



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Toivo Lepola

Tuotekehityssuunnitelma puutavarakuormaimen ohjaus- tavan muuttamiseksi kärkeohjausta hyödyntäväksi

Opinnäytetyö

Kevät 2023

Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

Opinnäytetyön tiivistelmä

Tutkinto-ohjelma: Insinööri (AMK), Automaatiotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Koneautomaatio

Tekijä: Toivo Lepola

Työn nimi: Tuotekehityssuunnitelma puutavarakuormaimen ohjaustavan muuttamiseksi kärkehjausta hyödyntäväksi

Ohjaaja: Jyri Lehto

Vuosi: 2023

Sivumäärä: 52

Liitteiden lukumäärä: 0

Isoimmilla metsäkonevalmistajilla on tuotepertuaarissaan nk. kärkehjausta hyödyntäviä puutavarakuormaimia. Kärkehjauksessa kuljettaja ohjaa kuormainpuomin sylinteriliikkeiden sijaan kuormainpuomin kärjen sijaintia. Perinteisen ohjaustavan vaihtaminen kärkehjaukseen tuo tutkimustiedon ja käyttäjäkokemusten perusteella paljon etuja. Prosessi ohjaustavan vaihtamiseksi ei kuitenkaan ole aivan yksinkertainen, sillä kärkehjaukseen vaihdettaessa huomioitavia asioita on erittäin paljon.

Tässä opinnäytetyössä perehdytään puutavarakuormaimen kärkehjaukseen jo olemassa olevien kirjallisten materiaalien kautta ja luodaan tuotekehityssuunnitelma kärkehjaustavan käyttöön ottamiseksi. Työn tilaajana toimii metsäkonevalmistaja Logset.

Opinnäytetyön aikana kävi selväksi, että kärkehjaukseen vaihtamisesta olisi selkeitä hyötyjä. Kärkehjauksen vaatimat algoritmit ovat kuitenkin varsin monimutkaiset, eikä vajaan toiminnallisuuden versiolle ole enää sijaa markkinoilla. Lisäselvityksiä tarvitaan vielä mm. hydrauliiikan optimoinnin ja patenttiasioden kanssa. Puutavarakuormaimen kärkehjaus on iso kokonaisuus ja sen kehittäminen auttaa Logsetin kilpailukykyä pysymään korkealla tasolla myös tulevaisuudessa.

¹ Asiasanat: puutavarakuormain, kärkehjaus, metsäala, tuotekehitys, suunnitelma

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Degree programme: Automation Engineering

Specialisation: Machine automation

Author: Toivo Lepola

Title of thesis: Research and development plan for utilizing tip control principles in timber crane control

Supervisor: Jyri Lehto

Year: 2023

Number of pages: 52

Number of appendices: 0

The largest forest machine manufacturers offer tip-controlled timber cranes for their machines. In tip-control, the operator controls the tip of the boom instead of individual cylinder movements. As evidenced by research data studied during the thesis, using tip-control provides several advantages compared to a traditional crane control principle. Changing the crane control principle is demanding, as there are several factors to consider.

The thesis included evaluation of information about existing tip-control systems, and a research and development plan for utilizing tip-control principle in timber crane control. The thesis was made in cooperation with Logset, a forest machine manufacturer located in Mustasaari, Finland.

While switching to tip-control would bring significant benefits, it would also be a major change and require complicated algorithms to be developed. More research is needed as well, for example on related patents and on optimizing the hydraulic system further. The market situation does not allow the release of a semi-functional tip-control system anymore, so the full feature must be ready upon the introduction to the market. This lengthens the development time before concrete results can be shown, but a tip-control feature would help Logset stay highly competitive in the future.

¹ Keywords: timber crane, tip control, forestry, research and development, plan

SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä	1
Thesis abstract	2
SISÄLTÖ	3
Kuva- ja kuvioluettelo.....	5
Käytetyt termit ja lyhenteet.....	6
1 JOHDANTO	8
1.1 Historiaa	9
1.2 Logset	11
1.3 Nykytilanne.....	13
2 ANTUROINTITAPOJA.....	15
2.1 Kulma-anturit.....	15
2.2 Sylinterianturit.....	15
2.3 Vetovaijerianturi.....	16
2.4 Kiihtyvyys- ja kallistusanturit.....	17
2.5 Liebherr LiView.....	17
2.6 Kameraan tai 3D-skanneriin perustuva asennontunnistus	18
3 OLEMASSA OLEVIA RATKAISUJA.....	19
3.1 John Deere IBC.....	19
3.2 Ponsse Active Crane.....	19
3.3 Komatsu Smart Crane	19
3.4 Technion xCrane	20
3.5 Hiab CTC	20
4 TUTKIMUSTIETOA	21
5 LÄHTÖKOHDAT OHJAUSTAVAN MUUTTAMISEEN	25
5.1 Kilpailutilanne ja markkinat.....	25
5.2 Geometria	26
5.3 Puutavarakuormaimen normaali käyttö	29
5.4 Tekniset lähtökohdat	32

6 TUOTEKEHITYSSUUNNITELMA	37
6.1 Projektin perustelut.....	37
6.2 Visio	38
6.3 Prototyypit	40
6.4 Tutkimuskohteet.....	40
7 POHDINTAA	44
8 PÄÄTÖSSANAT	46
LÄHTEET	48

Kuva- ja kuvioluettelo

Kuva 1. Logset 5F -kuormatraktori purkamassa kuormaa.	8
Kuva 2. Logset 506H -harvesterimalli oli tuotannossa 1994–2001.	12
Kuva 3. Liebherr LiView.	18
Kuva 4. Logset 10F kantamassa kahta puutavaranippua.	22
Kuvio 1. Sylinterinsisäinen vetovaijerianturi.	16
Kuvio 2. Mesera 83FT100i -taittopuominosturi.	26
Kuvio 3. Mesera 240H103i -liikeratanosturi.	26
Kuvio 4. Mesera 122FT100i -taittopuominosturin ulottumakaavio täydennettynä nostokykyinformaatiolla.....	28
Kuvio 5. Kuvassa korostettuina kuormatraktorin kuormatila ja työsektori.	31

Käytetyt termit ja lyhenteet

Avohakkuu	Avohakkuussa leimikolta kaadetaan kaikki tai lähes kaikki puut.
CAN-väylä	Sarjaliikenteinen tiedonsiirtoväylä, jota käytetään erityisesti työko-neissa ja ajoneuvoissa ohjausjärjestelmän eri komponenttien väli-seen tiedonvaihtoon.
Hakkuupää	Harvesterin työlaite. Suorittaa puutavaran prosessoinnin, johon kuuluu puiden kaataminen, oksien karsiminen, puun mittaaminen, sekä sen katkominen sopiviksi tavaralajeiksi.
Harvennushakkuu	Harvennuksessa leimikolta kaadetaan vain osa puista. Tällöin jäl-jelle jäävälle puustolle jää käytettäväksi enemmän valoa ja ravin-teita ja sen kasvu tehostuu.
Harvesteri	Metsäkone, jonka tehtävänä on kaataa puut.
Karteesinen koordinaatisto	Karteesinen eli suorakulmainen koordinaatisto kuvaa avaruuden pisteiden sijaintia kunkin koordinaattiakselin suuntaisilla etäisyyk-sillä origosta.
Koordinaatisto	Koordinaatistoja käytetään kuvaamaan käsiteltävän työalueen pisteiden sijaintia toisiinsa tai maailmaan nähden. Kolmiulottei- sessa koordinaatistossa on kolme toisensa kohtisuoraan leikkaa- vaa koordinaattiakselia. Akselien leikkauskohtaa, eli koordinaatis- ton nollapistettä, kutsutaan origoksi.
Koordinaatti	Pisteen sijaintia koordinaatistossa kuvataan antamalla pisteelle käytettävän koordinaatiston mukaiset koordinaatit.
Kuormatraktori	Metsäkone, jonka tehtävänä on kantaa puukappaleet metsästä tien varteen.
Leimikko	Nimitys sille metsänosalle, jossa puunkorjuuta suoritetaan.

Napakoordinaatisto	Napakoordinaatisto kuvaa avaruuden pisteiden sijaintia käyttäen apunaan pisteen etäisyyttä origosta sekä kulmia origosta pisteeseen vedettävän kuvitteellisen apujan ja koordinaattiakselien välillä.
Pääte-efektori	Robotiikassa käytetty yleistermi robottivarren päässä oleville työkaluille ja laitteille.
Sylinterikoordinaatisto	Sylinterikoordinaatistossa avaruuden pisteiden sijaintia kuvataan vaakatasossa napakoordinaattien avulla ja pystytasossa karteesisen koordinaatin avulla.
Tavaralaji	Nimitys tiettyyn tavoitemittaan katkotuille puukappaleille. Metsäyhtiöt määrittelevät, millaisia tavaralajeja leimikolta tuotetaan.
Tekopökkö	Tarkoituksella erittäin korkeaksi jätetty kanto, jolla voidaan paikata muuten vähäistä kelopuiden määrää. Tekopökkö on yleensä noin 2–5 metriä korkea ja tehty lehtipuusta.
Tuulenkaato	Puu, joka on kaatunut itsekseen kovan tuulenpuuskan seurauksena. Tuuli taivuttaa puuta, ja joskus taipumisen seurauksena puun juuret nousevat ylös maasta, jolloin puu kaatuu. Puu saattaa myös murtua taipuessaan.

1 JOHDANTO

Kuormatraktori on metsäkone, joka on suunniteltu kaadettujen ja tukeiksi katkottujen puiden kuljettamiseen pois metsästä. Oleellinen osa kuljetusprosessia on tukkikuorman lastaaminen ja purkaminen, joka tapahtuu kuormatraktoriin asennetun puutavarakuormaimen avulla. Kuljettaja käyttää istuimen käsinojiin kiinnitettyjä ohjainsauvoja ohjatakseen puutavarakuormainta metsäkoneen ohjaamosta käsin.



Kuva 1. Logset 5F -kuormatraktori purkamassa kuormaa (Logset, i.a.-a).

Perinteisessä ohjausmenetelmässä ohjainsauvojen liikkeet vaikuttavat suoraan hydrauliventtiileihin, jotka ohjaavat öljyn puutavarakuormaimen sylintereihin saaden siten kuormaimen eri osat liikkumaan. Alun perin nuo ohjainsauvat ovat olleet suoraan kiinni venttiileissä tai venttiilien ohjaus on voitu tehdä ohjainsauvojen säätämällä hydraulisen esiohjauksen kautta. Tällä hetkellä on kuitenkin varsin yleistä, että ohjainsauvat ovat sähköisesti tai jonkin väylätekniikan välityksellä kiinni sulautetussa ohjausjärjestelmässä, joka sitten puolestaan ohjaa puutavarakuormaimen venttiileitä. Ohjainsauvojen liikkeet ovat kuitenkin yhä tässäkin mallissa kytkettynä suoraan yksittäisten sylinterien liikkeisiin.

Viime vuosina on perinteistä ohjaustapaa haastamaan noussut yleisesti kärkehjäksi kutsuttu menetelmä, jossa ohjainsauvoilla käskytetäänkin yksittäisten sylinteriliikkeiden sijasta kuormaimen kärkeä liikkumaan eri suuntiin. Tämä asettaa sulautetun ohjausjärjestelmän huomattavasti haastavamman tehtävän eteen kuin perinteinen

venttiilinohjaus. Aiemmassa tavassa eri sylinteriliikkeiden suhteiden täsmäämisestä sopivaksi liikeradaksi on huolehtinut kuljettaja. Kuljettajan taidoista ja kokemuksesta riippuen tämä on saattanut vaatia paljonkin miettimistä, vaikka kaikkein ammattitaitoisimmilla se on voinut tulla hyvinkin pitkälti alitajunnasta. Uudessa kärkiohjausmallissa kuljettaja kuitenkin kertoo koneelle suoraan, mihin suuntaan hän haluaa kuormaimen kärjen liikkuvan, ja tuon halutun liikkeen osien jakamisesta kuormaimen eri liikkeille huolehtii ohjausjärjestelmä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on luoda tuotekehityssuunnitelma kärkiohjaustavan ottamiseksi käyttöön Logsetin kuormatraktoreissa. Suunnitelmalle saadaan hyvää pohjaa siitä, millaisia ratkaisuja maailmalla on jo käytössä samantyyppisille kuormaimille kuin mitä Logsetin kuormatraktoreissa käytetään. Järjestelmään kohdistuvien vaatimusten määrittelemistä varten työssä perehdytään suunnitelman laatimisen lisäksi aiheesta kirjoitettuihin julkaisuihin, opinnäytetöihin ja tutkimuksiin.

1.1 Historiaa

Vielä 1900-luvun alussa metsätyöt tehtiin pitkälti käsipelillä ja hevosvetoisesti (Konttinen & Drushka, 1997, s. 22–23). Työolot olivat usein rankat, ruoka kehnoa, eikä palkkakaan ollut kovin korkea. Puita kaadettiin pääasiassa talvisaikaan. Suomessa tukit kiskottiin reessä pääasiassa vesistöjen rannoille odottamaan kesäistä uittoa sahalaitoksiin. Pikkuhiljaa testailtiin erilaisia moottorirekiä, jopa telaketjuin varustettua höyryveturia kokeiltiin (mts. 23–24).

Höyryveturikokeiluun mallia ja tarvikkeet haettiin Yhdysvalloista (Konttinen & Drushka, 1997, s. 23–24, 49). Pohjois-Amerikassa oltiin koneellistamisessa muutenkin selkeästi pidemmällä kuin Euroopassa. Höyrykäyttöisiä vinssejä käytettiin hinaamaan tukit metsästä rautatien oheen rakennettujen kapearaiteisten sivupistojen ääreen (mts. 46–48). Tukit lastattiin höyrykäyttöisten kuormaajien avulla. Höyrykoneita alettiin pikkuhiljaa korvata jo polttomoottorein, hevosia telatraktorein, ja metsiin alettiin rakentaa kuorma-autoille lautapäällysteisiä ajoteitä (mts. 50–52).

Myös moottorisahoja alettiin kehittää vähän joka puolella (Konttinen & Drushka, 1997, s. 24–27, 53–54). 1930-luvulla moottorisahat alkoivat yleistyä metsissä niin Euroopassa kuin Pohjois-Amerikassakin. Moottorisahatkin olivat aluksi kookkaita ja painavia, kahden tai useamman käyttäjän käsiteltäviksi suunniteltuja. Tekniikan kehittyessä voitiin kuitenkin siirtyä yhden hengen sahoihin, ja työstä tuli muutenkin merkittävästi aiempaa tuottavampaa.

Sota-ajat muuttivat tilannetta merkittävästi Suomessa, kun ensin tarvittiin paljon puuta linnoitustoimiin, sitten miehiä rintamalle ja lopulta väkeä virtasi tehtaisiin ja jälleenrakennustoimiin (Konttinen & Drushka, 1997, s. 26–27). Myös palkkavaatimukset alkoivat nousta, minkä kompensoimiseksi jouduttiin työn tuottavuutta kasvattamaan konevoimin. Tehtiin erilaisia kokeita ja laskelmia, joiden avulla haettiin optimaalisinta menetelmää ja kalustoa puunajoon. Ruotsi puolestaan oli koneellistumisessa paljon Suomea pidemmällä (mts. 26–29). Puunajossa käytettiin yleisesti traktoreita, kun Suomessa kuormia vetivät vielä hevoset. Ruotsissa oli kautta historian tehty myös paljon erilaisia tutkimuksia metsien käytöstä ja työmenetelmistä.

Puunajon ja sahojen koneellistumisen jälkeenkin oli puiden kuormaus vielä monin paikoin käsityötä. Joitakin erillisiä kuormainlaitteita tai nostureita oli käytössä erityisesti Pohjois-Amerikassa rautateiden äärellä, missä niiden liikuttelu oli mahdollista (Konttinen & Drushka, 1997, s. 48, 52). Maataloustraktorien ja kuorma-autojen yleistyessä alalla niihin alettiin kiinnittää kuormausta helpottamaan erilaisia kuormauspuomeja, joita saatettiin käyttää käsivoimin tai vinssin avulla (mts. 65, 67).

1950-luvulla alkoi metsäalalla hydraulisten puutavarakuormainten vallankumous (Konttinen & Drushka, 1997, s. 91, 100–101). Tämän myötä puiden kuormaaminenkin onnistui yhden henkilön voimin. Hydrauliset puutavarakuormaimet myös mahdollistivat siirtymän maataloustraktoreista erityisiin, nimenomaan metsäkäyttöön tarkoitettuihin koneisiin. Alussa traktori ja perävaunu sulautuivat yhdeksi laitteeksi, jossa oli runko-ohjaus, ja lopulta laitteiden ulkomuodosta alkoivat hävitä maataloustraktorin piirteet (mts. 120–125).

Hydraulikuormain mahdollisti myös harvesterien rakentamisen (Konttinen & Drushka, 1997, s. 121–125). Nosturin kouraan liitettiin giljotiineja ja myöhemmin ketjusahoja, jotka kaatoivat puun. Prosessointia eli karsintaa ja katkontaa suorittamaan luotiin aluksi oma

koneensa, mutta myöhemmin nämä toiminnot yhdistyivät samaan tuotteeseen ja syntyi nykyisenkaltainen hakkuupää. Myös puun kuorintaa kokeiltiin tehdä jo metsissä, mutta sen työvaiheen todettiin soveltuvan huomattavasti paremmin teollisten sahalaitosten yhteyteen.

Nykyaikaisessa tavaralajimenetelmän korjuuketjussa on kärjessä hakkuupäällä varustettu harvesteri, jonka kaatamat ja katkomat puut kuormatraktori ajaa tieuran varteen. Pidemmällä juontomatkoilla ja tehokkaan harvesterikuljettajan takana voi olla kaksikin kuormatraktoria yhtä harvesteria kohti.

1.2 Logset

Logset valmistaa metsäkoneita Koivulahdessa, joka kuuluu Mustasaaren kuntaan (Logset, i.a.-c). Logsetin huoltopalveluilla on oma keskustoimipisteensä Vaasassa. Logsetin tuotevalikoimaan kuuluu useita erikokoisia kuormatraktoreita, harvestereita ja hakkuupäitä (Logset, i.a.-d). Erikoisuutena Logsetilla on hybriditeknologia: kaksi harvesterimalleista on varustettu tehoa ja tuottavuutta sekä energiatehokkuutta parantavilla hybridijärjestelmillä. Osa hakkuupäämalleista on puolestaan suunnattu eukalyptuspuille, joiden erityisluontoinen kuori pitää poistaa tuoreena, sillä muuten se jämähtää puuhun tiukasti kiinni.

Logset perustettiin 1992 jatkamaan konkurssiin menneen Norcarin metsäkoneiden varaosamyyntiä (Logset, i.a.-b, s. 3–9). Toimintaa laajennettiin hankkimalla konkurssipesältä pala palalta jäljellä olleet vaihtokoneet, tuoteoikeudet sekä tuotantotilat. Ennen pitkää mukaan astui myös omaan tuotekehitykseen panostaminen.

Uustuotekehitys alkoi oman hakkuupään suunnittelemisella (Logset, i.a.-b, s. 9). Norcar oli aikanaan käyttänyt harvestereissaan Ponssen nostureita ja hakkuupäitä, sillä Ponsse oli ollut osa samaa konsernia (mts. 4–5, 8–9). Konkurssin lähestyessä oli Ponssen perustaja Einari Vidgren kuitenkin ostanut Ponssen takaisin itselleen, eikä Ponssen tekniikan käyttäminen ollut Logsetille enää mahdollista. Nosturin Logset löysi silloiselta Logliftilta, ja hakkuupäätä ohjaamaan harvesteri sai pätevän mittalaitteen silloisen Mitronin Motomit-mittausjärjestelmästä. Itse hakkuupää kuitenkin puuttui, eikä markkinoilta löytynyt miellyttävää valmista ratkaisua, joten Logset päätyi suunnittelemaan sellaisen itse.



Kuva 2. Logset 506H -harvesterimalli oli tuotannossa 1994–2001 (Lepola, i.a.).

Kuormatraktorien osalta Norcarin käyttämän pyörämoottoriratkaisun markkinapotentiaali ei ollut enää riittävä, ja kysynnän kohdistuessa yhä isompaan kalustoon alkoi myös voimantarve kasvaa (Logset, i.a.-b, s. 19–20). Etsiessään kokemusta ja kumppaneita voimansiirron uudistamiseksi Logset löysi uunituoreen tulokkaan Fomac Internationalin, jonka kehittämä kuormatraktori oli suora vastaus Logsetin tarpeisiin. Fomacin kuormatraktori otettiin pienin muutoksin mukaan Logsetin valikoimaan, ja Fomacista itsestään muodostui Logsetille prototyyppiverstas (mts. 20, 28). Logsetin kuormatraktorivalikoimaa laajennettiin tiiviissä yhteistyössä Fomacin kehittäessä ja rakentaessa ensimmäiset kappaleet ja Logsetin ottaessa valmistusvastuun konemallin mennessä sarjatuotantoon.

Kuormatraktorivalikoiman tultua kuntoon oli harvesteripuolella kuitenkin jo tilausta uusille malleille (Logset, i.a.-b, s. 28). Logsetin ja Fomacin yhteistyöstä syntyi kuitenkin pätevä vastaus myös harvesterikysymykseen. Vuoden 2000 Metko-messuilla esitelty Logset Titan -harvesteri oli merkittävä käännekohta, josta uutisoitiin laajalti (mts. 20–21, 28–29). Koneen ulkonäkö oli hiottu kohdilleen teollisen muotoilijan kanssa, ja siinä oli CAN-bus -väyläohjaus. Uuden harvesterin julkaisun jälkeen Logset ja Fomac päättivät fuusioitua, ja Fomacin perustajat tulivat mukaan Logsetin osakkaiksi sekä keskeisiin rooleihin Logsetin toimintaan (mts. 50).

CAN-ohjatusta harvesterista saatujen kokemusten jälkeen Logset otti vielä yhden merkittävän harppauksen eteenpäin, kun koneisiin lanseerattiin Logsetin itsekehittämä

ohjausjärjestelmä TOC eli "Total Operation Control". Myöhemmin TOCiin lisättiin vielä mittalaitetoiminnot, minkä jälkeen sama ohjausjärjestelmä kykeni hoitamaan kaikkien tuotevalikoimaan kuuluvien laitteiden ohjaukset. Ohjausjärjestelmästä on parhaillaan käytössä toinen sukupolvi, johon päivitysten myötä tulee lisää ominaisuuksia tukemaan niin alati muuttuvia tiedonsiirtoyhteyksien asettamia vaatimuksia kuin koneiden uusia toiminnallisuuksia-kin.

Oma tuotekehitys ja laaja tietotaito ovat varmistaneet Logsetin aseman markkinoilla (Logset, i.a.-b). 2000-luvun lopun lama aiheutti suuria haasteita yritykselle, mutta ei kaatanut sitä. Avainasemassa lamasta selviämiseen olivat hyvät tuotteet ja sitoutunut, osaava henkilöstö sekä uskollinen asiakaskunta. Samat tekijät ovat mahdollistaneet Logsetin vahvan aseman säilymisen myös 2020-luvun alun koettelemuksien keskellä, kun pandemia ja Euroopassa syttynyt sota vaikuttavat talouteen yhtä aikaa (Logset, 2023). 30 vuotta täyttäneellä Logsetilla on maailmantilanteesta huolimatta vankka tilauskanta, töissä eri tehtävissä noin sata henkilöä, laaja jälleenmyyjäverkosto maailmalla sekä loistava tuoteperhe.

1.3 Nykytilanne

Teknologian kehityksen myötä on parantunut myös kuljettajaergonomia. Hyteistä on ajan mittaan tullut aina vain mukavampia, tilavampia ja hiljaisempia. Koneisiin on tullut järjestelmiä, jotka pitävät hytit vaakatasossa, sekä erilaisia jousituksia. Työympäristön parannuksien myötä kuljettajantyötä voi lähestulkoon verrata toimistotyöhön.

Työolojen parantumisesta huolimatta paljon on vielä tehtävää jäljellä. Metsäkoneen kuljettajan työhön kuuluu todella paljon erilaisia päätöksiä, kuten minkä puun kaataa, mihin suuntaan ja miten se katkotaan. Näiden lisäksi kuljettajan tulee vielä ajaa konetta metsän keskellä koittaen samalla välttää vaurioittamasta puita tai metsänpohjaa ja aiheuttamasta muitakaan sen suurempia tuhoja. Tämä kaikki rasittaa kuljettajaa ja sitä myötä edesauttaa väsymystilan syntymistä työvuoron edetessä.

Suurena osana metsäkoneen kuljettamista on puutavarakuormaimen ohjaaminen. Kuormainta ohjatakseen kuljettaja käyttää ohjainsauvoja, joilla hän hallitsee kuormaimen eri liikkeitä. Kuormaimen taitava hallinta on tärkeää, sillä pitkällä puomilla ja painavalla

taakalla on helppo aiheuttaa vaurioita niin puustolle kuin itse metsäkoneellekin. Lisäksi turhat liikkeet ovat usein pois työn tuottavuudesta ja nostavat koneen polttoaineenkulutusta.

Taitavaksi puutavarakuormaimen käyttäjäksi oppiminen vaatii paitsi harjoitusta niin myös kykyä muuntaa ajatuksensa kuormaimen liikkeiksi. Haastavaa on antaa jokaiselle yksittäiselle sylinteriliikkeelle sopiva ohjauskäsky, jotta näiden yhdistelmänä toteutuva taakan lopullinen liikerata vastaisi kuljettajan ajatusta siitä, mihin suuntaan taakan olisi hyvä liikkua. Vielä sen jälkeenkin on oma haasteensa saada liikkeiden suhteet optimoitua polttoainetaloudellisesti.

Laitteen käytön haastavuuden ohella on kuormaimen kehittämiselle myös tietoteknisiä perusteita. Jo tänä päivänä metsäkoneen tiedonsiirrossa käytettäviin tiedostoihin kirjataan koordinaatteja, jotka yksilöivät puunrungon paikan metsässä. Nämä koordinaatit ovat kehittymässä yhä tarkempaan suuntaan, jolloin pitää selvittää myös kouran tai hakkuupään sijainti. Tämä sama kuormaimen kärjen sijaintitieto on avainasemassa myös kärkeohjauksen kannalta, joten kehitystyön hyödyt eivät rajoitu pelkästään helpompaan ohjaustapaan.

Aiemmassa mallissa on ohjainsauvojen liikkeet voitu viedä hyvin suoraviivaisesti läpi ohjausjärjestelmän suoraan puutavarakuormaimen venttiileitä ohjaamaan. Kärkeohjauksessa pitää ohjainsauvojen liikkeistä ensin tulkita kuljettajan järjestelmälle asettama tavoite ja sen perusteella päättää, paljonko mitäkin hydrauliventtiiliä tulee ohjata. Tätä varten ohjausjärjestelmä tarvitsee tietoa järjestelmän tilasta ja puutavarakuormaimen asennosta, ja tietoa saadaan erilaisilta antureilta. Anturidata ja ohjainsauvojen liikkeet vietään ohjausjärjestelmässä algoritmiin, joka päättää parhaan tavan liikuttaa puutavarakuormainta.

2 ANTUROINTITAPOJA

Puutavarakuormaimen ohjauksen muuttaminen aktiiviseksi vaatii anturointia, jotta ohjausjärjestelmä voisi tietää kuormaimen asennon ja muuttaa toimintaansa sen perusteella. On paljon erilaisia tapoja mitata ja havainnoida kuormaimen eri osien asentoja toisiinsa nähden. Tässä luvussa esitellään niistä muutama.

2.1 Kulma-anturit

Kulma-anturit mittaavat kiertoliikettä eli akselinsa ja runkonsa välistä kulmaa (Airila, 1999; Ifm, i.a.-d). Osa kulma-antureista on ns. absoluuttisia, eli ne osaavat kertoa tarkan kulman aina ilman erillistä vertailukohtaa. Tällaisilla antureilla on kuitenkin yleensä rajallinen käyttöalue, mallista riippuen vajaasta kierroksesta useisiin kierrokseen. Osa antureista puolestaan toimii inkrementtiperiaatteella, eli anturi kertoo pulssidatalla kulman muuttuvan, ja anturia seuraavan järjestelmän pitää laskea kulman muutos anturin antamista pulsseista. Tarkan kulman tietämiseksi pitää järjestelmän olla seurannut kulman muutosta jostain tunnetusta asemasta asti. Osassa antureista tällainen kotitieto on sisäänrakennettuna.

2.2 Sylinterianturit

Yksi mahdollinen tapa nosturin anturointiin on rakentaa anturit hydraulisylinterien sisälle (AMETEK, i.a.). Sylinterin mäntään ja varteen on tehty reikä, jonka sisälle tulee anturisauva. Anturisauva on kiinni sylinteriputken pohjassa. Sauva aistii, missä kohdassa sylinteriä magneetein varustettu mäntä on menossa. Tämäntyyppisiä antureita nimitetään magnetostriktiivisiksi antureiksi, ja niiden toiminta perustuu Wiedemann-ilmiöön (Airila, 1999; AMETEK, i.a.).

On myös saatavilla ulkoisesti asennettavia vastaavan toimintaperiaatteen antureita (AMETEK, i.a.). Näillä on oma, sylinterintapainen suojakuorensa, ja ne kiinnitetään varsinaisen sylinterin rinnalle. Tällöin itse sylinterin rakenteeseen ei tarvita muutoksia, mutta liike voidaan silti mitata.

2.3 Vetovaijerianturi

Vetovaijerianturi on lineaarisen etäisyyden mittaamiseen käytetty anturityyppi (Collins, 2019). Vetovaijerianturissa on nimensä mukaisesti vaijeri, jota liikkuva koneen osa vetää perässään ulos kelalta. Vetovaijerianturien etuna on mahdollisuus mitata erittäin pitkiä lineaariliikkeitä (jopa kilometriluokassa). Toinen suuri etu on yksinkertainen asennus, sillä anturi voidaan sijoitella vapaasti sinne, missä on tilaa, kunhan vaijeri saadaan liikkumaan ulos kelalta suoraan verrannollisesti itse mitattavaan liikkeeseen nähden. Vaijeri voidaan ohjata rissapyörien kautta, jolloin vaijerikelan ei tarvitse olla suoraan mitattavan liikkeen liikeradalla. Ohut vetovaijeri on kuitenkin mekaanisesti kuluva osa, joten se ei ole välttämättä paras vaihtoehto tiuhaan toistuviin liikkeisiin.

Vetovaijerianturia voidaan käyttää myös pinnantason mittaamiseen (Bindicator, i.a.). Tällaisessa käytössä vetovaijerista roikkuu paino, joka vetää vaijeria ulos kelalta. Paino pysyy siilossa olevan kuivamateriaalin pinnalla ja näin vetovaijerianturista voidaan lukea materiaalin pinnantaso.

Vetovaijeriantureita on saatavilla myös sylinterin sisäiseen asennukseen (SIKO, i.a.). Nämä – tavallisista sylinteriantureista poiketen – eivät vaadi männän varren poraamista ontoksi. Anturi soveltuu myös käytettäväksi teleskooppisissa sylintereissä, jollaisia käytetään esimerkiksi kuorma-auton lavojen kippisylintereinä. Teleskooppisylinteri koostuu useista toistensa sisään painuvista sylinteriputkista (Fonselius, 1999, s.79). Tällä rakenteella saadaan aikaan täyteen iskunpituuteensa nähden hyvin kompakti sylinteri.



Kuvio 1. Sylinterinsisäinen vetovaijerianturi (SIKO, i.a.).

2.4 Kiihtyvyys- ja kallistusanturit

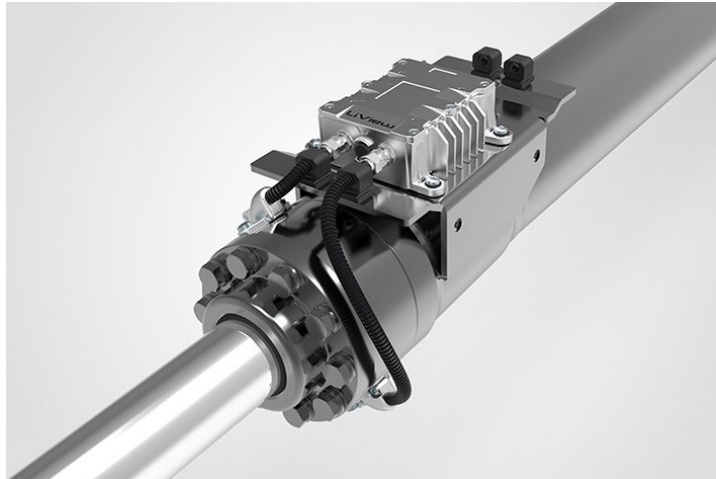
Kallistusanturit mittaavat asentoaan maailmaan verrattuna (Ifm, i.a.-b, i.a.-c). Tällaisille antureille on monia eri käyttötarkoituksia, kuten esimerkiksi laitteiden osien pitäminen aktiivisesti vaakatasossa, vakaana pidettävän laitteen stabiiliuden valvonta turvaominaisuutena tai laitteen osien asennon mittaaminen (Ifm. i.a.-a). Käyttötarkoituksesta riippuen voidaan käyttää 1-, 2- tai 3-akselisia antureita.

Mikäli käyttötarkoitukseen liittyy liikettä tai värinää, pitää anturin olla kiihtyvyyskompensoitu (Ifm. i.a.-a, i.a.-b). Kiihtyvyyskompensoidun kallistusanturin liikuttaminen ei tuo suurta virhettä kallistuskulman mittaamiseen. Kiihtyvyyskompensointia voidaan suorittaa esimerkiksi gyroskoopin avulla.

Kallistusantureiden toiminta perustuu painovoiman vaikutukseen anturin sisäiseen massaan (Ifm, i.a.-c). Massan liikkeitä voidaan havainnoida esimerkiksi seuraamalla kapasitanssia anturin runkoon kiinnitettyjen elektrodien ja runkoon nähden liikkuvaan anturin sisäiseen massaan kiinnitettyjen elektrodien välillä.

2.5 Liebherr LiView

Liebherrin kehittämässä LiView-tekniikassa sylinteriin asennetaan kaksi sondia, jotka ikään kuin kaikuluotaavat sylinterin tilavuuden (Liebherr, i.a.). Sylinterin varrenpuoleiseen päätypalaan lisätään reiät sondeille, mutta muuten sylinteriin ei tarvitse tehdä muutoksia. Sylinterin ulkopuolella on mittauselektroniikan sisältävä pieni laatikko, joka voidaan kiinnittää sylinteriputken kylkeen tai sen läheisyyteen. LiViewin mittauselektroniikka lähettää yhden sondin välityksellä signaalin, joka kaikuu sylinterin männästä takaisin ja palaa toisen sondin kautta mittauselektroniikalle, joka laskee tästä sylinterin pituuden. Mittauselektroniikka kykenee myös ilmoittamaan sylinterin liikenopeuden.



Kuva 3. Liebherr LiView (Liebherr, 2017).

2.6 Kameraan tai 3D-skanneriin perustuva asennontunnistus

Maailmalla on myös tutkittu kuormainpuomin asennon määrittämistä ulkopuolisella skannauksella (Hyyti ym., 2018). Tähän voidaan käyttää niin 3D-skannausta kuin myös ihan tavallisia kameroitakin. Tämän tyylisten tekniikoiden etuna on, ettei itse kuormaimeen tarvitse välttämättä asentaa mitään antureita ja periaatteessa se mahdollistaa myös tarkan reagoinnin tuntemattomaan taakan painoon. Haittapuolena tulevat suuret vaatimukset las kentatehoa kohtaan sekä kameroiden / skannerien käyttöön soveltuvien asennuspaikkojen rajallisuus liikkuvassa kalustossa, sillä näiden tulisi saada mahdollisimman hyvä näkyvyisyys puomiin kaikissa tilanteissa.

3 OLEMASSA OLEVIA RATKAISUJA

Tässä luvussa käsitellään lyhyesti, millaisia ratkaisuja eri konevalmistajilla on jo käytössä. Osa esiteltävistä ratkaisuista ei välttämättä ole käytössä nimenomaan metsäkoneissa, mutta ne ovat silti opinnäytetyön sovellusalan kannalta mainitsemisen arvoisia. Konevalmistajien julkisissa tiedotteissa ei perehdytä teknisiin ratkaisuihin kovinkaan syvällisesti, joten tarkempiin yksityiskohtiin ei tässä luvussa mennä.

3.1 John Deere IBC

John Deere esitteli kärkehjauksen kuormatraktoreihinsa jo vuonna 2013 ja toi ominaisuuden myös harvestereihin vuonna 2017 (John Deere, i.a.). Kärkehjauksessa vasemmanpuoleisella ohjaussauvalla siirretään kuormaimen kärkeä vaakatasossa ja oikeanpuoleisella ohjaussauvalla pystysuunnassa. Olennainen osa järjestelmän toimintaa ovat sähköiset päätyvaimennukset, jotka ehkäisevät puomiin kohdistuvia äkillisiä iskukuormituksia. Harvesterikäytössä IBC-järjestelmän 3.0-version mukana on tuotu myös useita avustustoimintoja hakkuupään turvalliseen käyttöön. Näillä pyritään ehkäisemään kuljettajaan kohdistuvia vaaratilanteita syötettäessä tai sahattaessa puuta.

3.2 Ponsse Active Crane

Ponsse kutsuu omaa kärkehjaustapaansa nimellä "Active Crane" (Ponsse, i.a.-b). Active Crane on saatavilla niin kuormatraktoreihin kuin harvestereihinkin (Ponsse, i.a.-b, 2022). Kärkehjausta varten jatkesylinteri on anturoitu ja puomissa on myös lisämoduuli Ponssen ohjausjärjestelmään. Ponssen julkaisemien käyttäjäkertomusten perusteella kärkehjausjärjestelmän suurin etu on nimenomaan nosturihjauksen helpottuminen, mikä vähentää aivotyöskentelyä ja sitä kautta pienentää työn kuormittavuutta ja auttaa työssäjaksamista. Myös polttoainetaloudellisia säästöjä on kuljettajien mukaan havaittavissa.

3.3 Komatsu Smart Crane

Komatsu on kehittänyt Smart Flow -nimellä kutsutun parannellun venttiilipöydän ohjauksen puutavarakuormaimilleen (Komatsu, i.a.-c). Venttiilipöydällä on haluttu vähentää

painevaihteluita ja parantaa niin kuormaimen ohjausmukavuutta kuin polttoainetalouttaakin. Komatsu on myös julkaissut puutavarakuormaimeensa kärkehjauksen, jota puolestaan kutsutaan nimellä ”Smart Crane” (Komatsu, i.a.-a, i.a.-b). Smart Crane tunnistaa puutavarakuormaimen asennon ja helpottaa kuormaimen ohjaamista.

Myös Komatsun järjestelmälle ilmoitetaan eduiksi päätyvaimennukset, automaattisesti toimiva jatkopuomi sekä käytön helppous (Komatsu, i.a.-a, i.a.-b). Valmistaja painottaa erityisesti SmartFlow-venttiilinohjauksen merkitystä kuormaimen käytöksen tasaamisessa ja kertoo järjestelmien täydentävän toinen toistaan. Järjestelmää markkinoidaan myös harvestereihin.

3.4 Technion xCrane

Technionin xCrane-järjestelmä poikkeaa edellä mainituista siinä, että kyseessä ei ole minikään metsäkonevalmistajan vain omiin tuotteisiinsa kehittämä järjestelmä (Technion, i.a.). Technion on ohjausjärjestelmien suunnitteluun ja valmistukseen erikoistunut yritys, jonka kehittämää xCrane-ohjausjärjestelmää kaupataan käytettäväksi koneen ja kuormaimen valmistajasta riippumatta. Järjestelmää markkinoidaan käytettäväksi myös metsäpe rävaunuissa ja traktorikiinnitteisissä puutavarakuormaimissa. Technionin ohjausjärjestelmä vaikuttaisikin olevan käytössä ainakin traktorikäyttöön suunniteltuja kuormaimia valmistavan Kronoksen tuotteissa, kärkehjaus mukaan lukien (Kronos, i.a.).

3.5 Hiab CTC

Erityisesti kuorma-autoalustalle asennettavista kappaletavaranostureistaan tunnettu Hiab on myös tuonut kärkehjauksen saataville (Hiab, i.a.). Kappaletavaran siirrossa tärkeää on tarkka ja turvallinen nostotapahtuma, joten kärkehjauksen edut ovat ilmeiset; kun operaattorin huomio on jo valmiiksi keskittyneenä taakan tarkkaan paikoitukseen, on luonnollista, että operaattori myös ohjaa taakan liikkeitä nosturin eri puominosien yksittäisten liikkeiden sijaan.

4 TUTKIMUSTIETOA

Jo vuonna 1981 on Marja-Liisa Salmisen Metsäntutkimuslaitokselle suorittamassa tutkielmassa ”Kuormatraktorin kuljettajan kuormittumisen arviointi psykofysiologisilla menetelmillä” osoitettu kuljettajien väsyminen työpäivän aikana. Tutkimuksessa havaittiin, että muutaman tunnin työskentelyn jälkeen kuljettajien väsymystila pakottaa kuljettajat ponnistelemaan enemmän pitääkseen työn tuottavuuden samalla tasolla. Lopulta 7–9 tunnin työskentelyn jälkeen olivat kuljettajat jo niin väsyneitä, että se alkaa näkyä tuotoksessakin.

John Deeren IBC-järjestelmästä pisimpään markkinoilla olleena kärkehjäusjärjestelmänä on jo ehditty julkaista tutkimustietoa. Manner ym. (2017) esittelivät artikkelissaan tuloksia vuonna 2014 suoritetusta tutkimuksesta, jossa metsäalan koulutuksen juuri aloittanut opiskelijaryhmä oli laitettu tekemään käsittelyharjoitusta. Harjoituksessa opiskelijat nostivat tarkan työsyklikuvauksen perusteella puukappaleita maasta koneen kuormatilaan ja takaisin maahan vaihdellen välillä puolta, jolle puukappale laskettiin. Osa opiskelijoista käytti kärkehjäustapaa ja osa perinteistä menetelmää. Tutkimustuloksissa havaittiin kärkehjäustavan olleen opiskelijoille huomattavasti helpompi omaksua ja nopeuttaneen harjoituksen suorittamista merkittävästi.

IBC-järjestelmän on tutkittu parantavan kuormatraktori-työn tuottavuutta myös metsäolosuhteissa (Manner ym., 2019). Tutkimuksessa tutkittiin seitsemää eri ammattikuljettajaa, joilla kerrottiin olleen kokemusta ”muutamasta vuodesta noin kolmeen vuosikymmeneen”. Tutkimuksessa havaittiin kuormainta käytettäessä IBC-järjestelmän nopeuttavan työsykliä ja ajansäästön olleen kaikissa pelkkää kuormainkäyttöä sisältävissä työvaiheissa tilastollisesti merkittävää. Tarkempaa kuljettajakohtaista erittelyä ei tutkimuksesta julkaistu, mutta tutkimuksesta on pääteltävissä, että osalle kuljettajista IBC tarjosi erittäin merkittäviä etuja ja muidenkin kohdalla järjestelmä paransi työn tuottavuutta tilastollisesti. Koska ajomatkat ja muuhun kuin kuormaintyöskentelyyn kuluva aika eivät eronneet ohjaustapojen välillä, oli kokonaisajansäästö vähemmän kuin pelkässä kuormaintyöskentelyssä. Kokonaisajansäästön todettiin myös olevan huomattavan riippuvainen työkohteesta. Tutkimusleimikoilla kokonaisajansäästön laskettiin kuitenkin olleen 4 %:n luokkaa.

Venla Kiviniemi (2022) on maisterintutkielmassaan vertaillut puutavaran metsäkuljetuksien tehokkuutta yhtä ja kahta peräkkäistä puutavaranippua kuljetettaessa. Selvityksen tuloksena kohteissa, joissa maasto kestää painavammalla kuormalla ajamisella, voidaan kuormatraktoriyötä tehostaa merkittävästi ottamalla lyhyitä puutavaralajeja kyytiin yhdellä ajokerralla kaksi nippua. Tämä vaatii kalustolta riittävän pitkää kuormatilaa, jotta kyytiin mahtuu toinenkin puutavaranippu. Tutkielmassa mainitaan kahden nipun kuljettamisen vaikuttavan myös puutavarakuormaajan mallin valintakriteereihin, sillä kuormaingeometrian pitää sallia myös taemman nipun kuormaaminen. Nostettavien puukappaleiden painopisteet ovat tällöin tavanomaista kauempana.



Kuva 4. Logset 10F kantamassa kahta puutavaranippua (Logset, 2021).

Kahta nippua kuljetettaessa kuljettajat aloittavat kuorman kasaamisen taemmasta puutavaranipusta (Kiviniemi, 2022). Kuljettajat kasvattavat molempia nippuja tasaisesti, kuitenkin pitäen taemman nipun aina hieman korkeampana. Kuorman viimeiset puukappaleet nostetaan kuitenkin aina etummaiseen nippuun paremman painojakauman saavuttamiseksi siirtoajon ajaksi. Kahden nipun kuljetustaktiikka soveltuu nykyaikaisella kuormatraktorikalustolla pituudeltaan enintään kolmimetrisen puutavaran kanssa käytettäväksi. Taemman nipun kuormaaminen oli etummaista nippua hitaampaa, sillä kuljettaja näki taemman nipun kohdalle heikommin ja nipun sijoittelu oli tarkempaa, jotta etummaiselle nipulle jäi riittävästi tilaa. Kahden nipun kuljettaminen muodostui yksittäistä nippua kannattavammaksi noin 300–800 metrin kuljetusmatkoilla, riippuen kuormaintyöskentelyn tehokkuudesta ja maaston kantavuuden sallimasta kuormakoosta. Lehtikuitupuun kohdalla kannattavuus oli parempi kuin havukuitupuun. Yhdessä nipussa kuljetettavan vapaasti

katkotun kuitupuun kuljettaminen todettiin kuitenkin tehokkaammaksi kuin kolmimetristen tasamittaisten puukappaleiden edes kahdessa nipussa.

Kuormatraktoreissa käytettävän taittopuominosturin tyyppisten kuormainten ja vastaavien kappaletavaranoisturien kinematiikasta ja käänteiskinematiikasta on löydettävissä useita tutkielmia ja raportteja (Herbin & Pajor, 2017; Kalmari, 2015; Löfgren, 2004; Nielsen ym., 2003). Monet näistä nostavat esiin jatkopuomin mukanaan tuoman ongelman ylimääräisestä vapausasteesta. Toisin kuin nosturin puomien väliset saranakohdat, ei jatkopuomi ole välttämätön osa geometriaa kärjen saamiseksi mihinkään tiettyyn koordinaatiston pisteeseen. Luonnollisesti jatkopuomi tuo kuormaimelle lisää ulottumaa, mutta samalla sen mukanaolo aiheuttaa ongelman; aivan kuormaimen liikeradan ääriasentoja lukuun ottamatta voidaan kuormaimen kärki ajaa kaikkiin ulottuma-alueen pisteisiin useista eri asennoista käsin. Siinä missä taittopuominosturilla ilman jatkopuomia olisi jokaiselle mahdolliselle koordinaatiston pisteelle vain yksi mahdollinen asento – tai teoriassa kaksi, mutta toinen niistä voidaan sulkea pois, sillä puominosat taipuvat keskenään vain tiettyyn suuntaan – on jatkopuomin kanssa mahdollisia asentoja teoriassa ääretön määrä. Tämä asettaa haasteita uuden tavoiteaseman selvittämiselle.

Myös puutavarakuormaimen dynaamiseen kuormitukseen on kiinnitetty huomiota (Chetverikova & Popikov, 2019; Glushkov ym., 2020). Taakkoja kuormaimella käsiteltäessä syntyy helposti heiluriliikettä ja dynaamista kuormitusta hydraulikalle. Tämä on omiaan rasittamaan koneen rakennetta ja hydraulijärjestelmän komponentteja. Heiluva taakka edesauttaa välillisesti myös maaperän painumista. Tällaisia kuormituksia voitaisiin merkittävästi vähentää kehittämällä kuormaimen liikkeiden ohjauksesta paremmin ennakoivaa ja taakan dynaamisen kuormituksen huomioon ottavaa.

Kaikki edellä mainitut tutkimukset tarjoavat hyviä näkökantoja puutavarakuormaimen ohjaustavan kehittämiseen. Mikään näistä ei yksistään tarjoa tyhjentävää vastausta siihen, millainen ohjaustavan tulisi olla, mutta ne avaavat haasteita, joita ohjaustapaa muutettaessa pitää ottaa huomioon. Yleisesti ottaen tutkimustieto vaikuttaisi puoltavan selkeästi näkemystä siitä, että perinteiseen ohjaukseen verrattuna kärkiohjaus on tehokkaampi vaihtoehto. Kärkiohjaustavan hiominen kaikkiin käyttötilanteisiin soveltuvaksi ja laadukkaasti

tuntuiseksi käyttää vaatii kuitenkin monien eri näkökulmien yhtäaikaista huomiointia ja monien ongelmien ratkaisemista.

5 LÄHTÖKOHDAT OHJAUSTAVAN MUUTTAMISEEN

Tässä luvussa käydään läpi perusteet ja lähtökohdat puutavarakuormaimen ohjaustavan muuttamiseksi kärkeohjausta hyödyntäväksi. Esitetyt huomiot perustuvat edellisissä luvuissa mainittuihin asioihin, Logsetin omiin analyysihin sekä muuhun informaatioon.

5.1 Kilpailutilanne ja markkinat

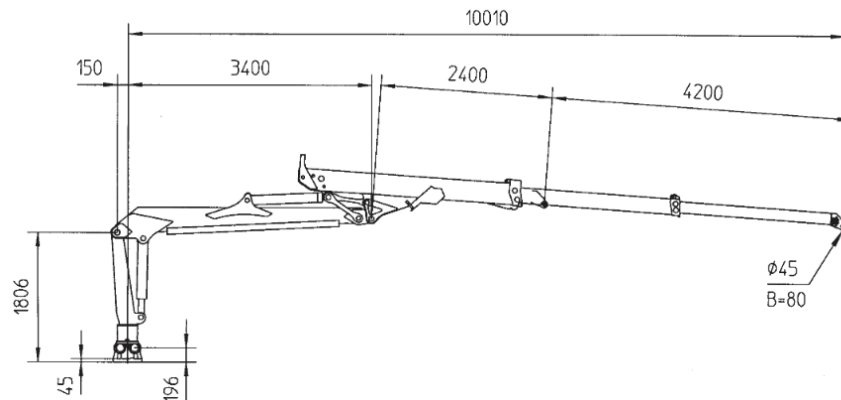
Logset kuuluu omien selvitystensä perusteella pyöräalustaisten tavaralajimenetelmän metsäkoneiden valmistajien kärkiviisikkoon. Kolme suurinta valmistajaa ovat jo esitelleet omat versionsa kärkeohjauksesta. John Deeren IBC selkeästi pisimpään markkinoilla olleena on jo ehtinyt kehittyä toimivaksi kokonaisuudeksi. Ponssen ja Komatsun versiot tuoreempina eivät vielä ole saavuttaneet yhtä näkyvää suosiota kuin IBC, ja erityisesti Komatsun Smart Crane näistä tuoreimpana vielä kangertaa tietään markkinoille. Logset puolestaan on selvittänyt tähän asti vallan mainiosti ilmankin, mutta markkinoilla kehityksen suunta on selvä, eli nosturin ohjausta pitää nykyaikaistaa.

Metsäkonekaupassa on tyypillistä, että tarjouskilpailuissa huomioidaan myönteisesti, mikäli jollain konemerkillä on tarjota sellaisia toimintoja, joita muilta puuttuu. Ajan kuluessa aiemmin lisävarusteena olleista, mutta hyväksi havaituista ominaisuuksista tulee lopulta vaatimuksia. Pahimmillaan jonkin teknologian puuttuminen saattaa olla kilpailukykyä merkittävästi heikentävä seikka. Kärkeohjaus ei ole läheskään jokaisessa tarjouskilpailussa mukana vaatimuslistalla, mutta kilpailevien ratkaisujen alati parantuessa sen kysyntä on lisääntymään päin.

Tämänhetkisen tiedon valossa Logset on liikkeellä kärkeohjauksen kehittämisen kanssa sopivaan aikaan. Markkinoilla jo olevista ratkaisuista on jo löydettävissä tutkimustietoa, ja kuljettajien käyttökokemuksia on mahdollista kartoittaa. Valmiin järjestelmän puute ei kuitenkaan vielä rajoita koneiden menekkiä. Saatavilla oleva, valmiiksi koeteltu tieto sallii uuden ohjaustavan tehokkaan kehittämisen ja pahimpien sudenkuoppien välttämisen.

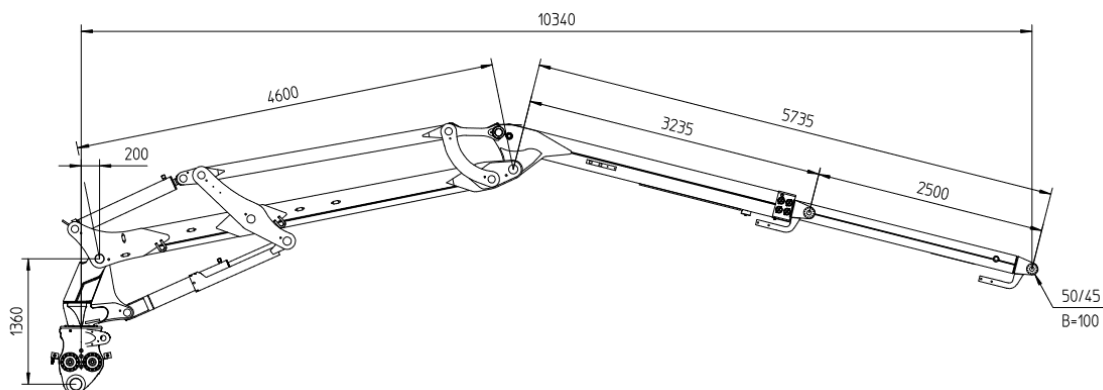
5.2 Geometria

Puutavarakuormaimia on vuosien saatossa esitelty useilla erilaisilla puomirakenteilla. Kuormaimen ohjaustavan kehittämisen kannalta on erittäin tärkeää tietää käytettävien puomien geometria, sillä geometrian vaikutus kuormaimen liikeratoihin ja sylintereissä vaikuttaviin voimiin on merkittävä.



Kuvio 2. Mesera 83FT100i -taittopuominosturi (Mesera, 2006).

Eri metsäkonevalmistajien internetsivuilla näkyvien tuotekuvien perusteella voidaan todeta, että metsäkoneissa nykyään käytettävät puutavarakuormaimet ovat jaettavissa lähinnä kahteen päätyyppiin; kuormatraktoreissa lähestulkoon kaikki luottavat taittopuominosturiin, ja harvesteripuolella valtaa pitää hienoisesti liikeratanosturi. Liikeratanosturissa kuormaimen mekaaninen puomirakenne on suunniteltu siten, että sen kärki liikkuisi suhteellisen suoraviivaisesti myös perinteisen ohjaustavan kanssa. Tämä toiminto on saavutettu pääpuomin kanssa päällekkäin kulkevan paralleelitangon avulla.



Kuvio 3. Mesera 240H103i -liikeratanosturi (Mesera, 2015).

Molemmissa kuormaintyypeissä on pilarin yläpäähän nivelletty pääpuomi ja pääpuomin päähän nivellettynä toinen puomi, jonka sisällä puolestaan on ulosliukuva jatkopuomi. Erittäin Ponsse harvestereissaan käyttää hieman tästä poikkeavaa taittopuominosturin mallia, jossa pilari ja pääpuomi on yhdistetty samaksi rakenteeksi ja nivelpiste sijaitsee pilarin juuressa eikä pilarin ja pääpuomin välissä (Ponsse, i.a.-a).

Lisäksi on olemassa kolmas nosturityyppi, liukupuominosturi, jossa edellisistä poiketen on pilarin nokassa vain yksi puomi, jonka sisältä liukuu ulos erittäin pitkä teleskooppinen jatkopuomi. Liukupuominosturi vaikuttaisi kuitenkin jääneen pois muodista, vaikka Ponssen Bear-harvesterissa yhä sellaista käytetäänkin (Ponsse, i.a.-a).

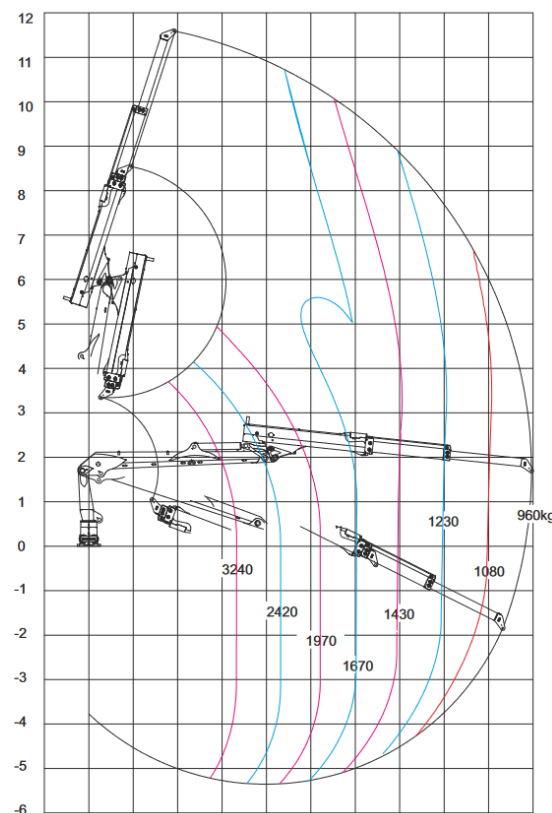
Taittopuomin kiinnityskohdassa voi olla paljon eroja eri nosturimallien välillä. Jotkin taittopuomit on nivelletty päästään, toisissa taas on reilusti ulkoneva korvake puomin alla, joskus jopa melko keskivaiheilla puomia. Pääpuomin ja taittopuomin välillä on taittosylinteri. Sylinteri saattaa olla kiinnitetty suoraan taittopuomiin, mutta yleisempää lienee sylinterin ja taittopuomin välissä käyttää linkkitankorakennetta, joka sallii puomin taittokulman muutoksen olevan suuri suhteellisen lyhyelläkin sylinteriliikkeellä. Taittopuomin sisältä työntyy ulos jatkopuomi, joka voi olla yksiosainen tai teleskooppinen, useista sisäkkäisistä puominosista koostuva.

Liikeratanosturissa ei varsinaisesti ole taittosylinteriä, vaan paralleelisylinteri, joka vaikuttaa yhtäaikaaisesti sekä pääpuomiin että toiseen puomiin saaden kuormaimen kärjen liikkumaan tiettyä liikerataa pitkin. Pilarin kallistuksen ja nostosylinterin avulla voidaan tuota liikerataa säätää tilanteeseen sopivaan kulmaan. Muulla tavoin kuormaimen rakenne on pitkälti vastaavanlainen kuin taittopuominosturissa.

Kärkiohjauksen kannalta kuormainmalleissa suurimman haasteen muodostaa nosturin jatke toiminto. Jatkopuomin takia kuormaimen ääriasentoja lukuun ottamatta jokaiselle kuormaimen kärjen asemalle on olemassa teoriassa ääretön määrä erilaisia puomien asentoja, joissa kaikissa kärki on samassa pisteessä. Mikäli jatkopuomia ei olisi, olisi kullekin kärjen asemalle vain kaksi mahdollista kuormaimen asentoa, joista niistäkin voidaan toinen sulkea pois, sillä pääpuomin ja toisen puomin välinen nivel voi normaaleissa puomirakenteissa olla taipuneena vain tiettyyn suuntaan.

Luonnollisesti kurottaessa kuormaimen kärkeä puomin eri asennoista käsin samaa pistettä kohti on kärki kussakin asennossa myös eri kulmassa kuin muissa. Puutavarakuormaimen pääte-efektori, oli kyseessä sitten kuormatraktorin koura tai harvesterissa käytävä hakkuupää, kuitenkin riippuu kuormaimen kärjestä painovoimaisesti kahteen suuntaan nivellettynä. Pääte-efektoria voi myös pyörittää pystyakselinsa ympäri, ja siinä saat-
taa lisäksi olla kallistustoiminto. Vapaasti riippumisen takia kuormaimen kärjen absoluuttisella kulmalla ei ole mitään merkitystä pääte-efektorin kykyyn poimia puutavaraa kustakin kohdasta, vaan ainoastaan kärjen sijainnilla on merkitystä.

Erilaiset kuormainpuomien geometriat vaikuttavat niiden yhteydessä käytettäviin laskukaavoihin. Keskenään eri mittaiset, mutta muuten toistensa geometriaa vastaavat puomimallit saatetaan pystyä ohjaamaan samoilla laskukaavoilla, kunhan mittaerot on parametroitu. Taittopuominostureissa on paljon tällaisia, ohjaustavan kannalta merkittävil-
tä osiltaan keskenään samalla geometrialla olevia malleja. Liikeratanostureissa on kuitenkin paljon hajontaa geometrioissa eri puomien välillä.



Kuvio 4. Mesera 122FT100i -taittopuominosturin ulottumakaavio täydennettynä nostokyyinformaatiolla (Mesera, 2014).

5.3 Puutavarakuormaimen normaali käyttö

Puutavarakuormaimen olemassaolon tarkoitus on puutavaralastin kuormaaminen ja purkaminen kuormatraktoreissa sekä hakkuupään kannattelu sekä siirtäminen puunrungolta toiselle harvestereissa. Tämä ei tule kärkiohjauksenkaan myötä muuttumaan mihinkään. Myöskään alustakoneen konstruktio ei ole vaihtumassa kärkiohjauksen myötä. Kärkiohjauksen kanssa siis tullaan tekemään täysin sama työ kuin perinteisellä liikekohtaisella ohjauksellakin, mutta tavoitteena on tehdä se objektiivisesti paremmin.

Puutavarakuormassa voi olla eri pituisia kappaleita. Kappaleiden pituudet voivat vaihdella parista metristä aina pihtipankon kanssa tapahtuvaan kokorunkojuontoon asti. Kotimaan olosuhteissa yleisimpiä lienevät kolmesta kuuteen metriä pitkät kappaleet, ja suurin osa kuormatiloista onkin tämäntyyppisille kappaleille suunniteltuja. Mikäli ajetaan kolmimetristä kuitutavaraa, on sopivan laitteen ja kuormatilarakenteen kanssa mahdollista kuljettaa puutavaraa kahdessa peräkkäisessä nipussa. Tämä luonnollisesti vaatii myös kuormaimenohjaukselta kykyä toimia kuormatilassa useammalla eri etäisyydellä niin tyhjän kuin täydenkin kuormatilan kohdalla.

Kuormaamista varten pitää puukappaleista saada kiinni kuormaimen kärjestä riippuvalla kouralla, mieluiten niiden painopisteen kohdilta, yleensä noin puolivälistä kappaletta (Landy, i.a.). Kouran tartuttua puihin tulee puu nostaa koneen kuormatilan rajaavien pankkojen yli kuormatilan päälle ja laskea sitten kuormatilaan. Kuormatilassa on työn etenemisen myötä vaihteleva määrä puutavaraa; joskus kuormatila on täysin tyhjä, joskus puolitäysi, joskus pankkojen ja sermin yläpintaa myöten täynnä. Joskus – väärinkäytettynä – kuormatilassa saattaa olla jopa paljon sermiä korkeampi pino puutavaraa. Ylikuorma, eli se sitten painoltaan kuormatraktorin kantokykyä korkeampi tai asettelultaan kuormatilan mitat fyysisesti ylittävä, saattaa aiheuttaa vaaratilanteita ja vaurioittaa konetta.

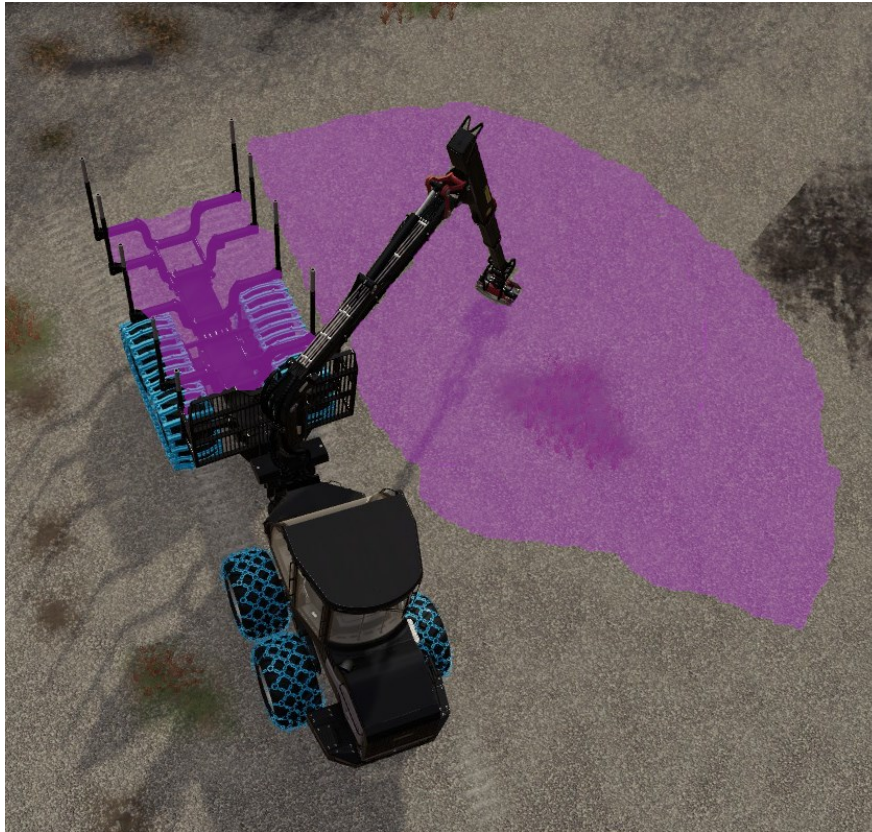
Kuten Metsätehon (2005) oppaassa ”Korjuun suunnittelu ja toteutus” kerrotaan, on lukuisia erilaisia työtapoja, joita leimikolle voidaan soveltaa. Olosuhdetekijät vaikuttavat siihen, mikä työtapo on milloinkin paras. Koneenkuljettaja yrittää toiminnallaan minimoida korjuuvauriot, mikä vaatii huomiointia niin puun kaatosuunnan kuin ajouran muodostamisen kanssa. Pehmeissä kohdissa hakkuutähteet, eli puiden oksat ja latvat, kerätään ajouralle vähentämään painavan koneen painumista maahan ja ehkäisemään puiden juuristolle

aiheutuvia vaurioita. Kantavalla maaperällä toimittaessa saatetaan myös hakkuutähteet kerätä kasoihin ajouran varteen ja myöhemmin kuljettaa pois metsästä energiapuukäyttöä varten.

Hakkuutavasta riippuen katkotut puukappaleet saattavat olla ajouran varsilla poikittain tai pitkittäin ajouraan nähden, viuhkahakkuussa myös vinossa. Avohakkuussa kappaleet todennäköisesti ovat tasaisin välein sijoittuvissa kasoissa ajouran varressa. Harvennushakkuussa kasat voivat olla pienempiä ja sijaita hajanaisemmin, sillä puita kaadetaan vähemmän ja ne on kaadettava varjellen jäljelle jäävää puustoa. Haamu- / varjouraa käytettäessä kappaleita on myös kauempana, jopa kuormaimen maksimiulottumalla. Varjouralla liikkuu pelkkä harvesteri, joka kaataa puut niin, että se voi syöttää ne varsinaiselta ajuralta käsin operoivan kuormatraktorin puutavarakuormaimen ylettyville.

Tehokkaaseen puutavarakuormaimen käyttöön kuuluu pyrkimys ennakoida toimintaa ja minimoida kuormaimen liikkeiden määrää. Harvesterikäytössä tähän kuuluu pyrkimys minimoida suoraan sivulle kurottelua ja jättää takaviistoon kurottelu vallan pois. Myös kuormatraktorikäytössä vältetään koneen keulan puolelle kurottelua. Kuormatilan taakse maahan kurottelu on hankalaa, ellei täysin mahdotonta, johtuen huonosta näkyvyydestä ja kuormatilan rakenteista sekä siellä mahdollisesti jo olevasta kuormasta, kuten myös kuormaimen rajallisesta ulottumasta.

Oikeanlaisella koneen asemoinnilla voidaan helpottaa ja nopeuttaa puutavarakuormaimen käyttöä merkittävästi. Tällä voidaan vaikuttaa niin kuljettajan näkyvyyteen kuin kuormaimessa vaikuttaviin voimiin. Ennakoinnin avulla voidaan myös minimoida tai välttää kokonaan runsaasti aikaa vievä ja konetta rasittava kurottelu työsektorin äärilaidoille tai sen ulkopuolelle. Paras nostokyky kuormaimilla saavutetaan lähellä kuormaimen pilaria, joten kone kannattaa pysäyttää siten, että nostettava taakka on jo valmiiksi lähellä pilaria. Painavaa taakkaa voi myös joutua hinaamaan maata pitkin lähemmäs konetta ennen kuin sitä kannattaa koittaa nostaa kokonaan irti maasta.



Kuvio 5. Kuvassa korostettuina kuormatraktorin kuormatila ja työsektori (Lepola, 2023).

Koska kuormatilan rajaavat pankot ovat korkeita, kannattaa pyrkiä vähentämään edestakaisia nostokertoja keräämällä useampia maassa lojuvia kappaleita samaan kouralliseen. Mikäli kappaleet ovat maassa hajanaisesti, voidaan niitä vetää maan tasalla yksitellen lähemmäs toisiaan, kunnes kappaleiden päät ovat keskenään tasalla ja nippu voidaan nostaa kerralla kyytiin. Harvesterinkuljettaja voi helpottaa kuormatraktorin työtä merkittävästi pyrkimällä katkomaan puukappaleet jo lähtökotaisesti siisteihin ja tasaisiin kasoihin.

Kuormaa purettaessa saattaa kuljettaja joutua valmistelemaan pinolle paikan. Tähän saat-
taa kuulua maassa olevien puukappaleiden ja kivien siirtelyä puutavarakuormaimen avulla. Joskus puupinon alla käytetään aluspuita. Tällöin maahan asetetaan ensin pitkittäiset puukappaleet, joiden päälle varsinainen pino kasataan poikittain. Aluspuut asettavat itse pinon hieman irti maasta, mikä vähentää maassa olevan kosteuden vaikutusta puihin. Joskus pino saatetaan rakentaa ojan päälle, jotta pinoa hakemaan saapuvan tukkirekan ei tarvitsisi kurotella kauas ojan yli. Pinossa olevien kappaleiden päät koitetaan asettaa mahdollisimman samaan tasoon, jotta kappaleiden siirtäminen tukkirekan kyytiin olisi

mahdollisimman helppoa ja nopeaa. Tätä helpottaa, mikäli puukappaleiden päät tulivat samalle tasalle jo metsässä niitä kuormattaessa.

Pino rakennetaan hieman tapauksesta riippuen toisinaan jopa niin korkeaksi kuin käytettävällä koneella ylipäänsä voidaan saada aikaiseksi. Purkuvaiheessa kuormaimen turhaa edestakaisin liikuttamista vähentääkseen kuljettaja saattaa pyrkiä ottamaan aina mahdollisimman täysiä kourallisia, jopa kuormaimen nostokyvyn rajoille saakka.

Eräs mahdollisesti vastaan tuleva poikkeustilanne on tarve asettaa puutavaraa ojan täyteeksi tai uppoamassa olevan koneen pyörän alle. Tällöin kuormaimella joudutaan kurottelemaan normaalin työalueen ulkopuolelle.

Harvesterikäytössä puutavarakuormaimen kärjestä roikkuu hakkuupää. Tavallisessa käyttötilanteessa kuormaimella viedään hakkuupää puun juurelle, kaadetaan puu, hinataan kaadettu puu sopivaan kohtaan ja katkotaan se sopivan mittaisiksi kappaleiksi pieniin pinoihin. Hakkuupäätä ei tarvitse juuri koskaan nostaa järin korkealle, jos ei satunnaisia tekopökölöitä lasketa. Kärkiohjauksen luonnollisesti tulisi kuitenkin hallita myös tilanteet, joissa kuljettaja jostain syystä haluaa katkaista puun paljon tavallista korkeammalta, oli kyseessä sitten luontoarvojen takia jätettävä tekopökölö, epämuodostunut rungon alaosa tai jokin hankalasti kenoon jäänyt tuulenkaato.

5.4 Tekniset lähtökohdat

Logset on juuri ottanut suuren harppauksen nosturinohjauksen saralla esittelemällä aktiiviset päätyvaimennukset useampaankin eri nosturimalliin. Tämä on nostanut kuormaimen käyttömukavuuden entistä paremmalle tasolle, ja ominaisuus helpottaa koneenkuljettajien työtä huomattavasti. Tämä on myös luonnollinen välivaihe matkalla kohti kärkiohjausta, sillä aktiivisia päätyvaimennuksia varten on puutavarakuormain tarvinnut anturointia ja kuormaimen käyttöön on tarvinnut muutenkin perehtyä aiempaa paremmin.

Aktiivisten päätyvaimennusten tarkoituksena on nimensä mukaisesti reagoida aktiivisesti käyttäjän toimintaan ja kuormaimen asentoon ja muuttaa käytöstään sen mukaisesti. Aktiivisten päätyvaimennusten etuna on perinteisiä kiinteitä päätyvaimennusalueita paremmin

käyttäjän toimintaan sopiva vaste. Tämä antaa kuljettajalle paremman kontrollin koneen toimintaan, vähentää kuormaimen kohdistuvia rasituksia ja ehkäisee vaurioita niin kalustoon kuin jäljelle jäävään puustoon. Aktiiviset päätyvaimennukset eivät kuitenkaan vielä täysin vastaa todellista kärkiohjausta.

Kärkiohjausasiaa on jo tutkittu maailmalla niin erityyppisten konevalmistajien toimesta kuin useissa erilaisissa opinnäytetöissäkkin, mutta kaikki informaatio on varsin hajallaan. Logsetin kannalta oleellista on selvittää, mitä kaikkea kärkiohjaukseen liittyy, jotta sinänsä rajalliset resurssit pystytään kohdentamaan oikeiden ilmiöiden tutkimiseen eikä tarvitse niin sanotusti ”keksiä pyörää uudelleen”.

Ideaalitilanteessa maasto, jossa toimitaan, olisi täysin tasainen. Todellisuudessa maastossa kuitenkin on paitsi suurempia kallistuksia rinteiden takia, myös rajusti konetta keinutavia mättäitä, kantoja, kiviä ja kuoppia. Kuljettajan kannalta saattaisi olla erittäin hienoa, jos kuormain tottelisi maastonmuotoja automaattisesti ja ottaisi myös huomioon koneen kallistumaa maastoon nähden. Koneen kallistuma painovoimaan nähden on suhteellisen helposti mitattavissa oleva suure, mutta maaston kallistuma koneen vierellä onkin sitten hieman hankalampi havainnoitava. Toki voidaan tehdä oletus, että kone sijoittuu aina maaston pääpiirteisiin nähden tangentiaalisesti, mutta parempaa maaston huomiointia varten tarvitaan jokin kehittyneempi havainnointimenetelmä, kuten jonkin tyyppinen kolmiulotteinen ympäristön skannaus.

Yksi suuri kysymys toiminnon kannalta on kourassa mahdollisesti olevan puukuorman massa. Tyhjänä kuormain liikkuu huomattavasti pienemmilläkin paineilla kuin täytenä. Hakkuupäästä saadaan tieto siitä, onko päällä tartuttu puuhun ja minkä paksuiseen, joten järjestelmän on mahdollista muodostaa oletus myös puun painosta. Hakkuupää myös itsessään painaa paljon kuormatraktorin kouraa enemmän, joten puutavaran painon merkitys kokonaisuuden kannalta on harvesterin kohdalla oletettavasti vähäisempi. Perusmallin kuormatraktorikourista ei kuitenkaan ole saatavilla minkäänlaista mittausdataa, josta voisi päätellä kourasta roikkuvaa kuormaa.

Joissain tapauksissa kuormatraktoreissa käytetään vaakariipuketta, jossa puomin kärjen ja kouran väliseen riipukkeeseen on sisäänrakennettu kuormaa mittaava vaaka (Tapio, 2022,

s. 238–239). Nämä ovat kuitenkin pieni vähemmistö maailmalla olevista kuormatrakto-reista. Vaakariipuketta käytetään lähinnä pientä kuitupuuta sekä muuten hankalasti mitat-tavaa energiapuuta korjattaessa. Vaakariipukkeen antamasta punnitustiedosta voisi olla apua kuormaimen hydraulikan optimoinnissa niissä kuormatraktoreissa, joissa on vaaka. Hyöty ei kuitenkaan todennäköisesti ole riittävä perustelemaan vaakariipukkeen lisäämistä sellaisiin koneisiin, jotka eivät sitä muuten tarvitsisi.

Toinen mahdollinen tapa arvioida puutavarakuormaimen taakkaa olisi mitata nostosylinte-rissä vaikuttavaa hydraulipainetta. Kyseinen paine kannattelee koko puomirakennetta, jo-ten sen ja kuormaimen asentotiedon perusteella olisi – ainakin periaatteessa – mahdollista laskea myös kuormaimen kärjestä roikkuvan taakan massa.

Komatsulla on Smart Flow -venttiilipöytänsä takana varsin pätevä ajatus: mikäli puutavara-kuormainta halutaan ohjata tarkasti, tulisi hydraulikasta saada mahdollisimman vakaatoi-minen. Jos kyetään ohjaamaan sylinteriliikkeelle ohjautuva paine ja virtaus tarkasti, pääs-tään huomattavasti lähemmäs absoluuttista ohjausta ja virheenkorjauksille on vähemmän tarvetta. Mikäli erot oletetun ja toteutuneen ohjauksen välillä muodostuvat kovin suuriksi, muodostuu myös kuormaimen liikerata aaltoilevaksi, kun järjestelmä havaitsee liikkeen olevan väärän suuntainen ja koittaa tehdä isoja korjausliikkeitä sen palauttamiseksi tavoit-tellun suuntaiseksi. Ohjauksen epätarkkuuden seurauksena reippaasti aaltoileva liikerata ei ole myöskään kuljettajan ennustettavissa. Kuljettajan on tällöin mahdotonta hallita sitä omilla korjausliikkeillään, mikä päinvastoin lisää kuljettajan turhautumista ja henkistä kuor-mitusta – eli tekee juuri päinvastoin kuin mitä ohjaustavan muutoksen tavoitteena on.

Nykyinen ohjausjärjestelmä on rakennettu ~~vahvasti~~ sen pohjalle, että kuormaimen venttii-lejä ohjaa kutakin jokin yksittäinen ohjausvivun akseli. Vipujen akselit voivat tehdä muitakin toimintoja, mutta näitä käsitellään yleensä enemmänkin poikkeustapauksina kuin pysy-vänä tilana. Ohjausvipujen akseleita voi myös vaihtaa eri toimintojen välillä, jotta voidaan ottaa huomioon esimerkiksi erot Euroopassa ja Pohjois-Amerikassa yleisesti käytössä ole-vissa liikejärjestyksissä.

Kärkiohjauksen rakentamisen mahdollistamiseksi ohjausjärjestelmässä pitää vipuliikkeet erottaa kuormaimen venttiilejä ohjaavista lähdoista. Tämän jälkeen pitää rakentaa

ohjausvipujen akselien luennan ja kuormaimen venttiilien ohjauksen välille vaihtokerros, josta vipujen liikkeet voidaan viedä venttiileille suoraan läpi tai ohjata kärkehjausalgoritmien kautta riippuen siitä, onko käytössä suoran ohjauksen tila vai kärkehjaustila. Myös nykyinen tapa vaihtaa eurooppalaisen ja pohjoisamerikkalaisen liikejärjestyksen välillä pitää sovittaa uuteen malliin, jossa ohjausvipujen akselit eivät välttämättä menekään suoraan venttiilien ohjaukseen.

Tämä ohjausvipujen ja venttiilien ohjauksien erottaminen ei teoriatasolla ole kovin suuri työ, mutta vaatii tarkkaavaisuutta. Konfliktien välttämiseksi tulee käydä läpi kaikki kohdat ohjelmassa, jossa ohjausvipujen akseleista luettua informaatiota on käsitelty. Myös kuormatraktorin ja harvesterin väliset erot tulee huomioida, sillä harvesterissa tätä informaatiota käsitellään myös hakkuupään ohjauksessa, mikä puuttuu kuormatraktoreista vallan, ja kuormatraktoreissa puolestaan on sellaisia apulaitetoimintoja, joita harvestereissa ei ole käytössä.

Kun ohjausvipujen akselit on irrotettu suorasta venttiilinohjauksesta, pitää ne asettaa ohjaamaan kärkehjausta. Muutkin metsäkonevalmistajat kärkehjausjärjestelmiensä esittelytekstien perusteella ovat päätyneet siihen lopputulokseen, että kuormainta ohjataan kärkehjauksessakin samoilla ohjausvipujen akseleilla. Perinteisessä ohjaustavassa nostosylinteriä ohjannut akseli ohjaakin kärkehjauksessa kärjen liikettä pystysuunnassa ja taittosylinteriä ohjannut akseli puolestaan ohjaa kärjen liikettä vaakasuunnassa lähemmäs ja kauemmas koneesta. Jatkesylinterin toiminta ohjautuu automaattisesti, joten sitä ohjanneelle akselille ei jää käyttötarkoitusta, vaan sitä voidaan soveltaa vapaasti muihin toimintoihin. Akselia voisi ehkä käyttää myös kärkehjauksessa säätämään eri liikkeiden välistä tasapainoa, jotta vältetään tarvetta kytkeä kärkehjaus pois käytöstä esimerkiksi normaalin toiminta-alueen reunamilla tapahtuvien erikoistilanteiden takia.

Logset lähtee kärkehjauksen kehitystyöhön siitä oletuksesta, että ohjaustapa on parasta kytkeä toimimaan sylinterikoordinaatistossa. Tämä hypoteesi juontuu siitä, että koneissa käytettävät puutavarakuormaimet ovat yksipilarisia ja kouraa liikutetaan sivuttaisesti kiertämällä kuormaimen pilaria pystyakselinsa ympäri. Nosto-, taitto- ja jatkesylinterit vaikuttavat kaikki samassa kaksikulotteisessa pystysuorassa tasopinnassa. Tämän rakenteen takia myös työalue on viuhkamainen, kuormaimen pilaria keskipisteenään ja kuormaimen

maksimiulottumaa säteenään käyttävästä ympyrästä lohkaistun sektorin muotoinen. Kuljettajalle oletetaan täten olevan luonnollisempaa käsittää kuormaimen toimivan suoraviivaisesti pilaristaan poispäin ja kiertyvän sen ympäri kuin liikkuvan tasossa jonkin karteesisen koordinaatiston mukaan. Sylinterikoordinaatiston käyttämisen oletetaan myös säästävän polttoainetta karteesiseen koordinaatistoon verrattuna, sillä pelkkä kiertoliike ei missään kohtaa siirrä taakkaa pilarista kauemmas. Tätä hypoteesia sylinterikoordinaatiston luonnollisuudesta kuljettajalle tulee kuitenkin koetella mahdollisimman pian, kunhan riittävä toiminnallisuuden taso on saavutettu, jotta ohjaustapaa voidaan alkaa testata.

6 TUOTEKEHITYSSUUNNITELMA

Tässä luvussa laaditaan Logsetille tuotekehityssuunnitelma kuormatraktorin puutavara-kuormaimen ohjaustavan muuttamiseksi kärkeohjaukselle. Sellaisia asioita, kuten kehitysprojektiin esitettävää henkilöstöä, projektille suunniteltua budjettia, tuotteelle asetettavia tarkkoja vaatimuksia, riskianalyysijä tai projektin mahdollista tarkempaa aikataulua, ei kerrota julkisuuteen. Nämä kohdat puuttuvat tästä luvusta, sillä tämä opinnäytetyö tulee olemaan julkinen asiakirja.

Vaatimuksia kärkeohjauksen toiminnalle on helppo lähteä listaamaan muiden valmistajien jo julkaistujen kärkeohjausten pohjalta. Nämä ovat tärkeää informaatiota siinäkin mielessä, että Logsetin tuote tulee kilpailemaan jo olemassa olevien järjestelmien kanssa. Lopputuotteeseen kohdistuvat vaatimukset saattavat muodostua lopullisen käyttötarkoituksen lisäksi myös yrityksen nykyisten tai muiden tulevien tuotteiden kanssa yhteensopivuudesta, käytettävissä olevien osien, teknisten ratkaisuiden tai valmistusmenetelmien priorisoinnista tai standardeista sekä erilaisista säädöksistä, jotka lopputuotteen pitää onnistuneesti täyttää.

6.1 Projektin perustelut

Isoilla kilpailevilla merkeillä on jo omat kärkeohjausratkaisunsa. Toiminto on yhä lisävarustetuksella, mutta tilanteen oletetaan muutaman vuoden sisällä muuttuvan enemmän vaatimuksen suuntaan, ainakin osalla markkina-alueista. Myös ohjaustavan kehittämisen kustannusten siirtäminen tuotteen hintoihin käy ajan kuluessa hankalammaksi, kun markkinoilla totutaan järjestelmän olemassaoloon.

Pidempään markkinoilla olleet ratkaisut ovat käyttäjiensä kehumia. Tuoreimmilla menee vielä hetki hioutua käyttäjien toiveiden mukaisiksi, mutta niistäkin on havaittavissa, että toimintojen lopulta osuessa kohdalleen on käyttäjäpalaute erittäin positiivista. Kärkeohjaus on myös tutkimusten mukaan perinteistä ohjaustapaa helpompi ja tuottavampi käyttää, joten kyse ei ole pelkistä kuljettajien kertomuksista.

Tärkeänä huomiona voidaan pitää tutkimustietoa siitä, että kärkiohjaustapaan vaihtaminen tuo hyötyjä myös kokeneille kuljettajille. Kärkiohjauksen eräänä suurimpana etuna on lähtökohtaisesti pidetty helpompaa työhön oppimista uusille kuljettajille, mutta kokeneiden kuljettajien kohdalla uuteen ohjaustapaan vaihtamisen merkitystä on pidetty vähäisenä. Tämän tiedon pohjalta voidaan huoletta olettaa kärkiohjaustavan tarjoavan lisäarvoa kaikille asiakkaille riippumatta heidän kokemustasostaan, mikä lisää ohjaustavan kehittämisprojektin merkitystä myös konevalmistajan näkökulmasta.

Käytettävissä olevat tekniset ratkaisut eivät aseta rajoitteita kärkiohjauksen kehittämiselle. Logset käyttää päätyvaimennusten yhteydessä jo valmiiksi anturoituja puutavarakuormaimalleja, joten teoriatasolla kärkiohjauksen käyttöönotto ei vaadi kuin ohjelmistokehitystä. On kuitenkin mahdollista, että ohjausjärjestelmään pitää vielä lisätä antureita, jotta kaikki puutavarakuormaimen käyttöön vaikuttavat tekijät pystytään ottamaan huomioon.

6.2 Visio

Logsetiin tarjoaman kärkiohjauksen tulisi toiminnaltaan olla sellainen, että kokenut ammattikuljettajakin haluaa tehdä työnsä nimenomaan kärkiohjauksella. Mikäli suinkin mahdollista, ei järjestelmän tulisi myöskään vaatia kuljettajalta kärkiohjauksen tilan manuaalista vaihtamista eri työvaiheiden välillä. Kärkiohjausta ei ole tarpeen kytkeä pois päältä vikatilanteiden ohella kuin korkeintaan joissain harvinaisissa erikoistilanteissa, jotka vaativat poistumista kauas normaalilta työalueelta.

Logsetin iskulauseena on jo pidempään ollut ”Simply Better” – yksinkertaisesti parempi. Tämä ei kuitenkaan tarkoita kompromisseja tai oikaisemista toiminnoissa. Vaikka yksinkertainen rakenne on usein kestävämpi ja parempi, tulee kärkiohjauksen olla myös turvallinen ja mukava käyttää. Yksinkertaisuus tässä yhteydessä tarkoittaaakin etupäässä käytön ja huollon helppoutta. Ohjelmistoa rakennettaessa tulisi silti varoa tuottamasta liian monimutkaisia ja vaikeasti ylläpidettäviä rakenteita.

Koneenkuljettajan kannalta paras lopputulos kärkiohjauksen tuotekehitysprojektille olisi järjestelmä, joka toimii kaikissa tilanteissa juuri niin kuin kuljettajan oma ajatus. Tämä voi olla hankala saavutettava, mutta hyvään tulokseen päästään silloin, kun järjestelmän käyttö

vähentää merkittävästi kuljettajalta tarvittavaa aivotyötä, nostaa tuottavuutta ja säästää polttoainetta. Kuljettajakohtaisiin mieltymyseroihin voisi olla tarjolla joitain säätömahdollisuuksia, joilla kuljettaja saa ohjattua algoritmia käyttäytymään tiettyntyyppisissä tilanteissa haluamallaan tavalla. Tällaisella säädöllä olisi oletettavasti lähinnä merkitystä kuormaimen liikkeiden vauhtiin sekä mahdollisesti jatkopuomin ulkonemaan eri tilanteissa.

Järjestelmän tulisi kyetä ennustamaan ja adaptoitumaan liikevaran loppumiseen kustakin sylinteriliikkeestä. Parhaimmillaan järjestelmä voisi olla silloin, jos samalla parannetaan entisestään myös työpumpun ohjauksen kykyä ennakoida kuormaimen ohjauksen vaikutuksia. Järjestelmästä lienee mahdollista tehdä toimiva ilman älykkäiden venttiilien käyttämistä, mutta hydraulijärjestelmän tilan tunteminen on tärkeää. Järjestelmässä vallitsevalla paineella ja sen kyvyllä tuottaa tarvittava virtausmäärä on suuri merkitys siihen, miten kuormain tulee milläkin venttiilinohjauksella liikkumaan.

Tavoitteena Logsetilla on välttää tilanne, jossa markkinoille tuotaisiin keuhno toiminto, josta ei olisi asiakkaille merkittävää hyötyä. Tiedossa on, että kehitystyö tulee viemään useampia vuosia, ennen kuin kärkiohjaus on täysin valmis tuote, mutta hyvät pohjatiedot auttavat pitämään aikataulun kurissa ja tutkimus- ja kehitystyön kohdentuneena tarvittavaan informaatioon. Logsetilta ei oletettavasti tule menemään kymmentä vuotta ominaisuuden tuomiseen markkinoille. Realistisesti ottaen puhutaan kuitenkin kokonaisuudessaan useampia vuosia kestävästä kehitysprojeektista.

Logsetin ei kannata julkaista omaa ratkaisuaan ennen kuin se on täysin valmis ammattikäyttöön, sillä kilpailevien valmistajien valmiit ratkaisut ovat markkinoilla jo nyt. Kärkiohjaus ei metsäalalla ole enää sellainen erikoisuus, että puolivalmiin ratkaisun esittelemine katsoitaisiin hienoksi kehitykseksi. Tässä tilanteessa on järkevämpää malttaa mielensä ja tehdä toiminto rauhassa valmiiksi asti. Aikataulullisesti projektin ei kuitenkaan sovi antaa lipsua, vaan jokaisella vuosineljänneksellä on projektin syytä edistyä jollain tavalla.

6.3 Prototyypit

Projektissa tulisi hyödyntää kattavasti simulaattoriympäristön olemassaoloa, sillä digitaalisten prototyyppien käyttäminen ei sido rahaa projektiin testikoneen arvossa. Kustannussäästöjä digitaalisten prototyyppien käyttämisessä syntyy myös sen kautta, ettei polttoainetta kulu eikä koneita tarvitse rasittaa fyysisesti. Simulaatio ei myöskään kysy aikaa tai paikkaa; jotta kuormaimen käytettävyyttä voidaan kunnolla testata, tarvitaan paitsi itse kone, myös tilaa ja sopivia kappaleita kuormaimelle käsiteltäväksi. Fyysisellä koneella tämä saattaisi tarkoittaa välillä pitkääkin matkaa sopivalle leimikolle, kun taas simulaattoria voidaan hyödyntää suoraan omalta työpisteeltä käsin.

Luonnollisesti kärkiohjauksen toiminta pitää vielä varmistaa myös tosielämän olosuhteissa ennen sen julkaisemista. Tämä on kuitenkin huomattavan pieni osuus testaamisesta ja sijoittuu projektin loppupuolelle. Aiemminkin projektin aikana voi olla hyvä vertailla simulaation ja fyysisen koneen tuntuman vastaavan toisiaan, jotta varmistutaan ohjaustavan kehittämisen kulkevan myös fyysisen koneen käytön kannalta sopivaan suuntaan. Valtaosa kehitystyöstä olisi silti järkevää toteuttaa nimenomaan digitaalisten prototyyppien kanssa.

Simulaatiomallia pitää luonnollisesti muokata uudenlaisen ohjaustavan kehittämisen vaatimalla tavalla. Tähän kuuluu niin erilaisten antureiden ja datankeruupisteiden lisäämistä malliin kuin myös joidenkin mekaanisten osien päivittämistä ja uusien lisäämistä. Tämä on tarpeen, jotta simulaattorin käyttämisestä saadaan projektissa täysi hyöty irti ja voidaan tehokkaasti kehittää ohjausalgoritmeja kaikille kuormainpuomimalleille. Tämä tulee vaatimaan lisäinvestointeja simulaattorikehitykseen, mutta käytettävä summa on oletettavasti saatavissa takaisin osin suorina kustannussäästöinä fyysisten koneiden käyttötarpeen vähentymisen kautta ja osin simulaattorin entistä parempana soveltuvuutena myös muiden projektien ja käyttötilanteiden tarpeisiin.

6.4 Tutkimuskohteet

Tämän opinnäytetyön teon yhteydessä tutkittujen lähteiden lisäksi tarvitaan vielä syventäviä tutkimuksia useille eri osa-alueille. Seuraavaksi esiteltäviin kysymyksiin tarkemmin perehtymällä varmistetaan kehitystyön sujuvuus.

Puutavarakuormaimen tämänhetkinen sijainti voidaan laskea suoralla kinematiikalla. Kun kuljettaja ohjaa kuormaimen kärkeä, siirtyy puomin kärjen tavoiteasema perustuen kuljettajan ohjainsauvoilla tekemiin liikkeisiin. Tämän eron perusteella pitää selvittää kuormaimelle uusi tavoiteasento. Kun tiedetään ero nykyisen ja tavoiteasennon välillä, voidaan selvittää, millaisia ohjauskäskyjä kullekin yksittäiselle venttiililähdölle pitää antaa, jotta nykyisestä asemasta onnistutaan siirtymään tavoiteasemaan. Tämän kaiken laskennan pitää tapahtua reaaliajassa, ja liikeradan tulee jatkua saumattomasti.

Saumattoman liikeradan tavoittelu vaatii Logsetilta vielä nykyistäkin tarkempaa perehtymistä algoritmikehitykseen ja ymmärryksen kehittämistä matemaattisella tasolla. Tässä kohdassa pitää onnistua myös ratkaisemaan aiemmin mainittu jatkopuomin olemassaolon aiheuttama ongelma ylimääräisestä vapausasteesta. Tähän tarkoitukseen vaadittavan algoritmin kehittäminen vaatii paljon paremman matemaattisen ymmärryksen kuin keskimääräisten toimilaitteohjausten rakentaminen, erityisesti jos halutaan ottaa huomioon muutakin kuin pelkkä kärjen asema ja kuormaimen asento.

Hydraulijärjestelmän kapasiteetti pitää määritellä huomattavasti nykyistä tarkemmin. Perinteisessä ohjaustavassa kuljettaja on ottanut huomioon sen, että koneen hydraulijärjestelmästä on saatavilla vain tietyn verran painetta ja virtausta. Kun kuljettaja ohjaa kuormaimen eri liikkeitä suoraan, voi jokin liike rajoittua, mikäli öljyä ei tahdo riittää kaikille liikkeille. Muutenkaan perinteisessä ohjaustavassa ei ole niin häiritsevää, jos koneen suorituskyvyn rajat tulevat vastaan.

Kärkiohjauksen tulisi lähtökohtaisesti olla hyvin tarkka käytöksessään. Lähtökohtaisesti kuitenkin kaikissa toimilaitteohjauksissa muodostuu useissa kohdissa pieniä viiveitä. Tämän lisäksi pieniä viiveitä syntyy anturien havainnoidessa järjestelmän toimintaa. Erittäin hidasta on nopeusmittaus, sillä nopeus on suureena riippuvainen kuluvasta ajasta.

Tavanomaisen, pelkkää asemaa ilmoittavan anturin informaatiota pidemmällä aikavälillä seuraamalla voidaan laskea myös nopeusinformaatio. Erityisesti todella hitaissa liikkeissä syntyy kuitenkin helposti tilanteita, joissa anturien tarkkuus ei riitä siihen, että anturista luettu arvo muuttuisi kovinkaan tiheään. Jos anturin arvo ei muutu seurantavälillä, luulee

järjestelmä toimilaitteen pysyvän paikallaan. Jos anturin arvon seurantaväliä kasvatetaan kovin pitkäksi, reagoi järjestelmä puolestaan varsin hitaasti laitteen nopeuden muutoksiin.

Kiihtyvyyssanturit kertovat puolestaan nopeuden muutosvauhdista. Jotkin kiihtyvyyssantureista osaavat laskea hetkellisen nopeusinformaation itse, osan kohdalla varsinainen nopeustieto voi jäädä ohjausjärjestelmän itsensä laskettavaksi. Kiihtyvyyssantureiden kohdalla ongelmana on tasaisen liikkeen ja paikallaanolon näyttäminen datassa samalta. Tällöin, mikäli liikenopeus jossain kohtaa ylittää anturin mittausalueen, saattaa syntyä tilanteita, joissa laskettu nopeus ja todellinen nopeus eroavat toisistaan merkittävästi.

Tällaisten viiveiden seurauksena järjestelmän havaitessa toteutuneen liikeradan poikkeavan havainnoidusta ollaan virheen korjaamisen kanssa jo lähtökohtaisesti myöhässä. Virheen korjaamisen voi myös tehdä liian aggressiivisesti, jolloin järjestelmä joutuu uudelleen korjaamaan virhettä, mutta tällä kertaa toiseen suuntaan. Tällöin toimilaite saattaa alkaa värähtelemään hallitsemattomasti.

Virhettä voidaan myös korjata taktisesti liian vähän, mutta tällöin toteutunut asema ei koskaan ole sama kuin tavoiteltu ja suuri jättämä saa toimilaitteen käytöksen tuntumaan perässä hinaamiselta. Tarkka ennuste järjestelmän ohjausvasteesta rajoittaa tuota oletetun ja toteutuneen aseman eroa. Kun ohjaus ei ole pelkkä arvaus, vaan perustuu riittävän varmaan ennusteeseen, ei virheenkorjausalgoritmin tarvitse toimia toimilaitetta asemaan ajavana voimana vaan se saa nimensä mukaisesti korjata pieniä virheitä.

Tarkkaan ennusteeseen vaaditaan myös tietoa siitä, paljonko mikäkin sylinteriliike vaatii öljyä. Sylinterin mitoista on melko helppo selvittää, miten paljon tilavuus männän kummallakin puolella muuttuu männän liikkeessa. Pelkkä öljyn määrä ei vielä riitä, vaan järjestelmässä pitää olla myös riittävästi painetta, jotta venttiiliä avattaessa öljy jaksaa pakottaa sylinterin männän liikkeeseen. Nosturin asento ja sen kärjestä roikkuvan taakan määrä vaikuttaa paljon siihen, miten paljon työtä mikäkin sylinteri joutuu tekemään.

Näistä syistä tarkan ennusteen muodostaminen järjestelmän ohjausvasteesta vaatii tarkkaa perehtymistä hydraulijärjestelmän käyttöön. Kun kuljettaja ei enää ohjaakaan sylinteriliikkeitä suoraan, ei hän enää voi todeta myöskään tehneensä arviointivirhettä siinä, montaako liikettä hän voi tehdä yhtä aikaa. Kärkiohjauskäytössä kuljettaja olettaa

ohjaavansa kuormaimen kärkeä suoraan, eikä tällöin ole soveliasta, että esimerkiksi öljyntuoton riittämättömyyden takia jokin osaliikkeistä pysähtyy yllättäen täysin.

Kuljettajan näkökulmasta looginen vaste on tärkeä myös sen kannalta, että kuljettaja koee hallitsevansa konetta. Kone, joka ei ole hallittavissa, ei ole mukava käyttää. Kuljettajan on myös hankala ottaa vastuuta laitteesta, joka selkeästi tekee jotain muuta kuin mitä siltä kuvittelee pyytävänsä.

Vastuukysymysten takia onkin tarpeen vielä perehtyä entistä tarkemmin siihen, aiheuttaako kärkehjaustavan käyttöönottoaminen vaatimuksia jonkin uuden standardin tai direktiivin seuraamiselle. Konedirektiivi ei ole ainut nykyaikaisten metsäkoneiden suunnittelulle ja toteutukselle vaatimuksia asettava määräys. Automaation lisääntyessä ja kuljettajan suorittaman suoran ohjauksen vähentyessä saattaa olla tarpeen perehtyä tarkemmin esimerkiksi robotiikan alan standardeihin.

Määräysten lisäksi rajoitteita tekemiselle saattavat aiheuttaa mahdolliset patentit ja hyödyllisyysmallit. Mahdollisuuksien mukaan toiminnot voidaan ~~joke~~ suunnitella sellaisiksi, että ne eivät loukkaa minkään tahon patentteja, mutta joskus saattaa olla tarpeen sopia patentinhaltijan kanssa lisenssimaksuista. Kärkehjaus sinällään ei ole mitenkään uniikki tai ennenkuulumaton ratkaisu, mutta se ei poista mahdollisuutta, että jollain taholla voisi olla menetelmään liittyen jokin voimassa oleva patentti.

Kaiken edellä mainitun lisäksi tulisi vielä kiinnittää huomiota myös anturitekniikkaan. Logset käyttää jo valmiiksi muutamassa kuormainpuomissa erinäisiä anturiratkaisuja. Käytössä on niin sylinteriantureita, kulma-antureita kuin pulssiantureitakin. Ainakin Technion käyttää kuitenkin kallistusantureihin perustuvaa ratkaisua (Technion, i.a.). Kärkehjauksen kannalta kuormaimen asentotiedon on oltava riittävän tarkkaa, joten Logsetin kannattaa tutkia, onko nykyisten anturointiratkaisujen tarkkuus kärkehjauksen kannalta riittävällä tasolla. Tämän lisäksi kannattaa vielä tutkia myös muita anturointivaihtoehtoja sen kannalta, onko nykyisin käytössä oleva ratkaisu paras mahdollinen kustannus-laatusuhteeltaan.

7 POHDINTAA

Metsäkoneiden kohdalla nykyinen kehityssuunta vaikuttaa etenevän yhä tarkemman ja tarkemman informaation keräämiseen järjestelmän ja ympäristön tilasta. Pitkän ajan tähtäimellä on nähtävissä paljon uusia mahdollisuuksia, kuten esimerkiksi joidenkin työvaiheiden automatisointia. Kuormatraktoripuomi voisi esimerkiksi nostaa maassa kiinni napatun taakan automaattisesti kuormatilaan. Harvesteripuomi voisi osata pudotella eri tavaralajit omiin kasoihinsa metsässä itsenäisesti, ilman että kuljettajan täytyy manuaalisesti siirrellä puomia välissä. Tulevaisuudessa siintää myös esimerkiksi selkeäpiirteisissä plantaasiolosuhteissa toimivien täysautomaattisten metsäkoneiden kehittäminen.

Lyhyemmälläkin tähtäimellä kuormaimenohjaukseen voidaan tehdä joitakin avustavia toimintoja, kuten esimerkiksi kuormatraktorikäytössä kouran liikeradan ohjautuminen automaattisesti ohi pankoista. Pidemmälle vietyjä, myös kuormaimen ulkopuolista dataa vaativia kehitysmahdollisuuksia olisivat esimerkiksi harvesterikäytössä hakkuupään automaattinen hakeutuminen puun kohdalle sekä kuormatraktorikäytössä vastaava toiminto, jossa koura asettuisi automaattisesti maassa makaavan puukappaleen kohdalle.

Kärkiohjaukseen siirtymisen hyödyt vaikuttavat jo nykyisenkin tietämyksen valossa kiistattomilta. Niin uusien kuin vanhojenkin kuljettajien kannalta uuteen ohjaustapaan siirtyminen vaikuttaisi kannattavalta, ja alati kehittyvien ohjausalgoritmien kanssa tuo ohjaustavan muutoksen kannattavuus tuskin on ainakaan heikkenemässä. Säästöjä tulee niin kuljettajan henkisen kuormittumisen kuin myös koneen fyysisen kuormittumisen vähenemisestä. Polttoaineen tuntikulutus toki saattaa ohjaustavan muuttumisen myötä jopa nousta, sillä koneen hallittavuus ja sitä myötä myös tuottavuus paranee ja metsästä saadaan työvuoron aikana entistä enemmän puuta irti. Tämä ei kuitenkaan haittaa, kunhan polttoaineenkulutus tuotettua yksikköä kohti pienenee.

Moni kokenut kuljettaja varmasti taitaa puomin liikkeet taitavasti ilman kärkiohjaustakin, ja tietynlaisella kalustolla operoimaan tottuneelle voi aluksi olla vaikeaa ja turhauttavaakin koittaa opetella pois aiemmin opituista tavoista. Jo pelkkien aktiivisten päätyvaimennuksien kehityksen aikana Logsetin oman testikuljettajan usko vaimennuksien toimintaan lopui paikoin ennen kuin päätyvaimennukset edes ehtivät puuttua kuormaimen toimintaan,

sen verran selkärankaan iskostunutta oli liikkeiden manuaalinen vaimentaminen niiden lähestyessä äärirajojaan. Kun koneen kanssa kuitenkin pääsee sinuiksi ja alkaa luottaa järjestelmän toimivuuteen, on jo pelkillä aktiivisilla päätyvaimennuksilla erittäin merkittäviä vaikutuksia ajomukavuuteen. Harvestereissa käytettävien liikeratanostureiden kohdalla ollaan jo pelkkien päätyvaimennustenkin myötä varsin lähellä kärkiohjausta.

8 PÄÄTÖSSANAT

Opinnäytetyön aikana läpikäydystä lähdemateriaalista vahvistui moni asia, joka jo sinälleen oli tullut tutuksi oman päivätyöni kautta. Merkittävä määrä läpikäydyistä lähteistä ei missään vaiheessa päätnyt osaksi tätä opinnäytetyötä, mutta yhdenkään dokumentin läpikäyminen ei kuitenkaan jäänyt harmittamaan. Selkeäksi kävi myös se, että itselläni on edessä vielä paljon uutta opittavaa metsäkoneista.

Vielä koulusta valmistumattomaksi opiskelijaksi suhteellisen pitkä urani päivätoissā alalla häiritsi hieman opinnäytetyön kirjoittamista. Tekstin tuottamisessa monessa kohdassa piti olla tarkkana, että kirjoitan tekstiä nimenomaan viittaamani lähdemateriaalin perusteella. Jokapäiväisessä elämässä ei alkuperäisen lähteen tai tiedon hakuajankohdan muistamisella ole useinkaan kovin suurta merkitystä, kunhan asiasisältö on faktatietoa. Opinnäytetyössä pitää kuitenkin olla tarkkana lähteiden käytön kanssa.

Opinnäytetyön käynnistämisen kanssa oli itselläni alun perin huomattavia ongelmia. Työn aihe ja tavoite vaihtuivat useaan kertaan. Opinnäytetyön tekeminen päivätyön ohella ei tahtonut onnistua, ja lopulta työn tekeminen venyikin alkuperäisestä tavoitteesta parilla vuodella. Loppuvaiheessa työ kuitenkin rajautui sellaiseen muotoon, jossa sen tekeminen onnistui. Myös työnantajan merkittävä panostus työn valmiiksi saattamiseksi auttoi paljon. Olen tästä Logsetille erittäin kiitollinen.

Jälkiviisaana ajatellen olisi pitänyt jo alun perinkin olla liikkeellä huomattavasti tehokkaammin. Työn tekemiselle olisi pitänyt varata aikaa jo silloin, kun se ei vielä ollut henkisenä rasitteena. Tuolloin mielenkiinto oli kuitenkin enemmän päivätyön tekemisessä eikä opinnäytetyön puuttuminen vielä näyttäytynyt suurena ongelmana. Opintojen keskeneräisyys alkoi ajan mittaan kuitenkin muodostua henkiseksi kuormitukseksi.

Opinnäytetyön tekeminen avasi paljon uusia näkökulmia omien työskentelytapojen tarkasteluun. Henkilökohtaiset erot siinä, millaiset työskentelytavat kenellekin toimivat tehokkaimmin, saattavat olla suuria. Itselleni tuli lopulta positiivisena yllätyksenä vastaan, miten paljon on mahdollista saada aikaiseksi, kun työtapo on itselle sopiva. Työtapojen toimivuudesta opinnäytetyön aikana syntyneiden havaintojen sovittaminen jokapäiväiseen

toimintaan myös muiden projektien ja tavanomaisten työtehtävien kohdalla tulee helpottamaan omaa toimintaani jokapäiväisessä työelämässä.

LÄHTEET

Airila, M. (1999). *Mekatroniikka*. (Viides korjattu painos). Yliopistokustannus / Otatieto.

AMETEK. (i.a.). *Cylinder position sensor for hydraulic cylinders*. <https://www.ametekfactoryautomation.com/industries/cylinder-industry/position-monitoring-instrumentation-for-hydraulic-cylinders>

Bindicator. (i.a.). *Yo-Yo™ series level indicator*. <https://www.bindicator.com/p/continuous-level-measurement/yo-yo-series-level-indicator/>

Collins, D. (21.6.2019). *What are draw-wire sensors and where are they used?* Linear Motion Tips. <https://www.linearmotiontips.com/what-are-draw-wire-sensors-and-where-are-they-used/>

Fonselius, J. (1999). *Hydrauliikka*. (8.–9. Painos). Edita.

Herbin, P., & Pajor, M. (2017). Modelling kinematics of a loading crane with a redundant kinematic structure. *Journal of Machine Construction and Maintenance* 3/2017, (106), s. 31–35.

Hiab. (i.a.). *CTC – Crane Tip Control*. Haettu 23.3.2023. https://www.hiab.com/globalassets/documents/media/news/hiab-crane-tip-control/pf-ctc-en-eu_1.pdf?file=PF-CTC-EN-EU_L.pdf

Hyyti, H., Lehtola, V., & Visala, A. (2018). Forestry crane posture estimation with a two-dimensional laser scanner. *Wiley Periodicals*. <http://hdl.handle.net/10138/252775>

Ifm. (i.a.-a). *Applications and use cases*. <https://www.ifm.com/de/en/shared/products/inclination-sensors/applications-and-use-cases>

Ifm. (i.a.-b). *Dynamic inclination sensors*. <https://www.ifm.com/de/en/shared/products/inclination-sensors/dynamic-inclination-sensors>

Ifm. (i.a.-c). *Inclination sensor technology*. <https://www.ifm.com/de/en/shared/products/inclination-sensors/inclination-sensor-technology>

Ifm. (i.a.-d). *Kulma-anturit*. https://www.ifm.com/fi/fi/category/200_030_010

John Deere. (i.a.). *IBC*. Haettu 22.3.2023. <https://www.deere.fi/fi/metsakoneet/ibc/>

- Kalmari, J. (2015). *Nonlinear model predictive control of a hydraulic forestry crane*. [Väitöskirja, Aalto-yliopisto]. Aaltodoc. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-60-6325-6>
- Komatsu. (i.a.-a). *Komatsu Smart Crane*. Haettu 22.3.2023. <https://www.komatsuforest.com/forest-machines/our-forwarders/smart-crane-for-forwarders>
- Komatsu. (i.a.-b). *Smart Crane harvesters*. Haettu 22.3.2023. <https://www.komatsuforest.com/forest-machines/our-wheeled-harvesters/smart-crane-for-harvesters>
- Komatsu. (i.a.-c). *SmartFlow*. Haettu 22.3.2023. <https://www.komatsuforest.fi/media/uutiset/smartflow>
- Konttinen, H., & Drushka, K. (1997). *Metsäkoneiden maailmanhistoria*. Otava.
- Kronos. (i.a.). *Smart Boom Control (SBC) 2.0*. Haettu 31.3.2023. <https://kronos.fi/fi/tuote/xcrane/>
- Landy, B. (i.a.). *Basic Forwarder Operating Manual*. Tampereen yliopisto.
- Lepola, T. (i.a.). *Logset 506H –harvesterimalli oli tuotannossa 1994–2001*. [Valokuva].
- Lepola, T. (2023). *Kuvassa korostettuina kuormatraktorin kuormatila ja työsektori*. [Kuvio].
- Liebherr. (i.a.). *Intelligence for hydraulic cylinders: LiView® position transducer*. Liebherr.
- Liebherr. (2017). *Liebherr LiView*. [Valokuva]. <https://www.liebherr.com/shared/media/corporate/news/news-2017/04/26/cot/liview/liebherr-liview-position-transducer-72dpi.jpg>
- Logset. (i.a.-a). *Logset 5F -kuormatraktori purkamassa kuormaa*. [Valokuva]. <https://logset.fi/wp-content/uploads/2022/04/DSC06012-1024x680.jpg>
- Logset. (i.a.-b) *Logset 1992–2012: Sitkeys voittaa*.
- Logset. (i.a.-c). *Ota yhteyttä – Logset*. <https://logset.fi/ota-yhteytta/>
- Logset. (i.a.-d) *Tuotteet – Logset*. <https://logset.fi/tuotteet/>
- Logset. (2021). *Logset 10F kantamassa kahta puutavaranippua*. [Valokuva]. Logset-kalenteri 2022.
- Logset. (30.3.2023). *Henkilöstöinfotilaisuus*.
- Löfgren, B. (2004). *Kinematic control of redundant knuckle booms*. [Lisensiaatintutkielma, Stockholm Royal Institute of Technology]. ResearchGate.

https://www.researchgate.net/publication/228702094_Kinematic_control_of_redundant_knuckle_booms

Manner J., Gelin O., Mörk A., & Englund M. (2017). Forwarder crane's boom tip control system and beginner-level operators. *Silva Fennica*, 51(2), artikkeli 1717. <https://doi.org/10.14214/sf.1717>

Manner, J. Mörk, A., & Englund, M. (2019). Comparing forwarder boom-control systems based on automatically recorded follow-up dataset. *Silva Fennica*, 53(2), artikkeli 10161. <https://doi.org/10.14214/sf.10161>

Mesera. (17.05.2006). *83FT100i -taittopuominosturi*. [Kuvio]. https://mesera.fi/wp-content/uploads/2020/01/F83FT100i_760591_1.pdf

Mesera. (10.7.2014). *122FT100i -taittopuominosturi*. [Kuvio]. https://mesera.fi/wp-content/uploads/2020/01/M122FT100i_7090541_oct14.pdf

Mesera. (26.3.2015). *204H103i -liikeratanosturi*. [Kuvio] https://mesera.fi/wp-content/uploads/2020/01/240H103i_7040501_3.pdf

Metsäteho. (2005). *Korjuun suunnittelu ja toteutus -opas*. Metsäteho.

Mevea. (i.a.). *Mevea Digital Twin technology solution*. Haettu: 3.4.2023. <https://mevea.com/solutions/digital-twin/>

Ponsse. (i.a.-a). *Harvesterit*. Haettu 2.4.2023. <https://www.ponsse.com/fi/tuotteet/harvesterit/#/>

Ponsse. (i.a.-b). *Ponsse Active Crane*. Haettu 22.3.2023. <https://www.ponsse.com/fi/tuotteet/raataloidyt-ratkaisut/tuote/-/p/activecranebisonbuffaloelephant#/>

Ponsse. (2022). Ponsse Harvester Active Crane -järjestelmä kuljettajan tukena. *Ponsse news* 1/2022. s. 26–27. https://isu.suu.com/ponsseplc/docs/ponsse_news_01_22_fin_lowres/1

Rissanen, T. (2002a). *Kehityshankkeen toteuttaminen yrityksessä*. Pohjantähti Polestar.

Rissanen, T. (2002b). *Projektilla tulokseen*. Pohjantähti.

Ruuska, J., & Virtanen, H. (2022). *Metsäkoulu*. (11. painos). Tapio Palvelut.

SIKO. (i.a.). *Position sensors for hydraulic cylinders*. <https://www.siko-global.com/en-gb/industries-solutions/position-sensors-for-hydraulic-cylinders>

SIKO. (i.a.). *Sylinterinsisäinen vetovaijerianturi*. [Kuvio]. https://content8.aufwind-solutions.de/assetDB2.0/scripts/create_web_image_path.php?asset_id=33117&asset-size=9&pid=siko&hc=c8f2e40151107750c8343fec1a75073f

Technion. (i.a.). *Nosturin ohjaus*. Haettu 31.3.2023. <https://technion.fi/fi/kuormaimen-ohjaus/>