmuoto on sähköinen (kuvassa oikealla).
- Suomessa on useita ohjaintyyppejä, joista suosituimpia ovat edelleen kuitenkin mekaaniset järjestelmät, joissa on neljä käsivipua yhdistettynä kahteen jalkapolkimeen tai kaksi käsivipua kahdella jalkapolkimella (kuvassa vasemmalla). Jalkapolkimilla hallitaan usein kouraa ja puomin jatketta.
- Esiohjatuissa kuormaimissa ei yleensä ole käytössä jalkapolkimia, vaan ohjaus tapahtuu kahden sauvaohjaimen (joystick) avulla, joilla hallitaan kaikkia liikkeitä.
- Uusimpana ohjainmuotona on kärkeohjaus, joka on sähköisen esiohjauksen alamuoto.



Kuvat: Mikko Ikäheimo

Kärkiohjaus (smart boom control)

- Kärkiohjauksessa puutavarakouraa ohjataan hydraulisten sylinterikohtaisten liikkeiden sijaan horisontaalisesti ja vertikaalisesti, jolloin tietokone hoitaa yksittäisen sylinterikohtaisen säädön kuljettajan haluamaan suuntaan.
- Yksittäistä sylinterikohtaista liikettä ohjataan enää vain kouran, rotaattorin ja tukijalkojen osalta. Tietokone puolestaan vaimentaa ääriliikkeitä ja sujuvoittaa puomin liikkeitä.
- Ohjausmenetelmä voidaan vaihtaa tarvittaessa tietokoneella normaalin sähköisen esiohjauksen ja kärkiohjauksen välillä, sillä sauvaohjaimet ovat molemmissa laitteissa identtiset.
- Kärkiohjausta on käytetty metsäkoneissa vuodesta 2013, jolloin John Deere esitteli Intelligent Boom Control (IBC) järjestelmän metsäkuljetuksen tarpeisiin ja laajensi sen myöhemmin hakkuukoneisiin vuonna 2017. Viime vuosina menetelmä on laajentunut myös kilpailijoiden valikoimiin, kuten Ponselle ja Komatsulle.
- Ohjaintapa on saatavilla nykyään myös kuorma-autojen nostureihin ja traktoriyhdistelmiin Keslan valmistamana.



Kuva: Marko Paakkunainen, John Deere



Haasteita puutavara-autoilussa

- Puutavaran kuljetus on kohdannut nykyisessä toimintaympäristössä useita haasteita.
 - Osaavaa ja sitoutunutta työvoimaa on haastava saada, joten alalla vallitsee pulaa kuljettajista.
 - Kelirikon pitkittyminen aiheuttaa useita ongelmia, joihin varautuminen vie resursseja. Ongelma heijastuu osin alemman tieverkon heikosta kunnosta.
- Työvoiman saatavuuteen ja osaamiseen liittyy osin myös puutavara-autojen kuormainten ohjaustapojen moninainen kirjo.
 - Suomessa kuormaimissa on nykyisin käytössä kolme eri pääohjaustapaa (mekaaninen nelivipu, mekaaninen kaksivipu ja sähköinen kaksivipu), joista eritoten mekaanisten jalka- ja käsiohjaimet sisältävien ohjaustapojen oppiminen vaatii usein pitkän harjoitusjakson.
 - Ohjaimien ohjaussuuntia ei ole yhdenmukaistettu samalla tavalla kuten esimerkiksi metsäkoneiden ohjaimissa.



Tutkimuksen tavoite

- Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää puutavara-autojen puutavarakuormainten eri ohjaustapojen vaikutus kuormaimen käytön oppimiseen ja kuormaustyön tuottavuuteen.
- Tavoitteena oli erityisesti selvittää, kuinka paljon kuormaimen käytön oppimista ja uuden kuljettajan työn tuottavuutta pystytään kasvattamaan siirryttäessä sähköisesti esiohjattuihin ohjainlaitteisiin ja kärkiohjaukseen.
- Ohjaustavoista mekaaninen nelivipuohjaus, sähköinen kaksivipuohjaus ja kärkiohjaus olivat tutkimuksessa tarkastelun kohteena.
- Tämä tutkimus perustuu Metsätehossa tehtyyn Mikko Ikäheimon Itä-Suomen yliopiston pro gradu -tutkielmaan.

Aineisto ja menetelmät

- Tutkimuksen koehenkilöinä toimi ryhmä Savon ammatti- ja aikuisopiston opiskelijoita, jotka aloittivat puunkuljetuksen logistiikan perustutkinnon aikuisopetuksen syksyllä 2021. Opiskelijaryhmän koko oli kuusi henkilöä.
- Puolella opiskelijoista oli vähän kuormauskokemusta muilla kuormaimilla. Puutavara-autojen kuormaimet olivat pääasiassa kuitenkin uusia kaikille opiskelijoille.
- Jokaisella opiskelijalla oli erilainen lähtötaso, joka kartoitettiin lähtötasotestillä ja kyselylomakkeella.
- Oppimisen kehittymisen mittaaminen toteutettiin kuormaussimulaattoreilla, joissa opiskelijat suorittivat kolme erilaista harjoitusta kolme kertaa noin kuukauden välein. Harjoitukset olivat liikerataharjoitus, pölkkyjen toistonostoharjoitus ja kuormausharjoitus.
- Suoritusten välillä opiskelijat harjoittelivat simulaattoreiden ja oikean kuormaimen käyttöä, jolloin voitiin seurata oppimista yksilöiden ja koko luokan kesken.
- Suoritukset videoitiin ja kuormaustyö jaettiin työvaiheisiin. Tutkimuksessa verrattiin myös simulaattorin antamia tietoja, kuten kouran kulkemaa matkaa, yhdenaikaisia liikkeitä ja ohjausaikaa liikerataa vasten.



Liikerataharjoitus

- Jokaisella testikerralla opiskelijat suorittivat ensimmäisenä liikerataharjoituksen.
- Harjoituksessa opiskelijan tuli liikuttaa puomia 10 pisteen läpi auton ympärillä, jonka jälkeen harjoitus oli ohi.
- Keskeistä harjoituksessa oli oppilaan kyky hallita kuormaimen ohjausliikkeitä ja puomin liikerataa ilman taakkaa kourassa.
- Harjoitus selvensi aloittelevien kuljettajien kehittymistä ja ohjainjärjestelmien eroja.



Kuva: Mikko Ikäheimo

Pölkkyjen toistonostoharjoitus

- Testikertojen toinen harjoitus oli pölkkyjen toistonostoharjoitus.
- Opiskelijan tuli nostaa 10 kappaletta tukkeja yksitellen kuorma-auton kyytiin auton sivuilta. Tukit eivät olleet pinossa, vaan yksitellen kuorma-auton molemmin puolin.
- Harjoituksen keskeisin idea oli havainnollistaa, kuinka kuorman lastaus onnistuu opiskelijalla yksinkertaistetussa toimintaympäristössä, jossa metsävaraston sijaan puut nostetaan kentältä.
- Tarkoituksena oli havaita opiskelijan kehittyminen kuormaimen hallinnassa testikertojen välillä.



Kuva: Mikko Ikäheimo

Kuormausharjoitus

- Testikertojen kolmas harjoitus oli kuormausharjoitus metsävarastosta auton kuormatilaan. Se simuloi puutavaran kuormausta aidossa kuormaustehtävässä.
- Opiskelijan tuli lastata auton kyytiin 20 tukkia metsäautotien laidan pinosta. Auton ja metsävaraston välissä oli lisäksi oja, joka vaikeutti kourasta tippuneiden pölkkyjen nostamista.
- Tehtävän tarkoituksena oli havainnollistaa eroja kokeneempien kuljettajien välillä ja erityisesti viimeisen testikerran aikana, jolloin harjoittelutaustaa alkoi jo olemaan kaikilla opiskelijoilla.
- Harjoitus toimi myös kuormaustyön tuottavuuden tutkimisen keskeisimpänä lähteenä, sillä työvaihejako ja tarkin analysointi suoritettiin kuormausharjoituksen aineistolle.



Kuva: Mikko Ikäheimo

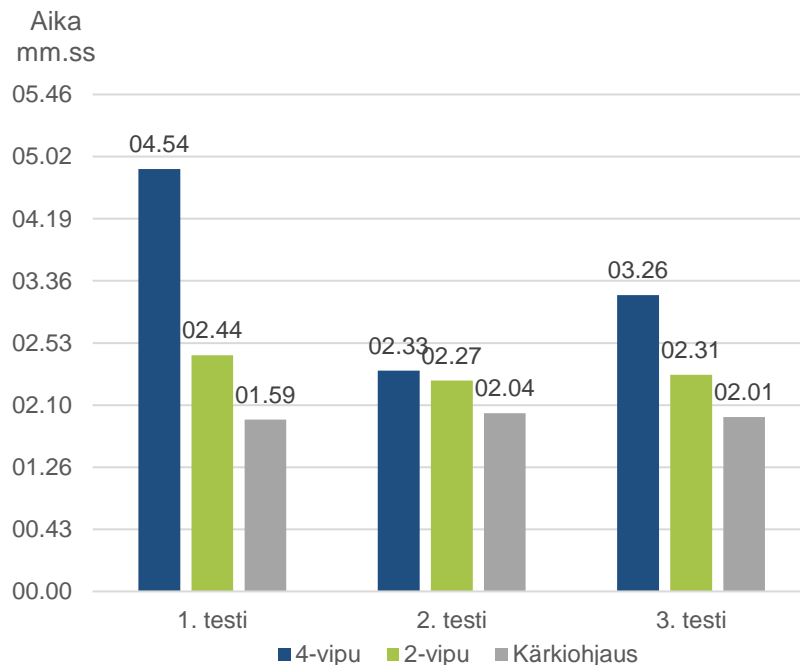
Aineiston analysointi

- Jokaiselle opiskelijalle mitattiin harjoituksittain harjoitukseen kulunut aika.
- Kuormausharjoituksesta selvitettiin työn tuottavuus lastattujen pölkkyjen lukumäärän ja työhön käytetyn ajan perusteella. Yksikkönä oli runkoa/minuutti.
- Kuormausharjoitus jaettiin lisäksi eri työvaiheisiin, joita olivat vienti, kasaus, tuonti, purkaminen, kuorman kasaus ja apuaika.
 - Työvaiheiden keston perusteella voitiin arvioida ohjauslaitteista johtuvia eroja.
- Tilastollinen vertailu suoritettiin Mann-Whitneyn U-testillä, jolla tehtiin parivertailu jokaisen ohjaustavan välille. Tilastollisen merkitsevyyden rajana pidettiin p-arvoa 0,05 eli 5 % rajaa hypoteesin testauksessa.



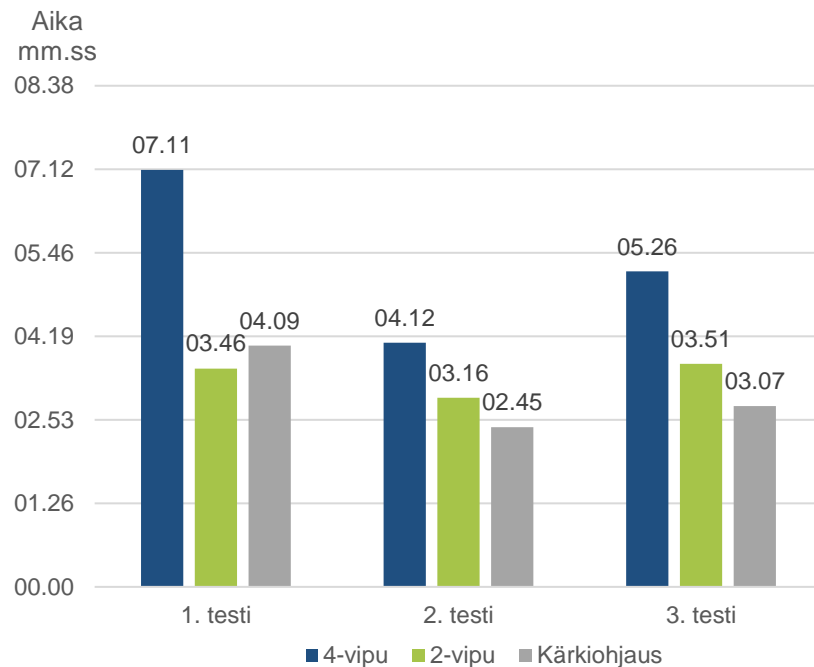
Tulokset: liikerataharjoitus

- Liikerataharjoituksessa ajallinen suoriutuminen kertoi ohjauslaitteiden erot selvimmin.
- Harjoituksessa kärkiohjaus osoittautui selvästi nopeimmaksi ohjaustavaksi jokaisella harjoituskerralla oppilasryhmän keskuudessa.
- Erot tasoittuivat eri ohjaustapojen kesken toisella harjoituskerralla.
- Kärkiohjauksella tehdyn harjoituksen tulos pysyi lähes samana kaikkien testikertojen aikana.
- Suhteellisesti eniten ajanmenekki pieneni nelivipuisella ohjaustavalla, mutta se ei saavuttanut kummankaan toisen ohjaustavan nopeutta testikertojen aikana.



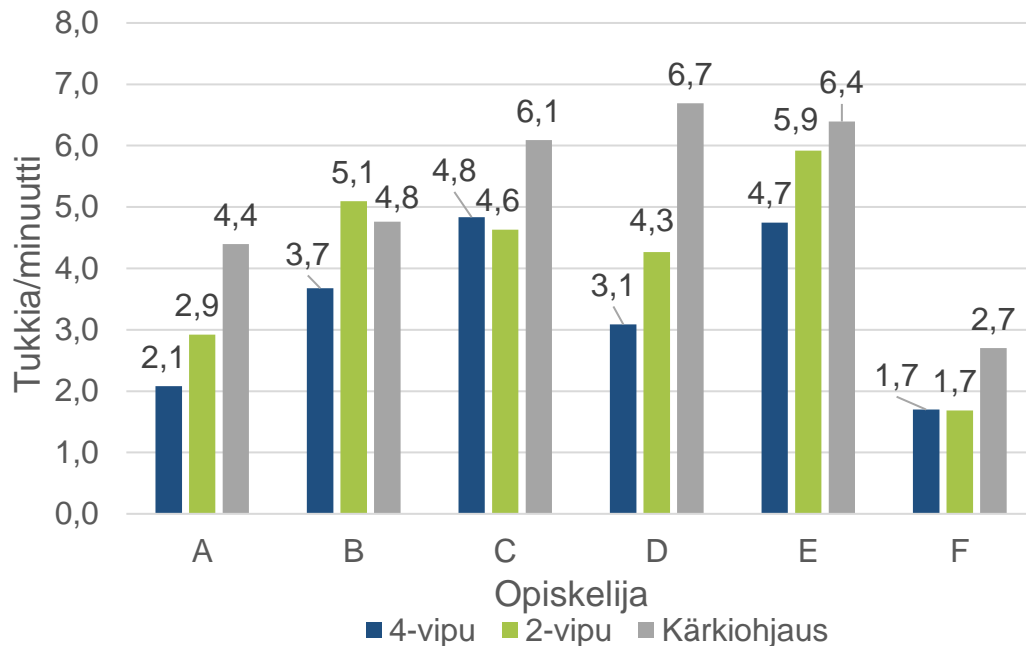
Yhden pölkyn toistonostoharjoitus

- Yhden pölkyn toistonostoharjoituksessa kaksivipuohjaus osoittautui oppilasryhmän keskuudessa nopeimmaksi ohjaustavaksi ensimmäisellä testikerralla.
- Toisella harjoituskerralla erot pienenevät ohjaustapojen välillä, jolloin kärkiohjaus muuttui nopeimmaksi ohjaustavaksi.
- Kaksivipuohjauksella tehdyn harjoituksen ajanmenekki ei pienentynyt tutkimuksen aikana, mutta sen sijaan nelivipu- ja kärkiohjaustavalla tehdyn harjoituksen ajanmenekit laskivat.



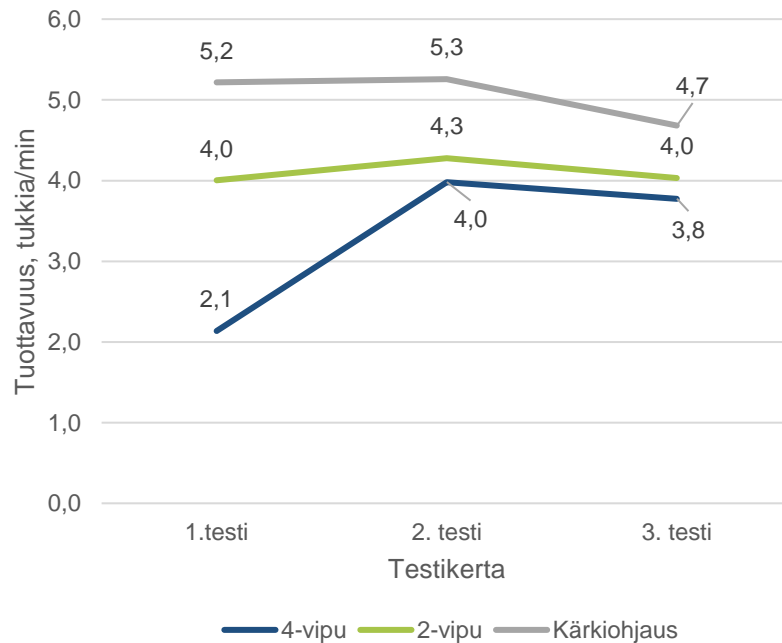
Tuottavuus kuormausharjoituksessa

- Kuormausharjoituksessa korkein keskituottavuus oli kärkiohjaustavalla, joka oli nelivipuista 54,5 % ja kaksivipuista 24,4 % tuottavampi.
- Kaksivipuinen oli puolestaan 24,2 % nelivipuista tuottavampi
 - Nelivipuisen tuottavuus oli 3,3 tukkia/min.
 - Kaksivipuisen tuottavuus oli 4,1 tukkia/min.
 - Kärkiohjauksen tuottavuus oli 5,1 tukkia/min.
- Ainoastaan yhdellä opiskelijalla (B) kärkiohjaus ei ollut tuottavin ohjaustapa.
- Harjoitus osoitti opiskelijoiden tuottavuuksissa olevan suurta hajontaa.
- Tilastollisesti merkitsevä ero oli vain nelivipu- ja kärkiohjauksen välillä tuottavuudessa.



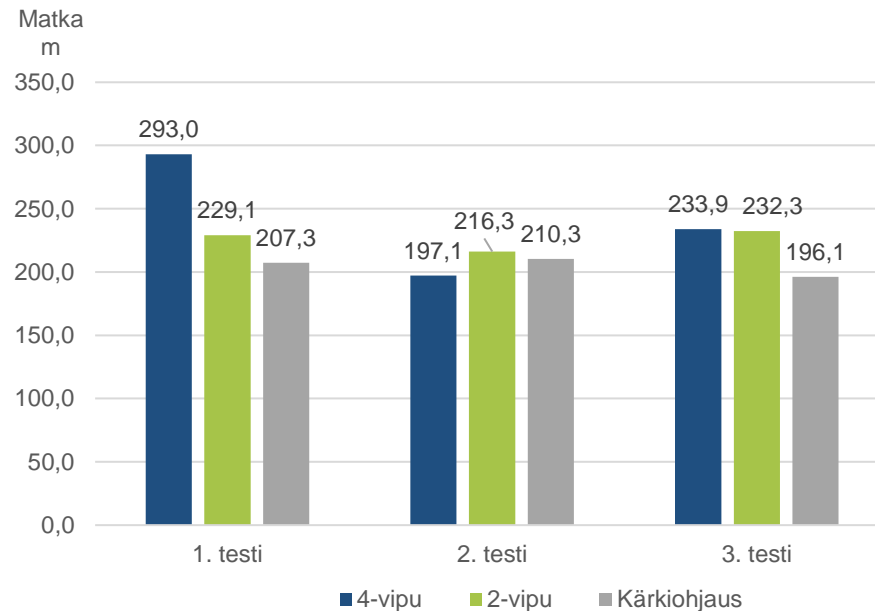
Testikertojen erot kuormausharjoituksessa

- Ensimmäisellä testikerralla kärkiohjaus osoittautui selvästi tuottavimmaksi ohjaustavaksi ollen 147,6 % tuottavampi kuin nelivipuinen ohjaustapa. Ero kaksivipuiseen ohjaustapaan oli 30,0 %.
- Toisella testikerralla erot tasoittuivat hieman, eritoten nelivipuhjauksella työskentelyn tuottavuus kasvoi huomattavasti. Kärki- tai kaksivipuhjauksella työskentelyn tuottavuus ei muuttunut juurikaan.
- Viimeisellä testikerralla kaikkien ohjaustapojen tuottavuus laski 2. testikerrasta. Kärkiohjaustavassa tuottavuus oli 11,3 % matalampi.
- Kärkiohjaus oli kuitenkin jokaisella testikerralla selvästi tuottavin ohjaustapa.



Kouran kulkema matka kuormausharjoituksessa

- Kouran kulkema matka oli keskimäärin pienin kärkiohjaustavassa. Ainoastaan toistonostoharjoituksessa kaksivipuisesa ohjaustavassa oli matalampi tulos.
- Kuormausharjoituksessa pienin kouran kulkema matka oli kärkiohjaustavalla. Siinä koura liikkui ensimmäisellä testikerralla 29,2 % vähemmän kuin nelivipuisesa ohjaustavassa ja 9,5 % vähemmän kuin kaksivipuisesa ohjaustavassa.
- Erot tasoittuivat hieman myöhemmillä testikerroilla, joissa neli- ja kaksivipuohjauksen tulos oli lähes sama. Toisella testikerralla nelivipuinen alitti kärkiohjauksen arvon, mutta heikkeni taas kolmannella testikerralla.
- Testikertojen välillä oli havaittavissa myös puomin kulkeman matkan perusteella tulosten heikkeneminen toisen ja kolmannen testikerran välillä.
- Tilastollisesti merkitsevää eroa eri ohjaustapojen välille ei kuitenkaan saavutettu.



Kouran kulkema matka kuormausharjoituksessa

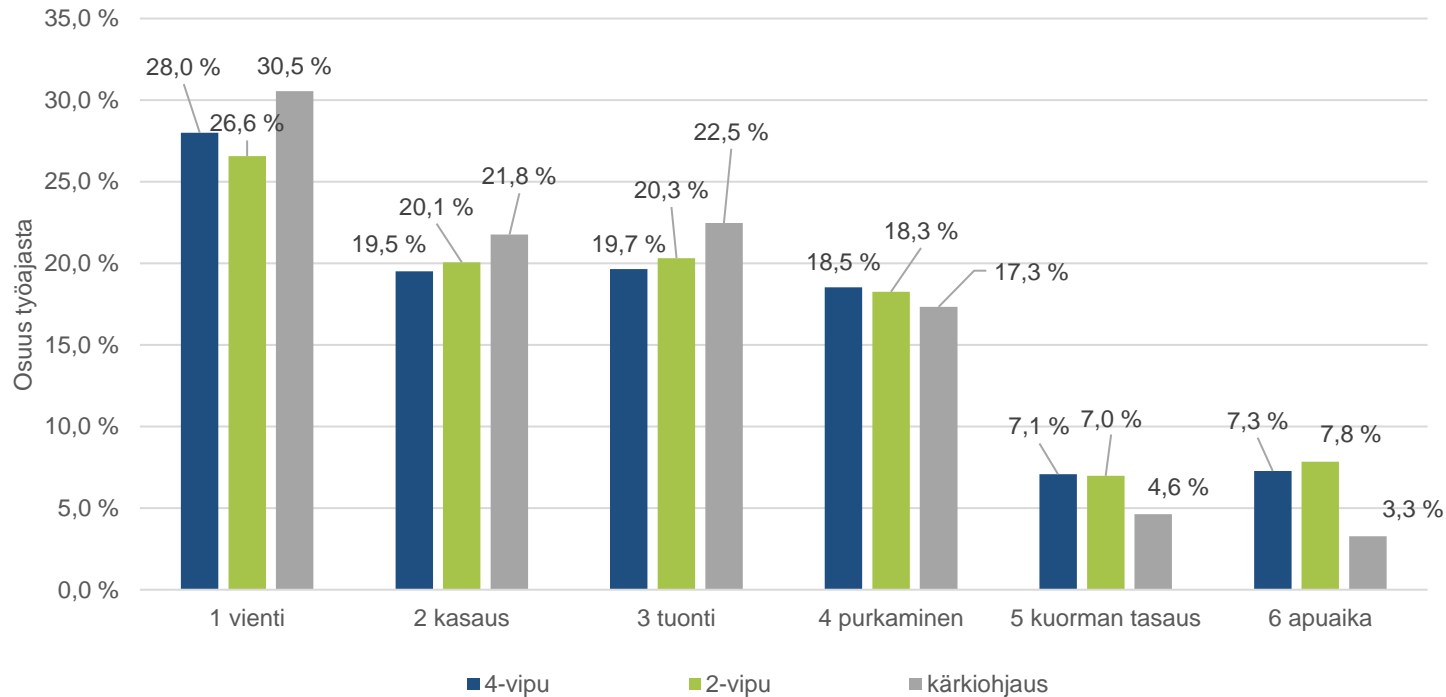
Työvaiheiden ajanmenekki kuormausharjoituksessa

- Kärkiohjaustavan tuottavuusero suhteessa kaksi- ja nelivipuo-ohjaustapaan näkyi selvästi myös ohjaustapojen työvaiheiden kestoissa tilastollisesti merkitsevinä eroina.
- Myös kaksi- ja nelivipuinen ohjaustapa saivat keskenään merkitsevän eron vienti- ja purkamistyövaiheissa.
- Tilastollista eroa ei havaittu apuajoissa yhdenkään ohjaustavan välillä.
- Suhteutettuna työaikaan ohjaustapojen väliset erot olivat pienempiä.
- Kuorman tasaus ja apuaika veivät kärkiohjauksessa vähiten aikaa. Ajankäyttö siirtyi vientiin, kasaukseen ja tuontiin, joiden ajanmenekki oli kärkiohjauksessa suhteellisesti suurempi.
- Kaksi- ja nelivipuinen ohjaustapa muistuttivat paljon toisiaan jokaisen työvaiheen osalta. Kun työvaiheet suhteutettiin aktiiviseen työaikaan, erot pienenevät entisestään.

Työvaihe		4-vipu	2-vipu	Kärkiohjaus
	%-osuus	28,0 %	26,6 %	30,5 %
1 Vienti	Keskiarvo	00:21	00:16	00:11
	Keskihajonta	00:14	00:10	00:07
	%-osuus	19,5 %	20,1 %	21,8 %
2 Kasaus	Keskiarvo	00:14	00:12	00:08
	Keskihajonta	00:16	00:14	00:09
	%-osuus	19,7 %	20,3 %	22,5 %
3 Tuonti	Keskiarvo	00:15	00:12	00:08
	Keskihajonta	00:09	00:06	00:03
	%-osuus	18,5 %	18,3 %	17,3 %
4 Purkaminen	Keskiarvo	00:14	00:11	00:07
	Keskihajonta	00:11	00:08	00:03
	%-osuus	7,1 %	7,0 %	4,6 %
5 Kuorman tasaus	Keskiarvo	01:13	00:28	00:17
	Keskihajonta	01:26	00:26	00:12
	%-osuus	7,3 %	7,8 %	3,3 %
6 Apuaika	Keskiarvo	01:26	01:40	00:28
	Keskihajonta	01:04	01:58	00:18

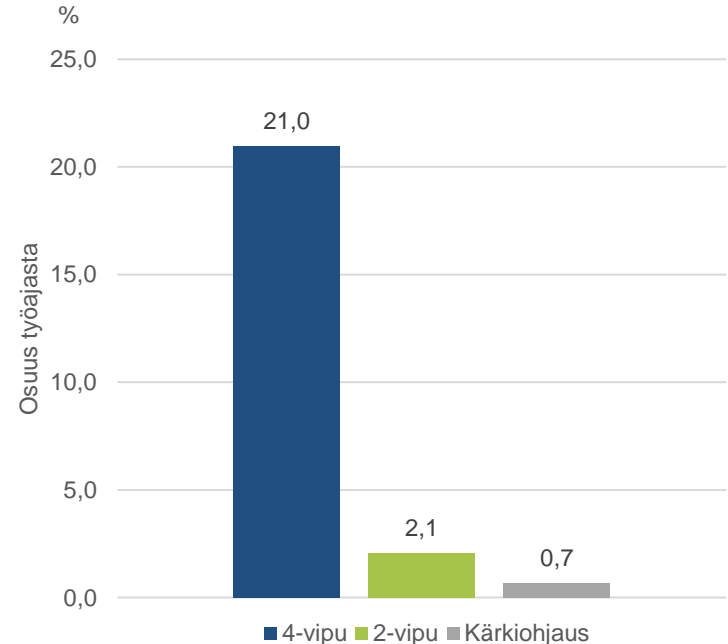


Työvaiheiden ajanmenekkiosuudet kuormausharjoituksessa



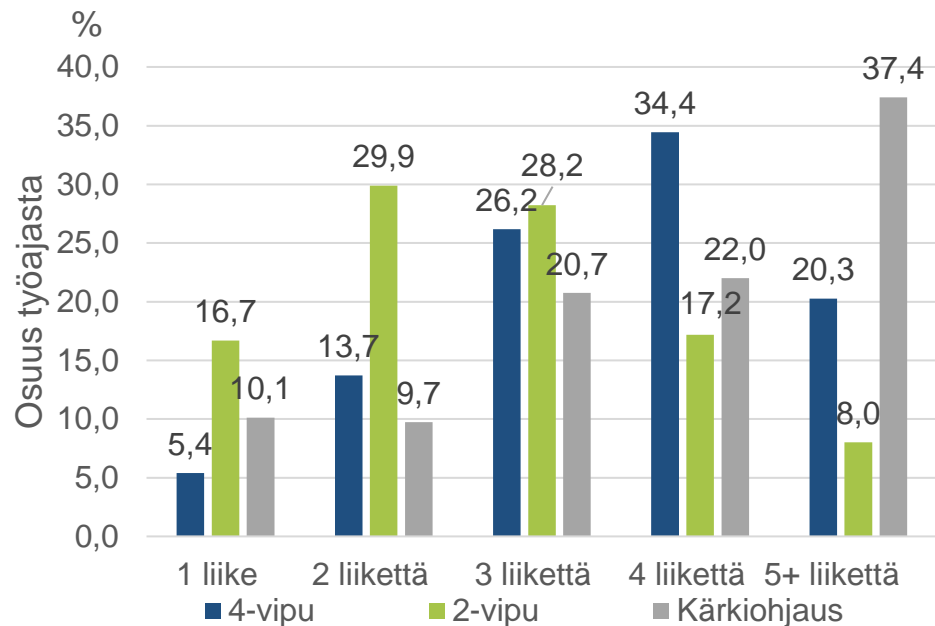
Ohjaus liikerataa vasten kuormausharjoituksessa

- ”Ääriliikkeessä” ohjausliikettä ”pidetään päällä” ohjaimen avulla, jolloin lohkon kautta virtaa hydraulioöljyä koko ajan. Esimerkiksi puristetaan kouran sulkemispainikkeella puunippua koko taakan noston ajan.
- Tarkasteltaessa kuormausharjoituksesta, kuinka monta prosenttia työajasta ohjattiin ääriliikettä vasten, osoittautuivat kärki- ja kaksivipuhjaus huomattavasti paremmiksi ohjaustavoiksi.
- Kärkiohjauksessa työajasta alle prosentti kului ohjausaikaan liikerataa vasten, kun sen sijaan nelivipuhjauksessa osuus oli yli 20 %.
- Nelivipuisen keskimääräinen ohjausaika liikerataa vasten oli 3 minuuttia ja 5 sekuntia enemmän kuin kärkiohjauksella. Kaksivipuuisella aikaa kului puolestaan 15 sekuntia enemmän.
- Erot olivat tilastollisesti merkitsevät kaikkien ohjaustapojen välillä.
- Simulaattorin autenttisuus tämän osalta oli todennäköisesti vaillinaisen, sillä aidossa kuormainympäristössä ohjaus liikerataa vasten aiheuttaa varoventtiilin ääntämisen, joka indikoi virhettä kuljettajalle ohjaamoon.
- Kuormaussimulaattori ei mallintanut polttoaineenkulutusta, mutta ohjaus liikerataa vasten vaikuttaa tähän oleellisesti.



Yhdenaikaisten liikkeiden lukumäärä kuormausharjoituksessa

- Eniten yhdenaikaisia liikkeitä oli kärkiohjauksessa, jolla oli 29,4 % enemmän viiden tai kuuden sylinterin yhtäaikaista käyttöä kuin kaksivipuohjauksessa.
- Nelivipuisella oli puolestaan 17,1 % vähemmän kuin kärkiohjauksella, jolloin se oli toiseksi paras ohjaustapa yhdenaikaisia liikkeitä tarkasteltaessa.
- Nelivipuisen ohjaustavan osuutta 4 tai 5+ liikkeiden määrässä selittää sen suuri osuus ohjausajassa liikerataa vasten. Tällöin yhdenaikaista liikettä ääriliikettä vasten tulee kuljettajan huomaamatta.
- Ohjaustapojen välillä yhdenaikaisten liikkeiden eroissa saatiin tilastollisesti merkitseviä eroja.



Keskeisimmät tulokset kuormausharjoituksesta

	Ohjaintapa	Keskiarvo	Keskihaionta	Vertailtava ohjaintapa	p-arvo
	2-vipu	4,1	1,6	Kärkiohjaus	0,102
Tuottavuus (tukkia/min)	Kärkiohjaus	5,1	2,1	4-vipu	0,011
	4-vipu	3,3	1,5	2-vipu	0,181
	2-vipu	225,9	70,0	Kärkiohjaus	1,000
Puomin kulkema matka, ka (m)	Kärkiohjaus	205,1	29,4	4-vipu	0,774
	4-vipu	241,3	100,5	2-vipu	0,888
	2-vipu	00:20	00:23	Kärkiohjaus	0,011
Ohjaus liikerataa vasten (min)	Kärkiohjaus	00:05	00:02	4-vipu	0,001
	4-vipu	03:10	03:20	2-vipu	0,001
	2-vipu	8,0	5,6	Kärkiohjaus	0,001
5+ Yhdenaikaiset liikkeet (% työajasta)	Kärkiohjaus	37,4	9,2	4-vipu	0,004
	4-vipu	20,3	19,9	2-vipu	0,040
	2-vipu	2,2	2,6	Kärkiohjaus	0,296
Väärin lastatut pölkyt (lkm)	Kärkiohjaus	1,4	2,1	4-vipu	0,808
	4-vipu	1,6	2,6	2-vipu	0,355



Tulosten tarkastelu

- Tulokset olivat yhdenmukaisia Mannerin ym. (2017) tutkimukseen nähden, jossa kärkiohjausta oli verrattu sähköiseen kaksivipuhjaukseen. Tässä tutkimuksessa kärki- ja kaksivipuhjauksen tuottavuuseroksi saatiin 24,4 %, mikä on hieman pienempi kuin aiempi tulos, jossa kaksivipuinen sähköesiohjaus oli 26,4 % hitaampi.
- Oppimisen kehittymisen havaittiin olevan suurin nelivipuisella ohjaustavalla, jossa tulos parani tutkimuksen aikana 90,5 %, kun vastaava luku oli kaksivipuhjaimella 0 % ja kärkiohjauksella -9,6 %. Nelivipuhjaus on ohjaustapana haastava, joten lähtötaso muodostuu opiskelijoilla matalaksi ja näin ollen siinä pääsee jo pienellä kehitymisellä huomattavaan tasonnostoon.
- Tutkimus ei pystynyt yksilöimään tarkasti tulosten heikentymiseen viimeisellä testikerralla kaikilla ohjaustavoilla johtavia syitä. Tuloksiin vaikutti todennäköisesti oppimisen siirtovaikutus: opiskelijat olivat siirtyneet harjoittelemaan toisen ja kolmannen testin välissä paljon oikeilla kuormaimilla ja paluu simulaattorille edellytti taas totuttelua simulaattoriin.
- Tutkimus osoitti, että kärkiohjauksen käytön hyvä perustaso on suhteellisen helposti saavutettavissa ja tästä parantaminen vaatii paljon harjoittelua.



Johtopäätökset

- Tutkimus antoi selvän viitteen ohjaustapojen eroista tuottavuudessa ja oppilaiden oppimiskyvyssä. Tutkimuksen päätulos oli, että aloittelevat kuljettajat saavat merkittävää hyötyä kärkeohjauksesta.
 - Lisäksi myös kaksivipuisen ohjaustavan havaittiin olevan tuottavuudella mitattuna parempi kuin nelivipuinen ohjaustapa.
- Tutkimus antoi selvän viitteen myös, että puutavarakuormaimissa olisi kannattavaa siirtyä sähköisesti esiohjattuihin kuormaimiin. Keskeisenä etuna on siten myös kärkeohjauksen mahdollistuminen ohjaustapana.
- Tutkimus osoitti, että kolmen kuukauden seurantajakson aikana ei koulutuksella saatu kärkeohjauksen tuottavuustasoa kiinni kaksi- tai nelivipuisilla ohjaustavoilla.
- Jos puutavara-autojen kuormaimissa siirryttäisiin kärkeohjaukseen tai mahdollisesti sähköiseen kaksivipuohjaukseen, koulutusaika kuormaimen käyttämiseen olisi huomattavasti lyhyempi kuin perinteisillä mekaanisilla ohjaustavoilla.
- Tämä tukee ajatusta tehostaa uusien kuljettajien koulutusta ja turvata puunhuoltoketjun työvoiman parempi saatavuus tulevaisuudessa.



Jatkotutkimusaiheet

- Jatkotutkimusaiheena kärkeohjaus ja muut ohjaustavat tarvitsevat ergonomista tutkimusta.
 - Kärkeohjaus edisti selvästi oppilaiden suoriutumista ja oli näin kognitiivisessa ergonomiassa parempi kuin muut ohjaintavat.
 - Nelivipuhjauksen fyysistä kuormitusta tulisi tarkastella tärinä ja ergonomisilla mittauksilla.
- Kärkeohjauksella työskentelyä tulisi tarkastella aidossa puutavaran kaukokuljetuksen toimintaympäristössä ammattikuljettajilla.
- Myös kärkeohjauksen tarjoamaa muuta potentiaalia tulisi tarkastella, voiko ohjausta kehittää vieläkin nykyistä paremmaksi?
 - Kärkeohjaus mahdollistaa mm. puoliautomaation kehittämisen kuormaimiin.



Kirjallisuutta

- Kallioniemi, M., Kaseva, J., Peltola, A., Anttila, A. & Katajamäki, E. 2020. Työhyvinvointi puuhuoltoketjussa. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus numero 99/2020 88 s. Luonnonvarakeskus 2020. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-380-117-2>
- Lamminen, H. 2017. Puutavaran kuljetus ja tulevaisuuden osaamistarpeet. 29 s. Saatavissa: <https://www.virrat.fi/client/virrat/userfiles/2-puutavaran-kuljetus-ja-tulevaisuuden-osaamistarpeet-mky-hannu-lamminen.pdf>
- Ikäheimo, M. 2022. Puutavara-auton kuormaimen ohjaustapojen vaikutus kuormauksen oppimisnopeuteen. Maisterin tutkielma, Itä-Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto. 51 s. Saatavissa: <https://erepo.uef.fi/handle/123456789/28057>
- Manner, J., Gelin O., Mörk A. & Englund M. 2017. Forwarder crane's boom tip control system and beginner-level operators. Silva Fennica vol. 51 no. 2 article id 1717. 10 s. <https://doi.org/10.14214/sf.1717>
- Manner, J., Mörk A. & Englund M. 2019. Comparing forwarder boom-control systems based on an automatically recorded follow-up dataset. Silva Fennica vol. 53 no. 2 article id 10161. 15 s. <https://doi.org/10.14214/sf.10161>
- Metsätrens, 2020, nro 1.
- Mettin, U. & La Hera, P. 2005. Modelling and Control Design for a Hydraulic Forestry Crane. Department of Applied Physics and Electronics Umeå University, SE-90187 Umeå, Sweden. 37 s. Saatavissa: <https://www.semanticscholar.org/paper/Modelling-and-Control-Design-for-a-Hydraulic-Mettin-Hera/7598fd9909011d8a5ea5d89ba801d97b5214ee4d>
- Strandström, M. 2022. Puunkorjuu ja kaukokuljetus 2021. Metsätehon tulosalvosarja 5/2022. Saatavissa: <https://www.metsateho.fi/puunkorjuu-ja-kaukokuljetus-vuonna-2021/>
- Venäläinen, P. (toim.). 2016. Autokuljetusopas. Metsäteho Oy. Saatavissa: <https://puuhuolto.fi/autokuljetusopas/>

