

## **Kuljettajaa opastavat älykkäät järjestelmät ja niiden käyttö koneellisessa puunkorjuussa**

Kari Väätäinen, Tanja Ikonen, Jari Ala-Ilomäki, Matti Sirén, Sami Lamminen ja Antti Asikainen

Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute -sarjassa julkaistaan tutkimusten ennakkotuloksia ja ennakkotulosten luonteisia selvityksiä. Sarjassa voidaan julkaista myös esitelmiä ja kokouskoosteita yms.

Sarjan julkaisut ovat saatavissa pdf-muodossa sarjan Internet-sivuilta.

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/>  
ISSN 1795-150X

**Toimitus**

PL 18, 01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2102  
sähköposti [julkaisutoimitus@metla.fi](mailto:julkaisutoimitus@metla.fi)

**Julkaisija**

Metsäntutkimuslaitos  
PL 18, 01301 Vantaa  
puh. 010 2111  
faksi 010 211 2102  
sähköposti [info@metla.fi](mailto:info@metla.fi)  
<http://www.metla.fi/>

<b>Tekijät</b> Väätäinen, Kari, Ikonen, Tanja, Ala-Ilomäki, Jari, Sirén, Matti, Lamminen, Sami ja Asikainen, Antti			
<b>Nimeke</b> Kuljettajaa opastavat älykkäät järjestelmät ja niiden käyttö koneellisessa puunkorjuussa			
<b>Vuosi</b> 2012	<b>Sivumäärä</b> 40	<b>ISBN</b> 978-951-40-2351-4 (PDF)	<b>ISSN</b> 1795-150X
<b>Alueyksikkö / Tutkimusohjelma / Hankkeet</b> Joensuun toimipaikka / EffFibre-tutkimusohjelma / Älykkäät kuljettajaa opastavat järjestelmät koneellisessa puunkorjuussa			
<b>Hyväksynyt</b> Henrik Heräjärvi, PUU-ohjelman johtaja, 30.1.2012			
<b>Tiivistelmä / Abstract</b> <p>Työkoneiden automaatioasteen lisäämisestä huolimatta ihmisen rooli työkoneiden ohjauksessa on säilynyt merkittävänä ja kuljettajan merkitys korostuu erityisesti metsäkonetyöskentelyssä. Kuljettajaa opastavien älykkäiden järjestelmien arvioidaan lisäävän koneelliseen puunkorjuun tuottavuutta. Opastavien järjestelmien tutkimus- ja kehitystyötä on tehty pitkähkön aikaa muun muassa auto- ja lentokoneiteollisuudessa. Työkoneisiin kuljettajaa opastavia järjestelmiä on otettu käyttöön laajemmin vasta viime vuosina. Metsäkonetyössä opastuksesta voisi olla hyötyä erityisesti kokemattomille kuljettajille, joilla työn laatu ja tuottavuus sekä konetta säästävä hallittu käyttö eivät vielä ole kokeneempien kuljettajien tasolla. Kuitenkin myös kokeneet kuljettajat voisivat todennäköisesti saada merkittävää hyötyä joihinkin työnsä osa-alueisiin.</p> <p>Tässä raportissa esitetään yleiskuva kuljettajaa opastavien älykkäiden järjestelmien lähtökohdista, toimintaperiaatteista ja käyttökohteista teollisuuden toimialoilla. Kirjallisuustutkimus kokoaa tuoreimman tiedon ja käsityksen opastavien järjestelmien vaikutuksista itse kuljettajaan sekä työ- ja ajosuoritukseen. Järjestelmien toimintaan olennaisesti liittyvää aistinteknologiaa on myös tuotu esille.</p> <p>Tietojärjestelmien ja aistinteknologian kehittyminen on mahdollistanut koneen ja kuljettajan toimintojen sekä ympäristön tarkemman monitoroinnin. Kerätyn tiedon käsittely ja siitä jalostettu palaute ja opastus kuljettajalle muun muassa työn suunnittelua ja päätöksentekoa avustavien karttaopasteiden sekä työmenetelmä ja -tekniikkaopasteiden avulla tarjoavat kuljettajalle mahdollisuuden tehokkaampaan ja laadukkaampaan työhön. Useimmat työkoneen tai ajoneuvon kuljettajat toivovat saavansa enemmän opastusta ja palautetta työstään. Käyttäjäkokeemukset opastavista ja puoliautomaattisista järjestelmistä ovat olleet positiivisia ja järjestelmien tuoman hyödyn on todettu olevan merkittävä. Kuljettajaa opastavan järjestelmän suunnittelussa on kuitenkin harkittava tarkkaan, missä muodossa järjestelmä otetaan käyttöön, jotteivät järjestelmän käytöstä aiheutuvat mahdolliset negatiiviset haittavaikutukset kumoa järjestelmän tuomia hyötyjä.</p> <p>Despite of increased degree of automation, the importance of human operator is still high in mechanized logging. In the future, semi-automation and intelligent operator tutoring systems are expected to increase the productivity of logging operations. Intelligent operator tutoring systems could ease the work and improve its quality especially for inexperienced operators, although more experienced operators are also expected to benefit in some areas of the work.</p> <p>This report presents the state of the art of the operator tutoring/assisting systems in varying sectors of industry. Technology of automation and tutoring systems, some latest innovations and results of human-computer interaction and human feedback on tutoring systems are presented.</p> <p>During the last decades, investments in operator tutoring system R&amp;D have been large particularly in traffic and transportation sector. The development of sensoring, data transferring and information technology have enabled automatic monitoring of machine functions, operator action and operating environment with increasing accuracy and reliability. Efficient data handling and analyzing provide information for the operator tutoring systems easing the planning and decision making tasks of machine operators.</p> <p>Most of the operators are willing to receive more feedback concerning their work. Intelligent assisting and feedback systems have mainly received positive response from the users. Potential negative effects should still be carefully taken into account in system development.</p>			
<b>Asiasanat / Keywords</b> kuljettajaa opastava järjestelmä, automaatio, aistinteknologia, käyttäjäkokemus operator tutoring system, automation, sensor technology, human feedback			
<b>Julkaisun verkko-osoite</b> <a href="http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp223.htm">http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2012/mwp223.htm</a>			

Tämä julkaisu korvaa julkaisun
Tämä julkaisu on korvattu julkaisulla
<b>Yhteydenotot</b> Kari Väätäinen, Metsäntutkimuslaitos, Itä-Suomen alueyksikkö, Yliopistokatu 6, PL 68, 80101 Joensuu Sähköposti: kari.vaatainen@metla.fi
<b>Muita tietoja</b> Tutkimus kuului Metsäklusterin alaiseen EffFibre ohjelman WP3-hankekokonaisuuteen nimeltä ”Operational efficiency of intensified wood production and supply” ja sen sisällä hankkeeseen ”Intelligent operator tutoring systems for wood harvesting”. Ohjelman ja hankkeen kesto on 3 vuotta ja päättyy kesällä 2013.

## Sisällys

1 Johdanto .....	6
1.1 Koneen kuljettaja merkittävässä roolissa.....	6
1.2 Tietojärjestelmät avuksi kuljettajan opastukseen .....	7
1.3 Lähtökohta ja tavoite kirjallisuustarkastelulle.....	7
2 Laite-, sensori- ja järjestelmäteknologiaa .....	8
2.1 Tiedon keruu ja siirto.....	8
2.2 Koneen tilaa ja asemaa mittaavat laitteet ja aistimet, konenäkö .....	9
2.3 Satelliittipaikannusjärjestelmät.....	11
2.4 Kuljetuksenohjausjärjestelmät ja reittioptimointi .....	13
3 Kuljettajaa opastavat järjestelmät ja automaatio .....	15
3.1 Opastavat järjestelmät osana automaation kehitystä .....	15
3.2 Kuljettajaa opastavien järjestelmien hyötyjä ja haittoja .....	17
3.3 Käyttäjäkokemuksia älykkäistä kuljettajaa opastavista järjestelmistä .....	19
3.4 Ihmisadaptiivinen mekatroniikka (HAM) .....	20
3.5 Älykkäiden opastavien järjestelmien tulo metsäkoneisiin .....	21
4 Älykkäät kuljettajaa opastavat järjestelmät – esimerkkejä käytännön sovelluksista.....	23
4.1 Lentoliikenne ja autopilotti.....	23
4.2 Maanviljely ja maanrakennus .....	24
4.3 Maantiiliikenne .....	25
4.4 Kaivosteollisuus ja satamalogistiikka.....	26
5 Kuljettajaa opastavien järjestelmien käyttö metsäkoneissa .....	28
6 Yhteenveto ja päätelmät .....	32
Kirjallisuus .....	34

## 1 Johdanto

### 1.1 Koneen kuljettaja merkittävässä roolissa

Metsäkonetyön luonne on muuttunut voimakkaasti koneellisen puunkorjuun aikakaudella. Koneellisessa hakkuussa koneen hallitun ja tehokkaan käsittelyn lisäksi työhön on tullut monia muitakin osa-alueita, joiden hallinta on välttämättömyys hyvälle kuljettajalle (Juntunen 1999, Väätäinen ym. 2005, Kariniemi 2006). Metsäkoneenkuljettaja joutuu työssään samanaikaisesti ottamaan huomioon koneen taloudellisesti kannattavan ja konetta säästävän käytön, kokonaisvaltaisen korjuutyön jäljen, intressiryhmien erilaiset näkemykset, korjuutyön kokonaistehokkuuden sekä kestävän kehityksen periaatteet (Ranta 2004, Väätäinen ym. 2005). Useimmissa tutkimuksissa onkin todettu, että suunnittelun ja päätöksenteon määrä ja merkitys eritoten hakkuukonetyössä on kasvanut (Gellerstedt 2002, Ranta ym. 2004, Väätäinen ym. 2005, Kariniemi 2006, Ovaskainen 2009).

Kuljettajan vaikutus konetyön kokonaistuottavuuteen ja -laatuun on merkittävä ja erot kuljettajien välisessä tuottavuudessa voivat olla useita kymmeniä prosentteja (Ryynänen ja Rönkkö 2001, Väätäinen ym. 2005, Tervo ym. 2010). Koneellinen puunkorjuu pohjoismaisissa olosuhteissa vaatii runsaasti kokemusta työskentelystä vaihtelevissa olosuhteissa. Kokemuksen vaikutus työsuoritusasteeseen on todettu hyvin merkittäväksi; yhdenmukaisella kalustolla yhdenmukaisissa korjuuolosuhteissa työskennellessä kokeneen hakkuukoneenkuljettajan tuottavuus kokemattomaan verrattuna voi olla yli kaksinkertainen (Peltola 2003, Kariniemi 2006, Ylimäki ym. 2012). Myös työurallaan pitkään toimineiden kokeneiden kuljettajien väliset erot voivat olla huomattavan suuret; jopa 50 % (Sirén 1998, Väätäinen ym. 2005, Kariniemi 2006, Ovaskainen 2009). Edelleen kuljettajasuorite-erot näyttävät kasvavan työskentelyolojen muuttuessa haastavammiksi (Ranta ym. 2004).

Metsäkonetyö on monitahoista, vastuullista sekä edellyttää tehokasta informaation hallintaa ja päätöksentekokykyä. Tämän johdosta kuljettajan normaaliin kokonaisvaltaiseen suoritustasoon johtava työssäoppimisaika on poikkeuksellisen pitkä (Gellerstedt 2002, Purfürst 2010). Työuraansa aloittelevan kuljettajan työssäoppimisaika on työn vaativuudesta riippuen 0,5...1,5 vuotta. Tänä aikana tuottavuus kasvaa kaksinkertaiseksi (Gellerstedt ym. 2005, Purfürst 2010).

Hakkuukonetyöhön tarvitaan taitavia ja motivoituneita kuljettajia. Tällaiset kuljettajat ovat hyvin kysytyjä työmarkkinoilla, ja myös heidän osaamisensa taustoista ollaan kiinnostuneita. Hakkuun koneellistumisen myötä 1980-luvulla ammattitaitoisten kuljettajien tarve johti hakkuukoneenkuljettajien koulutuksen käynnistämiseen vuonna 1988 (Juntunen 1998). Kuljettajakoulutusta on kehitetty vastaamaan paremmin käytännön tarpeita ja opetukseen on tullut mukaan uusia menetelmiä (mm. metsäkonesimulaattorit) tehostamaan oppimista ja koulutusresursien käyttöä (Ranta 2004). Puunkorjuussa ja puunhankinnassa toimivien henkilöiden mukaan metsäkoneenkuljettajakoulutusta tulisi edelleen kehittää, jotta ammattitaitoisempia kuljettajia valmistuisi kouluista enemmän ja nopeammin (Oikari 2008, Laitila ym. 2010). Ammattitaitoisista hakkuukoneenkuljettajista on ollut jatkuvasti pulaa ja tulevaisuudessa ongelma näyttäisi vain kasvavan (Juntunen 1998, Laitila ym. 2010).

## 1.2 Tietojärjestelmät avuksi kuljettajan opastukseen

Kuljettajan oppimisella ja hänen saamallaan palautteella on työn tuottavuutta ja tehokkuutta ajatellen suuri merkitys. Useat sosiaalipsykologian teoriat osoittavat, että ihminen haluaa saada palautetta suorituksistaan (Huang ym. 2005). Työkonetyöskentelyssä kuljettajat eivät tällä hetkellä juurikaan saa palautetta työskentelystään työpäivän aikana. Vaikka asetettu tavoite tai päämäärä työskentelyssä saavutettaisiinkin, kuljettajan on vaikea arvioida, onko kaikki työvaiheet suoritettu mahdollisimman tehokkaasti (Palmroth ym. 2009). Ollakseen hyödyllistä ja tehokasta, palautteen on oltava luotettavaa, järjestelmällistä ja sen on tultava ajoissa (Huang ym. 2005). Pelkästään niin sanottu tekemällä oppiminen voi johtaa tehottomien työtapojen omaksumiseen ja alhaiseen tuottavuuteen (Oikari 2008).

Metsäkoneiden tietojärjestelmät ovat kehittyneet siinä määrin, että konetoiminnoista ja kuljettajan hallintalaitteiden käytöstä tallennettua raakatietoa voidaan analysoida ja hyödyntää kuljettajapalautteena ja opastuksena parempiin työskentelymalleihin. Jo nyt tai lähitulevaisuudessa metsäkoneissa voidaan hyödyntää älykästä paikkatietoa, konenäkösovelluksia sekä ihminen-kone -järjestelmän seuranta reaaliaikaisella palautteella.

Metsäkonetyössä kuljettaja toimii itsenäisesti korjuutyömaalla. Työvuoron aikana suorat henkilökontaktit ja työsuoritusta koskevat palautteet ovat vähäisiä. Kuljettajaa opastavien järjestelmien avulla kuljettajan saama palautetta voidaan merkittävästi lisätä. Tällä hetkellä kuljettajan saama palaute on useimmiten pelkkä tieto työn tuottavuudesta. Uusimmissa metsäkoneissa on mahdollisuus myös vertailla työn tuottavuutta ja työvaiheiden ajanmenekkejä kuljettajan aiempiin työmaihin. Myös vertailu muihin, samankaltaisissa työoloissa toimiviin koneisiin on mahdollista. Pidemmälle vietyjä kuljettajaa opastavia järjestelmiä, jotka esimerkiksi opastaisivat kuljettajaa käyttämään kuormainta tehokkaammin tai taloudellisemmin, vihjeistämään korjuun kokonaistehokkuuden kannalta parempiin työmenetelmiin ja -tekniikoihin, ei ole vielä metsäkoneissa käytössä. Metsäkonetyön monimutkaisuus ja kuljettajien vaihtelevat psyko-fysiologiset ominaisuudet tuovat lisähaasteita kuljettajaa opastavien järjestelmien tutkimiseen ja kehittämiseen.

## 1.3 Lähtökohta ja tavoite kirjallisuustarkastelulle

Useimpien työkoneiden tekninen kehitys ja siten suorituskyvyn kasvu on ollut nopeaa. Tänä päivänä tuottavuuden kasvun rajoitteena onkin useimmiten kuljettaja, ei kone. Kuljettajan suoritetaso jää usein kauas koneen potentiaalista, joten uusia keinoja kuljettajatyön tehostamiseksi tulisi löytää. Suoritetason parantaminen ei kuitenkaan saa lisätä työn kuormittavuutta. Uusien järjestelmien tulisikin helpottaa työn suunnittelua ja kuljettajan päätöksentekoa sekä poistaa epävarmuutta työskentelyn aikana. Olennainen kysymys on, miten työn aikainen kuljettajaopastus toteutetaan.

Tietojärjestelmien, tiedonhallintakapasiteetin ja konetoimintojen monitoroinnin kehittyminen sekä kerätyn aineiston prosessointi- ja analyysityökalujen käyttöönotto on avannut mahdollisuuden ihminen-kone järjestelmätietojen hyödyntämiseen kuljettajaopastuksessa (Tervo 2010, Palmroth 2011). Useimpien työkoneiden kehitystyössä ollaan tilanteessa, jossa konetoimintojen automatisoinnilla ja opastavilla järjestelmillä voidaan saavuttaa suuremmat hyödyt kuin komponenttikehityksellä. Luotettavat ja hyötyä tuottavat opastus- ja palautejärjestelmät vaativat kuitenkin laite- ja sensortechniikkaa, joka rekisteröi tietoa työsuorituksesta, -ympäristöstä ja koneesta.

Koneellinen puunkorjuu poikkeaa työympäristöltään useimmista muista konetoista. Työskentely tapahtuu vaihtelevissa olosuhteissa. Korjuukohteet ovat erilaisia ja vaihtelevat muun muassa puuston, metsän käsittelyn, maaston, sääolojen ja valaistuksen suhteen. Koneenkuljettajat eroavat toisistaan psyko-fysiologisesti. Yksittäisen kuljettajan motivaatio, havainnointikyky ja jakaminen vaihtelevat niin työpäivien sisällä kuin välilläkin. Nämä tekijät yhdessä tuovat haasteensa ja rajoitteensa älykkäiden, tietokoneperusteisten kuljettajaa opastavien järjestelmien kehittämiseksi. Aihepiirin tutkimus- ja kehitystoiminta on nuorta, mutta joitakin tutkimuksia kuljettajan työn ja taitotason tunnistamisesta ja siihen tukeutuvasta kuljettajaopastuksen kehittämisestä metsäkonetyössä on jo julkaistu (kts. Tervo 2010, Palmroth 2011).

Erilaisia työn turvallisuutta, laatua ja tuottavuutta parantavia opastavia palautejärjestelmiä on jo pidempään käytetty esimerkiksi maantie-, rautatie- ja lentoliikenteessä. Metsäkonetyössä opastuksesta voisi olla hyötyä erityisesti kokemattomille kuljettajille, joilla työn laatu ja tuottavuus sekä konetta säästävä hallittu käyttö eivät vielä ole kokeneempien kuljettajien tasolla. Kuitenkin myös kokeneet kuljettajat voisivat todennäköisesti saada merkittävää hyötyä joihinkin työnsä osa-alueisiin.

Tässä raportissa kartoitetaan kuljettajaa opastavien järjestelmien ja automaation erityispiirteitä ja käyttöä teollisuudessa. Kokemukset muilta toimialoilta ovat hyvä lähtökohta metsäkoneiden opastusjärjestelmien kehittämiseksi. Läpileikkauksena esitellään automaatio- ja opastaviin järjestelmiin olennaisesti kuuluvia koneen tilaa aistivia komponentteja, järjestelmiä ja sovelluksia, joilla tuotetaan päätöstukitietoa kuljettajalle. Myös opastusjärjestelmien mahdollisia hyötyjä ja haittoja esitellään. Tässä raportissa toiminnanaikainen kuljettajaopastus on käsitetty välineeksi tai järjestelmäksi, jolla a) helpotetaan kuljettajan päätöksentekoa, b) opastetaan tehokkaisiin toimintatapoihin ja työtekniikoihin ja c) opastetaan käyttämään konetta taloudellisesti kuormittamatta konejärjestelmää ja sen komponentteja tarpeettomasti.

## **2 Laite-, sensori- ja järjestelmäteknologiaa**

### **2.1 Tiedon keruu ja siirto**

Työkoneissa käytetään laite-, järjestelmä- ja sensoriratkaisuja, joilla kerätään tietoa työskentelyn tehokkuuden, laadun ja turvallisuuden parantamiseksi sekä työskentelyn helpottamiseksi. Teknologinen kehitys työkoneissa on suuntautunut konetoimintojen puoli- tai täysautomatointiin. Automatoinnin perusedellytyksenä on koneen ja työympäristön luoman kokonaisuuden monitorointi ja kerätyn tiedon hallinta, jolloin koneen ja työympäristön kohteiden sijaintia, etäisyyksiä, värejä, ääri viivoja sekä koneen liikkeitä tms. seurataan ja kontrolloidaan erilaisin sensorein, laittein ja järjestelmin. Kuljettajan työsuorituksen parantamiseksi voidaan vastaavilla teknologisilla ratkaisuilla kerätä tietoa ja muodostaa siitä työskentelyä tukevaa informaatiota ja opastusta. Seuraavassa tuodaan tiivistettynä esille tiedon keruun ja -siirron teknologiaa, jonka merkitys työkoneiden kehityksessä on ollut suuri.

Koneisiin ja laitteisiin kytkettyjen mittalaitteiden avulla kerätään tietoa työkoneiden, tehdasprosessien ja automaatiojärjestelmien tilasta. Mittalaitteessa on anturi (tuntoelin) ja mittaustietoa, joka muuttaa anturin mittaviestin siirrettävään ja järjestelmään sopivaan standardimuotoon (Kippo ja Tikka 2008). Erityisesti automaatiojärjestelmien mutta myös kuljettajaa opastavien järjestelmien käyttö edellyttää mitta-antureiden avulla kerättyä mittaustietoa, jonka perusteella järjestelmissä tehdään ohjauksia sekä säätöjä (Kippo ja Tikka 2008). Antureiksi eli sensoreiksi



kutsutaan komponentteja, jotka mittaavat tai tunnistavat liikettä, asemaa, voimaa, akustista suu-  
retta, sähkönjohtavuutta, lämpötilaa, valoa, pitoisuutta tms. (Bjarland ja Visti 1999, Keinänen  
ym. 2001, Keinänen ja Kärkkäinen 2009). Sisäisellä mikroprosessorilla varustettuja antureita  
kutsutaan älykkäiksi tai aktiivisiksi antureiksi ja niillä saavutetaan tavallisiin antureihin verrat-  
tuna useita etuja. Muun muassa mittausvirheet pienenevät, tiedonsiirto saadaan molempiin suun-  
tiin digitaalisena, väyläohjauksen käyttö tulee mahdolliseksi, anturiin voidaan sisällyttää diag-  
nostiikkaa ja mittausaluetta voidaan säätää ohjelmallisesti (Fonselius ym. 1999, Keinänen ja  
Kärkkäinen 2009).

Anturi- ja mittariliitännöissä käytetään yleisesti sekä analogisia jännite- tai virtaviestejä että  
väyläpohjaisia järjestelmiä (Kilpeläinen ym. 2004). CAN-väylä (Controller Area Network) on  
yleisimmin käytetty anturi- ja toimilaitteväylä ajoneuvoissa ja työkoneissa. CAN-väylää sovelle-  
taan nykyisin laajasti useissa tuotteissa, kuten busseissa, hisseissä, maatalouskoneissa, työko-  
neissa kappaletavara-automaatiassa, roboteissa, mittausjärjestelmissä ja ohjelmoitavissa logii-  
koissa. CAN-väylä suunniteltiin alun perin autojen hajautettujen ohjausjärjestelmien reaaliaikai-  
seen tiedonsiirtoon, esimerkiksi moottorinohjausyksikön, ABS-jarruysikköjen ja vaihteis-  
tonohjausyksikön väliseen kommunikointiin (Alanen 2000).

CAN-väylällä jokaisella viestillä on oma tunnisteensa, mutta lähetetyt sanomat ovat luettavissa  
kaikissa väylän solmupisteissä ja ne solmut, jotka tarvitsevat kyseisen sanoman sisältöä, ottavat  
sanoman vastaan (Honkanen 2008). CAN-väylän kautta yhden anturin tiedot voidaan välittää  
kaikille kyseistä tietoa käyttäville ohjausyksiköille. Esimerkiksi ajonopeusanturin tietoa tarvit-  
sevat moottorinohjausyksikkö, lukkiutumattomat jarrut, vaihteisto ja nopeusmittari. Ilman väy-  
lää tarvittaisiin jokaista yksikköä varten oma anturi. Ajoneuvon tai työkoneen vika- ja huolto-  
diagnostiikan hyödyntämisen edellytyksenä on CAN-väylä, jonka kautta kaikki merkittävät  
koneen osat ja toimilaitteet ovat kytkettynä diagnostiikkajärjestelmään. CAN-protokollaan poh-  
jautuu ISO 11783-standardi, joka on toiselta nimeltään ISOBUS. Työkoneissa, kuten esimerkik-  
si metsäkoneissa CAN-väylä on saavuttanut *de facto* -standardin aseman (Alanen 2000) *De  
facto* -standardi syntyy yleensä silloin, kun uusia tuotteita halutaan käyttöön nopeammin kuin  
niitä ehditään standardoida. Lisäksi tällainen käytännön standardi on usein saavuttanut hallitse-  
van markkinaosuuden.

## 2.2 Koneen tilaa ja asemaa mittaavat laitteet ja aistimet, konenäkö

Seuraavassa esitetään joitakin koneen ja järjestelmän sekä työympäristön tilaa mittaavia ja tun-  
nistavia mittalaitteita. Metsäkoneet sisältävät paljon erilaisia mittalaitteita, tunnistimia ja antu-  
reita jo nyt. Mitta- ja aistinkomponenttien käyttö tulee kuitenkin edelleen kasvamaan automatiin-  
kan ja kuljettajaopastuksen lisääntymisen vuoksi.

Inertiaalipaikannus (INS Inertial Navigation System) on itsenäinen navigointitekniikka, jossa  
gyroskoopein ja kiihtyvyyssanturein mitataan kohteen sijaintia ja etenemissuuntaa suhteessa  
tiedossa olevaan alkupisteeseen. Inertiapaikannuslaite sisältää yleisimmin kolme ortogonaalises-  
ti asennettua gyroskooppia sekä kiihtyvyyssanturia, jotka mittaavat kulmanopeuksia ja kiihty-  
vyyksiä kolmiulotteisessa avaruudessa (King 1998, Woodman 2007). Yleisimmät käyttökohteet  
INS-järjestelmillä ovat olleet lentokoneet, sukellusveneet, avaruusaluukset, laivat ja ohjukset.  
Laitteet ovat suhteellisen kalliita, joskin teknologian kehittyessä ja laitteiden pienetessä käyttö-  
kohteiden odotetaan laajentuvan muillekin toimialoille (Woodman 2007). Inertiapaikannusta on  
käytetty täydentävänä paikannustukena mm. satelliittipaikannuksen ja laserskannauksen lisäksi  
(Pilarski ym. 1999, Ringdahl 2003, Ala-Ilomäki ym. 2008).

Renkaan tai akselin pyörimistä mittaamalla voidaan määrittää etenemismatkaa ja nopeutta. Tämä odometrinen menetelmä ei tunnista renkaan luistamista, joten mittaustarkkuus etenemismatkalle voi jäädä huonoksi. Odometriaa voidaan käyttää matkamittarina yhdessä satelliittipaikannuksen ja inertiaalipaikannuksen kanssa varmistavana ja täydentävänä menetelmänä. Em. menetelmiä yhdistämällä koneen voimansiirron pyörimisnopeuden ja etenemisen yhteyttä voidaan seurata vaihtelevissa olosuhteissa tunnistamaan esimerkiksi renkaiden luistoa (Waard ja Iagnemma 2007). Renkaan tai akselin pyörintänopeusanturointi on yleisesti käytössä robotiikassa ja robottien ajorajajärjestelmissä (Waard ja Iagnemma 2007).

Kiihtyvyyssantureita käytetään yleisesti nykyaikaisissa kulkuneuvoissa ja työkoneissa erityisesti turvajärjestelmissä ja konejärjestelmän kunnonseurannassa. Kiihtyvyyssanturi on elektromekaaninen laite, joka mittaa kiihtyvyyden voimakkuutta ja suuntaa. Konejärjestelmän kunnan seurannassa kiihtyvyyssanturit mittaavat erityisesti pyörittävien laitteiden, kuten pumppujen, tuulettimien, kompressoreiden, rullien tms. tilaa. Myös laakerien tai moottorien tärinää lukevat järjestelmät sisältävät kiihtyvyyssantureita kertoen toimintakunnosta. Heilunnan ja tärinän monitoroinnissa käytetään yleisesti kiihtyvyyssanturitekniologiaa. Esimerkiksi työkonen asemaa, kallistumista ja kuormaimen liikkeitä voidaan havainnoida kiihtyvyyssanturein.

Kallistuskulma-anturi eli inklinometri on eräänlainen kiihtyvyyssanturi ja se mittaa jatkuva-aikaisesti kohteen kallistumista maan vetovoiman suhteen. Asennuksen jälkeen anturi mittaa kohteen kahdensuuntaista kallistuskulmaa aina suoraan maahan nähden, eikä erillistä kalibrointia tarvitse tehdä. Tyypillisesti mittausvirhe on alle 0,5 astetta (Ringdahl 2007). Tieto metsäkonen kallistuskulmista työskentelyn aikana on erityisen tärkeää pinnanmuodoltaan vaihtelevissa maasto-olosuhteissa turvallisen ja tuottavan toiminnan takaamiseksi.

Paineanturit muuttavat paineen sähköiseksi vasteeksi, joka voidaan tulkita paineen muutoksina (Doebelin 1990). Paineantureita käytetään sovelluksissa, joissa tarvitaan tieto paineesta, voimasta, korkeudesta tai syvyydestä ja neste- tai ilmapvirtauksesta. Esimerkiksi autoteollisuudessa paineanturilla mitataan renkaiden ilmanpainetta, hydraulisen jousituksen painetta sekä moottorin ja pakokaasunpoiston kaasujen ja polttoaineen painetta. Lentokoneiteollisuus käyttää paineanturia mittaamaan lentokorkeutta ja ilman sameutta.

Voima-anturit jaetaan toimintaperiaatteensa mukaan kolmeen ryhmään: venymäliuska-anturit, pietsosähköiset anturit ja induktiiviset voima-anturit. Venymäliuska-antureita ja induktiivisia antureita käytetään sekä staattisten että dynaamisten voimien mittaamiseen, pietsosähköiset anturit soveltuvat dynaamisille kuormille. Voima-antureita käytetään paljon mm. punnitustekniikassa, mutta kehittynyt automaatio on laajentanut niiden käyttöaluetta lähes rajattomaksi (Jansson 2000). Puutavara-autojen ja kuormatraktoreiden osalta kuormainvaakamittaus perustuu joko hydraulisiin paineantureihin (3 laitevalmistajaa) tai venymäliuskoihin (4 laitevalmistajaa) (Melkas 2010). Lisäksi koneellisessa puunkorjuussa käytettävässä kuormainvaakamittauksessa voima-anturin yhteydessä käytetään kiihtyvyyssanturia, jolloin taakan massan mittaus voidaan määrittää mittaustarkimpaan hetkeen.

Kuvantulkinnassa tai konenäössä liikkuvasta tai paikallaan olevasta kuvasta pyritään tulkintaohjelman algoritmien avulla löytämään ennalta määritellyjä piirteitä. Laserskannerilla tarkoitetaan laitetta, joka lasersäteen avulla mittaa tasossa etäisyyden ympäristössään oleviin kohteisiin. Laserkeilauksen aikana etäisyys mitataan useaan ympäristön kohteeseen poikkeuttamalla säteen lähtökulmaa. Etäisyyden mittaus perustuu kohteeseen lähetetyn lasersäteiden heijastumiseen takaisin lähtevään vastaanottoon. Etäisyyden laskemiseksi voidaan käyttää useita vaihtoehtoisia

menetelmiä, joista yleisimmät ovat säteen kulku-aikaan perustuva mittaus ja sen vaihesiirtoon perustuva mittaus. (Ala-Ilomäki ym. 2008)

Suurin osa konenäön ja laserkeilauksen sovelluksista on teollisuudessa. Lukuisia tutkimuksia autonomisista ajoneuvoista tieliikenteeseen (Svahn 2005, Hong ym. 2002) ja maatalouteen (Nogushi ym. 2001) on tehty. Siirryttäessä maastoon autonomisista ajoneuvoista tehdyn tutkimuksen määrä vähenee. Valtaosa aiemmin mainituista tutkimuksista on sotilassovelluksia keskittyen logistiikkaan tai valvontatehtäviin (Hong ym. 2002, Ibanez-Guzman ym. 2004).

Varsinaisia tuotantoon asti edenneitä laserkeilauksen ja konenäön metsäkonesovelluksia ei ole. Tutkimuksin on selvitetty mm. reitin oppivaa autonomista kuormatraktoria (Hellström 2002, Ringdahl 2003, Hellström ja Ringdahl 2004, Hallonborg ja Norden 2005). FORESTRIX-projektissa selvitettiin laserskannereiden, kuvatulkin ja inertiaipaikannuksen käyttöä samanaikaisessa metsikön kartoituksessa ja mittauksessa sekä metsäkoneen paikannuksessa (Jutila 2006, Kannas 2006, Ala-Ilomäki ym. 2008). Kuvatulkintaa käytettiin sekä itsenäisesti että lasermittauksen tukena puiden paikkoja ja dimensioita mitattaessa pyrkimällä löytämään liikkuvasta kuvasta puiden rungoiksi luokiteltavia kohteita. Kuvatulkintaa käytettiin tutkimuksessa myös puulajitunnistukseen tekstuuri- ja värianalyysiä hyväksi käyttäen (Kosonen 2007, Ala-Ilomäki ym. 2008).

Ultraäänellä toteutettu etäisyysmittaus perustuu lähetin-vastaanottimesta lähetetyn ultraäänipulssin kulku-aikaan sen heijastuessa takaisin kohteesta. Antureilla on runsaasti sovelluksia teollisuuden prosesseissa mm. pinnankorkeuden mittauksessa. Anturin metsäsovelluksia rajoittaa ultraäänien heijastuminen myös anturin ja tarkoitettujen kohteiden välisistä rajapinnoista. Mittausperiaatetta on sovellettu tutkittaessa metsäkoneen pyörien uppoamaa kulkualustaan (Asikainen ym. 2011). Metsätyössä autonomisille ajoneuvoille tai työkoneille sekä niiden aistinjärjestelmille asetettavat vaatimukset ovat suuret. Pelkkä liikkuvuus sinällään ei riitä vaan lisäksi maasto- ja puustovaurioiden tulee olla mahdollisimman vähäiset. Vastaavasti autonomisen hakkuukoneen olisi kyettävä tekemään työtä, joka asettaa ihmisenkin havainto- ja päätöksentekokyvyille suuret vaatimukset.

### 2.3 Satelliittipaikannusjärjestelmät

Alun perin sotilaallisten tarpeiden pohjalta syntynyt ajoneuvojen ja työkoneiden satelliittipaikannus on yhä useammassa kuljettajaa opastavissa järjestelmissä välttämätön osa kokonaisuutta (Poutanen 1998). Autonavigaattori on monelle autoilijalle tuttu kuljettajaa opastava järjestelmä. Navigaatiojärjestelmä opastaa kuljettajaa nopeinta, lyhyintä tai taloudellisinta reittiä myöten määränpäähän käyttäen hyödyksi satelliittipaikannusta ja digitaalista tieverkkoa. Satelliittipaikannusjärjestelmästä saadut hyödyt liikenteelle ja muille toimialoille ovat huomattavat.

Satelliittipaikannus perustuu tarkkaan etäisyyden määrittämiseen paikannuslaitteen ja satelliittien välillä. Satelliittien lähettämä radiosignaali etenee valon nopeudella. Signaalin kulkema matka lasketaan mitatun kulkuajan perusteella. Mittaaminen tapahtuu satelliitin lähettämän koodin ja sen lähettämän signaalin kantoaallon vaiheen avulla. Paikannuslaitteen sijainnin määrittämiseksi tarvitaan vähintään neljä satelliittia. Satelliitit lähettävät yksilöllistä PRN (Pseudo Random Noise) koodia, joka on muodostettu samanaikaisesti paikannuslaitteen kanssa. Kun verrataan paikantimen omaa koodia vastaanotettuun koodiin, voidaan havaita aikaero, joka on täsmälleen yhtä suuri kuin signaalin kulku-aika satelliitista paikantimeen. Satelliittipaikannuksessa satelliitit voidaan käsittää kiintopisteinä, joiden suhteen paikantimelle määritetään omat koordinaatit ja

aika, joka vastaa mitattuja kulkuaikoja. Paikantimen on siis ratkaistava samanaikaisesti neljä tuntematonta (pituus-, leveys- ja korkeuskoordinaatit sekä aika). (Poutanen 1998, Kaplan ja Hegarty 2006, Airos ym. 2007)

Satelliittipaikannusjärjestelmistä tunnetuin ja käytetyin on USA:n ylläpitämä GPS (Global Positioning System). Vastaava globaali paikannusjärjestelmä on venäläinen GLONASS (Global Navigation Satellite System) järjestelmä, joka tarjoaa GPS-järjestelmää paremman kattavuuden pohjoisella pallonpuoliskolla. Useimmat tarkkuuspaikantimet hyödyntävät näitä molempia järjestelmiä samanaikaisesti (Ringdahl 2003, Ilmatieteenlaitos 2011). Eurooppalaisten kehittämään Galileo satelliittijärjestelmään tulee 30 paikannussatelliittia, ja järjestelmän myötä paikannusvarmuus ja -tarkkuus paranevat edelleen. Lokakuussa 2011 laukaistiin kaksi ensimmäistä satelliittia kiertoradalle (ESA 2011, European Commission 2011). Kiinan kansantasavalta on kehittämässä globaalin kattavuuden Beidou-navigaationsatelliittijärjestelmälleen, josta käytetään myös nimeä Compass. Satelliittien kokonaismääräksi on suunniteltu 35, ja järjestelmän on tarkoitus olla valmis vuoteen 2020 mennessä. Perinteisen GPS-paikannusmittauksen sijaan puhutaankin maailmanlaajuisesta GNSS-mittauksesta (Global Navigation Satellite System), jossa sijainnin määrittämiseen käytetään GPS-järjestelmän lisäksi myös muita satelliittipaikannusjärjestelmiä. Globaalien paikannussatelliittien määrän kasvu mahdollistaa tulevaisuudessa aiempaa varmemman paikannusyhteyden ja paremman tarkkuuden.

GPS-paikannustarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat paikannettavan pisteen sijainti, paikannuspisteen ympäristön peitteisyys, mittauslaitteiston laatu (paikantimesta aiheutuvat virheet), ilmakehä, käyttäjän virheet ja käytössä olevien satelliittien lukumäärä ja sijainti (Miettinen 2006). Joidenkin virhelähdetekijöiden tuottamaa virhettä voidaan korjata ja siten paikannustarkkuutta parantaa. Esimerkiksi ionosfäärissä olevan vesihöyryn ja avaruussäteilyn aiheuttama virhe voidaan poistaa, jos käytössä on kahta kantoaaltoa (L1 ja L2) hyödyntävä vastaanotin. Yhden tajuuden varassa toimivat vastaanottimet joutuvat käyttämään ajoittain pelkästään tilastolliseen ionosfäärimalliin perustuvaa korjausta (Miettinen 2006).

Perinteistä satelliittisignaaleihin perustuvaa paikannustarkkuutta voidaan parantaa edelleen hyödyntämällä joko differentiaalista tai suhteellista paikanmäärittystä (Maanmittauslaitos 2011). Yleisesti käytössä ollut DGPS (Differential GPS) käyttää tarkkaan paikannettuja kiinteitä tukiasemia, jotka mittaavat GPS-signaaleista alueellisen paikannusvirheen ja välittävät paikannukseen korjaustiedon vastaanottimeen (GPS-mittaus 2011). Kun tavanomaisella GPS-laitteella tarkkuus on noin 10 metrin luokkaa, differentiaalisessa paikanmäärittäyksessä päästään 0,5–5 metrin tarkkuuksiin (Maanmittauslaitos 2011). Suomessa tunnetuimmat DGPS-palvelut ovat Indagon Oy:n Fokus-palvelu, Merenkulkulaitoksen tukiasemapalvelu sekä Evon metsäoppilaitoksen DGPS-palvelu (DGPS-palvelut 2011). Fokus-palvelua käytetään muun muassa metsäkoivien paikannukseen ja ohjaukseen (DGPS-palvelut 2011). Indagon Oy:n ylläpitämässä Fokus-palvelussa kuhunkin tukiasemaan kuuluu korkealaatuinen GPS-vastaanotin, joka tuottaa tarkkaa RTCM-korjausta, joka voidaan siirtää Digitan jakeluverkossa kaikille radioasemille. Radioasemilla lähimmän tukiaseman tuottamat korjaukset liitetään Radio Suomen lähetykseen salattuina RDS-ryhminä. Indagonin mukaan palvelulla päästään päätelaitteesta riippuen 0,6 - 2 m tarkkuuteen reaaliaikaisesti (INDAGON 2011).

Tarkimmassa, eli niin kutsutussa suhteellisessa paikanmäärittäyksessä päästään jo senttimetrin tarkkuuteen. Tärkeimpiä suhteellisen paikanmäärittäyksen sovelluksia ovat staattinen GPS-mittaus, RTK-mittaus (Real Time Kinematic) ja verkko-RTK-menetelmä. Näistä staattinen mittaus soveltuu tarkkojen kiintopisteverkkojen mittauksiin, sillä se tapahtuu jälkilaskentamenetelmällä (Maanmittauslaitos 2011). RTK eli reaaliaikaisessa kinemaattisessa mittauksessa laskenta voi-

daan suorittaa reaaliajassa, joten mitattujen pisteiden koordinaatit saadaan heti mittaushetkellä. RTK-mittauksessa tunnetulla pisteellä olevan vastaanottimen ja kartoitusvastaanottimen välillä tarvitaan tiedonsiirtoyhteys (Maanmittauslaitos 2011).

Suomessa 2000-luvun alusta lähtien toiminnassa ollut verkko-RTK-menetelmällä toimiva virtuaalitusasemajärjestelmä (VRS, Virtual Reference Station) on poistanut tarpeen käyttää erillistä tukiasemaa sovelluksissa, joissa tarvitaan suurta paikannustarkkuutta. Virtuaalitusasemajärjestelmä tarkoittaa kokonaisuutta, joka koostuu kiinteiden GNSS-tukiasemien muodostamasta verkosta, laskentakeskuksesta sekä tietoliikenne- ja ohjelmistoteknologioista, jotka reaaliaikaisesti tai jälkilaskennalla korjaa GNSS-mittauksiin vaikuttavia virheitä (Tötterström 2010). Maailmalla VRS-teknologiaan perustuvia järjestelmiä on jo yli 60 maassa. Suomessa VRS-tukiasemaverkkojärjestelmä koostuu yli 90 GNSS-tukiasemasta ja laskentakeskuksesta Vantaalla. VRS-järjestelmä luo automaattisesti reaalikäyttäjälle virtuaalitusaseman ja lähettää korjausviestit paikannuksessa syntyviin virheisiin (Tötterström 2010).

Normaalin hakkuukoneeseen asennetun GPS-paikantimen tarkkuus on noin +/- 5 metriä (Westlund & Jönsson 2011). Westlundin ja Jönssonin (2011) mukaan uusimmissa hakkuukoneissa on mahdollisuus käyttää paikannuksessa myös kolmatta, Z-koordinaattia. Z-koordinaattien käyttö koneissa on vielä marginaalista, mutta tutkimuksissa on manuaalisesti käytetty *Carrier-Phase Enhancement GPS* -laitetta (CPGPS). Kulmakorjausta käyttävä CPGPS antaa koordinaatit kolmessa suunnassa ja sen tarkkuus on muutamia senttimetrejä. Z-koordinaatti antaa mahdollisuuden ajouran tarkkaan sijoitteluun ja maaston kaltevuuden huomioon ottamiseen.

## 2.4 Kuljetuksenohjausjärjestelmät ja reittioptimointi

Tieliikenteen reittioptimoinnissa toiminnan perustana on riittävän tarkan paikannuksen saaminen reititettävään ajoneuvoon tai työkoneeseen. Sen lisäksi reititystä varten on oltava tiedossa maantieteellinen data (tieverkko, nopeusrajoitukset, osoitteet sekä reaaliaikaiset tiedot ruuhkista ja nopeuksista), resurssit (tiedot ajoneuvoista, toimipisteistä, kuljettajista), asiakastiedot (sijainti, palvelun laatu ja määritykset) sekä optimointiparametrit. Tyypillisiä optimoinnin parametreja ovat optimointikriteeri (matka, aika, kustannukset, täyttöaste jne.), etäisyys- ja nopeusyksiköt, kuljettajien työvuorojen ja taukojen pituudet, tunti- ja ylityökorvaukset, varastojen, varikkojen, terminaalien aukioloajat, suunnitteluperiodin pituus, työpäivien alkamis- ja päättymisajat ja mahdolliset optimointialgoritmile annetut parametrit, kuten esimerkiksi laskenta-ajan maksimipituus (Bräysy ja Porkka 2007, Nakari ym. 2007).

Kuljetusten ohjausjärjestelmät ovat tulleet laajempaan käyttöön jakelutavarankuljetuksessa maanteitse. Kaluston reittioptimointiohjelmiston hankinta on yleensä suositeltavaa ajoneuvojen lukumäärän ylittäessä kymmenen tai päivittäisen toimituspisteiden määrän ylittäessä sadan. Ohjelmiston hankintaa puoltavat myös usein muuttuvat reitit, tarve nopeisiin ratkaisuihin ja reittien päivittämiseen ja usea eri toimipisteessä työskentelevä suunnittelija, joiden yhteistoimintaa ohjelmisto parantaa (Bräysy ja Porkka 2007). Useat markkinoilla myytävät reittinavigointi- ja optimointisovellukset lupaavat 10...35 % kustannussäästöjä menetelmän käyttöönotosta alkuperäiseen tilanteeseen verrattuna (Computerised Vehicle... 2007, Use of Vehicle Routing... 2010, IIT 2012, Logvrp 2012, Optrack 2012, ParagonRouting 2012). Esimerkiksi jätehuollon kuljetuksen ohjaus- ja reittioptimointijärjestelmillä on Yhdysvalloissa saatu jopa 35 % kustannussäästöt alkuperäiseen tilaan nähden (IIT 2012).

Nykyaikaiset puunhankinnan- ja kuljetusten ohjausjärjestelmät ovat erottamaton osa metsäteollisuuden puunhuoltoa. Perinteisen tavarankuljetuksen ja puutavarankuljetuksen välillä on kuitenkin olosuhteista johtuvia eroja. Tavarankuljetuksessa tarjonta- ja kysyntäpisteet ovat lähes aina staattisia, kun taas puutavarankuljetuksessa tarjontapisteiden sijainnit ovat ajan suhteen muuttuvia. Toimiakseen luotettavasti järjestelmät vaativat ajantasaisen tiedon tieverkosta, puutavaran tienvarsivarastojen sijainneista, puutavaramäärästä, tehtaiden puuntarpeesta ja puutavara-autojen sijainneista ja kuljetusstatuksesta. Näiden lisäksi tehokkaaseen toimintaan vaaditaan nopea langaton tiedonsiirto ja kuljetusten ja reittien optimointi (Tokola ja Kalliovirta 2003).

Reaaliaikainen ja tarkka tieto puutavaran sijainnista ja laadusta tienvarsivarastoissa mahdollistaa kuljetusten ja puutavara-autojen reittien optimoimisen. Puutavaran kuljetuksenohjausjärjestelmällä saadaan aikaan kustannussäästöjä ja toimitusvarmuutta, jolloin tehtaiden kulloiseenkin raaka-ainetarpeeseen pystytään vastaamaan. Tehtaat toimivat nykyisin asiakaslähtöisesti, jolloin puutavaralle asetetaan erittäin suuret laatu- ja toimituksen ajoituskriteerit. Tämä on seurausta toimintamallista, jossa tehtailla olevan puutavaravaraston koko halutaan pitää mahdollisimman pienenä. Edellä mainittujen asioiden tehokkaamman hallinnan lisäksi puutavara-autojen ohjaus- ja paikkatietojärjestelmä helpottaa navigointia vierailta tieverkoilla. Lisäksi esim. EPO-puunhankinnan ohjausjärjestelmän avulla on kyetty vähentämään tyhjinä ajettujen kilometrien määrää jopa 30 % tilanteesta ennen puutavaran kuljetuksenohjausjärjestelmien käyttöä (Korhonen ym. 1998).

Puutavaran lähikuljetusta ja reittioptimointia käsiteltäessä on syytä huomata lähtötilanteiden ero perinteisiin tavaraliikenteen reittioptimointiin ja kuljetuksenohjausjärjestelmiin. Näissä järjestelmissä kuljetusverkko (tieverkko) on lähes staattinen ja tarjonta- ja kysyntäsolmujen sijainnit ovat tiedossa. Puutavaran lähikuljetuksessa kuljetusverkko eli ajouraverkosto luodaan hakkuun yhteydessä ja se on aina erilainen. Näin ollen valmista optimointimallia ei voida käyttää. Kuljetusverkko (ajouraverkko) sekä tarjonta (puutavarakasat metsässä) - ja kysyntäsolmujen (tienvarsivarastot) sijainti muodostetaan satelliittipaikannusperusteisesti, jonka myötä riittävän tarkka paikannus on välttämätöntä. Ongelmia reittioptimoinnin onnistumiseen voi tuoda puutavarakasojen paikantuminen väärälle ajouralle, jolloin laskennallinen lähikuljetusreitti ei vastaa puutavaralajin määrän ja laadun osalta todellisuutta. Ongelmista huolimatta puutavaran lähikuljetuksessa reititys antaa kuitenkin mahdollisuuksia lisätä tuottavuutta, alentaa polttoainekulutusta ja vähentää maaperävaurioita.

Ruotsalaisten lähikuljetuksen reititystutkimuksissa puutavarakuormien kuljetusoptimoinnilla saatiin noin 10 % hyöty koneen kulkeman matkan ja ajanmenekin suhteen (Arvidsson ym. 1999, Carlsson ym. 1999, Flisberg ym. 2007). Tuoreimmassa tutkimuksessa Flisberg ym. (2007) kehittivät päätöksentekojärjestelmää lähikuljetuksen kehittämiseksi. Järjestelmä yhdisti maastotiedon, paikkatiedon ja optimointisovelluksen lähikuljetuksen reititykseksi. Reittioptimointi vähensi kuormatraktorin kulkemaa matkaa tutkimustyömailla keskimäärin 8,3 % (5,4...12,4 %). Reittioptimointisovelluksen lyhyt ratkaisuaika mahdollisti reaaliaikaisen käytön tutkimustyömaalla. Lähikuljetusreitti etsittiin käyttämällä toistuvan sopivuuden algoritmia (*repeated matching algorithm*). Paikkatietona käytettiin hakkuukoneen keräämiä tietoja ajourista ja puutavaralajeista. Puutavaralajien kokonaismäärä sekä samassa kuormassa ajettavien puutavaralajien määrä vaikuttivat reittioptimoinnista saatavaan hyötyyn. Flisbergin ym. (2007) reititystutkimuksessa kuormatraktorin reitityksessä käytettiin sovellusta, joka perustui yleiseen ajoneuvon reititysongelmaan (*Vehicle Routing Problem, VRP*), jota on esitelty muun muassa Tothin ja Vigon (2002) toimittamassa kirjassa.

### 3 Kuljettajaa opastavat järjestelmät ja automaatio

#### 3.1 Opastavat järjestelmät osana automaation kehitystä

Automaatiolla tarkoitetaan tietokoneen käyttämistä koneiden tai tuotantoprosessien ohjaamiseen. Teollisuusautomaatio yleistyi teollisuuden tuotantolinjojen ohjauksessa 1960-luvulta eteenpäin suorituskäytönsä ja edullisempien tietokoneiden tullessa markkinoille. Pitkälle vietyä koneautomaatiota sovelletaan lentokoneiteollisuudessa, puolustusjärjestelmissä, maanrakennus- ja kaivosteollisuudessa sekä maatalouden koneissa. Useat tehtävät työkonekäytössä ovat osa-automatisoituja ja edellyttävät ihmisen valvontaa. Jatkuva-aikaisissa valvontajärjestelmissä (*continuous assistance systems*) operaattori seuraa ja tarkkailee osa-automatiojärjestelmän suoriutumista (Murphy 2000). Jos laite/kone ei kykene toteuttamaan työtehtävää oikein, operaattori voi ottaa koneen toiminnot haltuun ja ohjata koneliikkeillä työtehtävän suorittamista. Toinen osa-automatiojärjestelmän toimintamenetelmä on tehtäväohjaus (*control trading*), jossa operaattori määrittää toteutettavan työtehtävän koneelle, mutta varsinaista kone-seurainta hänen ei tarvitse tehdä. Järjestelmä mahdollistaa useamman koneen ohjaamisen samanaikaisesti (Murphy 2000).

Kilpeläinen ym. (2004) jakavat automatiojärjestelmät automaation asteen perusteella kuuteen eri luokkaan (Taulukko 1). Lisäksi jaottelu voidaan tehdä esimerkiksi työympäristön, automatisoitavien työtehtävien, opastettavien työtehtävien tai käyttöliittymän perusteella (Tideman ym. 2007). Sovelletavan automaation teknisesti ja taloudellisesti järkevä taso riippuu lisäksi työn laadusta sekä työkoneesta.

Kuljettajaa opastavilla järjestelmillä ja päätöksenteon tukijärjestelmillä puolestaan viitataan elektronisiin laitteisiin tai järjestelmiin, jotka auttavat kuljettajaa päätöksenteossa ja helpottavat koneen tai laitteen käyttöä opastamalla kuljettajaa eri työvaiheissa (van der Heijder ja van Wees 2001). Opastavat järjestelmät mittaavat ympäristön, koneen ja myös kuljettajan tilaa ja ehdottavat esimerkiksi taloudellisinta tai optimaalista ajotapaa (Kamal ym. 2010). Järjestelmä antaa kuljettajalle neuvoja esimerkiksi merkkivalon tai -äänen tai graafisen opastusnäytön kautta. Myös haptiset eli tuntoaistiin perustuvat opastuskeinot ovat mahdollisia, kuten ohjaimien tai polkimien värinä tai liikkeen vastustus. Koneen ohjaus tapahtuu manuaalisesti järjestelmän opastamana. Vastaavasti autonomisessa järjestelmässä työsuoritus tapahtuu ilman kuljettajaa (Kilpeläinen ym. 2004).

**Taulukko 1.** Automaatiojärjestelmien jaottelu automaatioasteen perusteella (Kilpeläinen ym. 2004).

Taso	Automaatioaste	Ominaisuudet
6	Autonomiset järjestelmät	Kone pystyy suorittamaan erilaisia tehtäviä täysin automaattisesti ilman kuljettajaa
5	Täysin automatisoitu	Koneen työliikkeitä säädetään automaattisesti kuljettajan valvonnassa, koneelle annetaan tehtäviä
4	Osittain automatisoitu	Koneen yksittäisiä työliikkeitä säädetään automaattisesti kuljettajan antaman asetusarvon mukaisesti, kuljettaja ohjaa osaa toiminnoista manuaalisesti
3	Koordinoitu ohjaus	Koneen liikkeiden ohjaus manuaalisesti karteesisessa koordinaatistossa mahdollista
2	Kuljettajaa opastavat järjestelmät	Ohjaus tapahtuu manuaalisesti järjestelmän opastamana. Työtä helpottavat anturi- ja mittausjärjestelmät
1	Täysin manuaalinen ohjaus	-

Reaaliaikainen opastaminen on kuljettajan aktiivista opastusta, jolloin järjestelmä reagoi joko kuljettajan virheisiin tai hyviin suorituksiin toiminnan aikaisella palautteella (Sathyanarayana ym. 2010). Passiivisessa opastuksessa tietoa työsuorituksesta, tuotoksesta, tehostamiskeinoista ym. on saatavilla järjestelmästä jälkikäteen (Sathyanarayana ym. 2010, Ylimäki ym. 2012). Lisäksi voidaan puhua älykkäistä kuljettajaa opastavista tai ohjaavista järjestelmistä, kuten ICT ja ITS (*Intelligent Coaching System, Intelligent Tutoring System*), jolloin opastus edellyttää tietojärjestelmältä jonkinasteista kuljettajan aikomusten ja suunnitelmien tunnistamista ja ennakoimista (Palmroth ym. 2009). Esimerkiksi metsäkonetyöskentely vaihtelevissa puunkorjuun tilanteissa saattaa sisältää useita yhtä hyviä tai lähes yhtä hyviä toimintamalleja, mutta jos tietojärjestelmältä halutaan aktiivista, toiminnan aikaista opastusta näihin tilanteisiin, sen täytyisi pystyä ennakoimaan kuljettajan toimintaa niissä (Palmroth ym. 2009). Läheisesti näitä järjestelmiä tukee ihmisadaptiivinen mekatroniikka - HAM (*Human Adaptive Mechatronics*), jolloin pyritään mukauttamaan kone tai prosessi siten, että se ottaa huomioon käyttäjän taitotason pyrkien parantamaan suoritusta ja nopeuttamaan oppimisprosessia (Harashima ja Suzuki 2006). Tästä seuraava askel on ihmisen toimintaan mukautuva valmennusjärjestelmä - HAMC (*Human Adaptive Mechatronics and Coaching*), joka on suunniteltu erityisesti työkoneolosuhteisiin ja antamaan palautetta kuljettajan taidoista, työtavoista ja mahdollisista kehitysalueista (Tervo 2010).

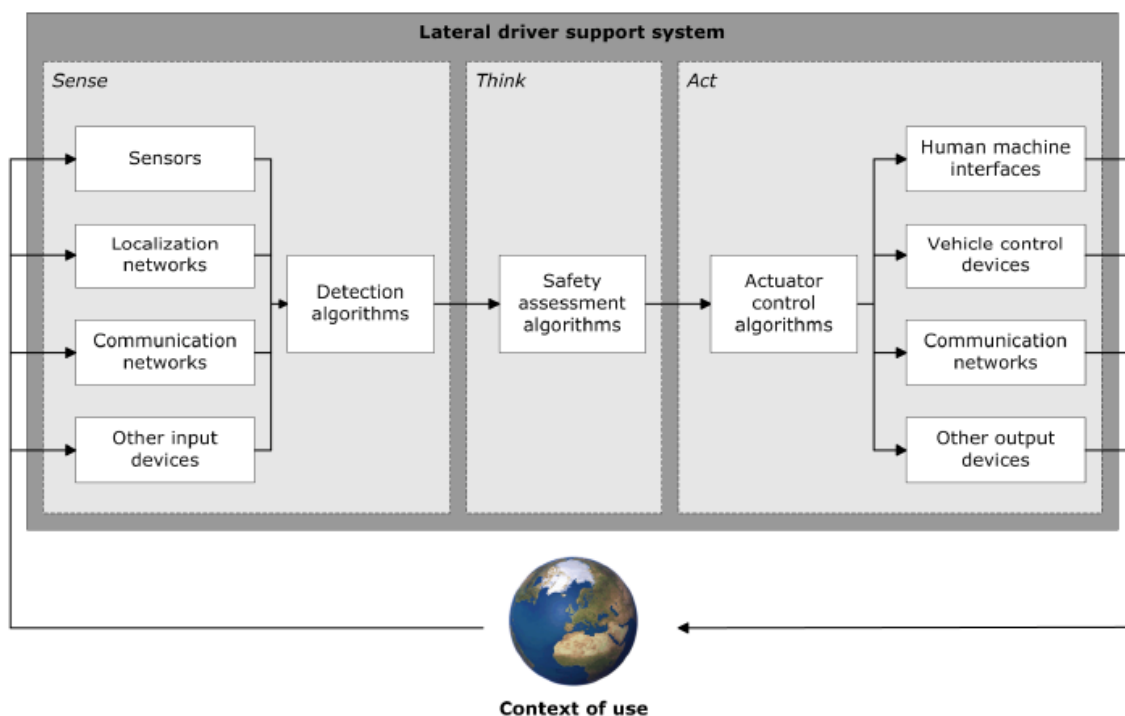
Lento- ja laivaliikenteessä sekä armeijan ajoneuvoissa opastavien järjestelmien ja automaation käyttö on jo hyvin pitkälle edennyttä, ja kuljettajia avustavat järjestelmät ovat vakiintuneet toimijoiden käyttöön. Ominaista näille toimialoille on, että tutka- ja gps-paikannukseen pohjautuvilla järjestelmillä, esimerkiksi autopiloteilla, suljetaan pois inhimillisistä virheistä tai väsymyksestä aiheutuvia riskejä. Autoteollisuudessa kuljettajaa opastavien DSS ja ADAS -järjestelmien (Driver Support Systems, Advanced Driver Assistance Systems) kehityskulku on kestänyt noin kaksi vuosikymmentä. Autoliikenteessä kuljettajaopastus on luonnollisesti pääosin kohdistunut liikenne- ja käyttäjäturvallisuuteen. Turvallisuusteemalla ihminen-tietokonejärjestelmissä on jo pitkä historia muussa teollisuudessa ja toiminnoissa, kuten ydinvoimalaitoksissa, lento- ja metrolinjojen ohjauksessa sekä lentokoneen ohjaamoissa (mm. Bentley ym. 1992, Stanton 1996, Wiener 1988, Connelly ym. 2001). Sen sijaan työkoneissa opastavien järjestelmien käyttö on vasta yleistymässä.

Kuljettajaa opastavat järjestelmät perustuvat erilaisten sensorien ja paikantimien käyttöön. Automaattisiin tai kuljettajaa opastaviin järjestelmiin sisältyy yleensä useita algoritmimalleja (Kuva 1), jotka ohjaavat ja kontrolloivat ajoneuvon tai koneen ohjausta, turvallisuusmekanismeja ja esimerkiksi paikannusta (Zheng ym. 2004). Meriläisen (2010) mukaan työkoneen ohjaus opastavan ohjausjärjestelmän avustuksella edellyttää, että työkoneeseen on asennettu koneen sisäinen paikannus, ulkoinen paikannus ja ohjausjärjestelmä (Taulukko 2).

**Taulukko 2.** Kuljettajaa opastavan järjestelmän rakenne (Meriläinen 2010).

Koneen sisäinen paikannus	-kaltevuusanturit, ym. mitta-antureita -koneen sisäinen laskentayksikkö
Ulkoinen paikannus	-GPS-vastaanotin
Ohjausjärjestelmä	-tietokone, opastavan järjestelmän käyttöliittymä





Kuva 1. Kuljettajaa opastavan järjestelmän rakenne (Tideman ym. 2007).

### 3.2 Kuljettajaa opastavien järjestelmien hyötyjä ja haittoja

Teknologinen kehitys ihminen-kone järjestelmissä on tuonut koneisiin ja ajoneuvoihin laajan kirjon älykkäitä koneen ja ajoneuvon käyttäjän toimintaa helpottavia järjestelmiä. Automaation ja erilaisten päätöksenteon tukijärjestelmien käyttö on nopeuttanut kuljettajan päätöksentekoa ja nostanut työn tuottavuutta sekä parantanut turvallisuutta. Järjestelmien käyttö työkonneissa on vähentänyt raaka-aine- ja varastohukkaa (Kuure 2011). Lisäksi maastomerkintöjen tarve vähennee merkittävästi ja poistuu kokonaan, kun ajantasainen työmaatietao on saatavilla järjestelmän kautta (Tahvanainen 2011).

Automaatio on helpottanut kuljettajan työskentelyä siirtämällä ihmiseltä koneelle esimerkiksi eniten toistoa vaativia työtehtäviä tai säätö- ja valvontatehtäviä, jotka aikaisemmin ovat vaatineet yhden ihmisen koko työpanoksen (Janssen ym. 1995). Vastaavasti kuljettajaa opastavien järjestelmien avulla on voitu lisätä palautteen määrää koneenkuljettajan päivittäisessä työssä, helpottaa käyttäjän ja koneen välistä vuorovaikutusta ja siten nopeuttaa työssäoppimista. Jo pelkästään opastavan järjestelmän läsnäolo ja siihen reagointi on saanut aikaan osassa kuljettajissa ajosuorituksen paranemisen lisäämällä turvallisuutta ja vähentämällä onnettomuuksia (Wouters ja Bos 2000, Caird ym. 2008). Opastavat järjestelmät, jotka tallentavat toiminnan ja työskentelyn aikaista dataa, voivat auttaa myös onnettomuuksien syyn selvittämisessä (Huang ym. 2005).

Kuljettajaa opastavien järjestelmien tulisi muuttaa kuljettajan ajokäyttäytymistä suotuisaan suuntaan vähentämällä ajon aikana syntyvää stressiä (Piao ja McDonald 2008) tai vähintään aiheuttamatta kuljettajalle lisää häiriötä tai stressiä (Fastrez ja Haué 2008). Opastavat järjestelmät vaikuttavat suoritukseen eri lailla riippuen ajo-oloista, kuljettajan kokemuksesta ja työn kuormittavuudesta. Kun arvioidaan kuljettajan nykyistä työtaakkaa ja stressitasoa, voidaan päätellä millainen kuljettajaa opastava järjestelmä olisi optimaalinen kyseistä työtä ajatellen. Kul-

jettajan päätöksenteko on ympäristötekijöiden lisäksi riippuvainen myös vaikeasti mallinnettavista tunnepitoisista tekijöistä, kuten esimerkiksi pelosta ja väsymyksestä. Opastavat järjestelmät toimivat kuitenkin aina yhteistyössä kuljettajan kanssa ja niiden toimintaa arvioidaan sen mukaan, kuinka hyvin kuljettaja ja järjestelmä toimivat yhdessä (Nirschl 2007, Peng 2002).

Kuljettaja voi suorittaa vain rajallisesti tehtäviä työn aikana. Myös kuljettajan kyky prosessoida opastavien järjestelmien antamaa informaatiota on rajallinen, jolloin saadulla informaatiolla ja informaation laadulla on merkitystä kuljettajan päätöksenteossa. Kuljettajan stressitasoa nostaa opastavien järjestelmien tai automaation kautta saatu epäolennainen informaatio, joka häiritsee keskittymistä työskentelyn aikana (Dugarry 2004). Vaikka opastavien järjestelmien tavoitteena on alentaa kuljettajien stressitasoa ja parantaa keskittymistä työskentelyn aikana, tavoitetta ei välttämättä saavuteta, jos järjestelmän lähettämät signaalit häiritsevät keskittymiskykyä (Davidse ym. 2009). Kuljettajaa opastavien järjestelmien tulisi priorisoida tuottamansa informaatio, jolloin kuljettajan on helpompi päättää kuinka toimia kyseisessä tilanteessa. Tuotetun informaation tulisi myös olla kuljettajan tarpeiden mukaista. Työskentely-ympäristön muutokset tai kuljettajan kokemus vaikuttavat siihen, millaista tietoa hän tarvitsee (Dugarry 2004). Esimerkiksi Tanakan ym. (2000) mukaan henkilöauton kuljettajaa avustavien järjestelmien kuten kaistavaroitinten tai vakionopeuden säätimen käyttö vähentää kuljettajan henkistä ja fyysistä rasitusta ajon aikana.

Tuotetun informaation kuljettajalle esittämisessä on useita tapoja ja se voidaan tehdä useiden erilaisten käyttöliittymien kautta. Järjestelmien tuottama informaatio on validia vain tietyn ajan. Jos viestiä ei tuoteta tietyn ajan sisällä tapahtumasta, se menettää merkityksensä. Informaation esitystapa riippuu tuotettavan tiedon tärkeydestä tai muodosta. Pääsääntöisesti kuljettaja odottaa saavansa kriittisen tiedon kuten varoituksen huomiota herättävällä tavalla. Myös tapahtumien toistotiheys vaikuttaa siihen, millainen esittämistapa informaatiolle tulee valita. (Dugarry 2004)

Automaation lisäämisellä on kuitenkin myös negatiivisia vaikutuksia mm. kuljettajan käyttäytymiseen, päätöksentekoon ja oppimiseen. Tämä huomioon ottaen voidaan puhua automaation nettovaikutuksista. Automaation myötä työskentely muuttuu enemmän automatiikkaa tai opastavia järjestelmiä valvovaksi työksi, mikä voi johtaa esimerkiksi kuljettajan vireystilan laskuun (Janssen ym. 1995). Opastavien järjestelmien käytöllä voi olla myös haitallinen vaikutus kuljettajan oppimiseen. Kuljettajat voivat menettää niitä osa-alueita ajokyvystään, joita on siirretty automatiikan hoidettavaksi.

Koneen kuljettajan päätöksenteko voi tulla täysin riippuvaiseksi automatiikan ja opastavien järjestelmien avusta, jolloin puhutaan ylikuottamuksesta (*overtrust & overreliance*). Ylikuottamus päätöksentekotilanteessa jakautuu kahteen osaan, joista toinen tai molemmat voivat olla läsnä:

- tilannesidonnainen aspekti: ”Automatiikka toimii tarpeen tulleen kyllä”
- toimintasadonnainen aspekti: ”Automatiikka hoitaa tämän tilanteen” (Itoh 2010).

Kuljettajat voivat käyttäytyä tai työskennellä riskialttiimmin automatiikan tuoman turvallisuudentunteen turvin, mikä puolestaan johtaa kasvaneeseen turvallisuusrisktiin työympäristössä. Henkilöauton kuljettajilla toteutetussa tutkimuksessa opastavan järjestelmän käyttö aiheutti tilannenopeuden kasvamisen, mutta lisäsi kuljettajan turvallisuuden tunnetta (Fastrez ja Haué 2008). Kuljettaja voi luottaa täysin opastavaan järjestelmään, jolloin inhimillisen virheen riski kasvaa huomattavasti etenkin tilanteessa, jossa järjestelmä menee epäkuuntoon (de Waard ym. 1999).

### 3.3 Käyttäjäkokeuksia älykkäistä kuljettajaa opastavista järjestelmistä

Kuljettaja- ja käyttäjäpalautte sekä käyttäjäkokeuksen kerääminen on tärkeä osa tietojärjestelmien kehitystyötä. Kuljettajakokeukset ja -palautte tuotteiden kehitysprojekteissa tarjoavat arvokasta tietoa järjestelmäversioiden hyötypotentialista ja tarpeellisuudesta sekä niiden toimivuudesta ja soveltuvuudesta suunniteltuun tarpeeseen (Fastrez ja Haué 2008). Kerätyn kokemuksen- ja palautetiedon avulla järjestelmiin tehdään korjauksia ja muutoksia parantaen muun muassa järjestelmän toimivuutta ja käyttäjäystävällisyyttä. Olennaista on myös saada kokonaiskuva valmiin sovelluksen tuottamasta hyödystä aiempaan tilaan nähden. Seuraavassa on käyty läpi tutkimuksia, joissa tuodaan esille käyttäjäpalautetta, kokemuksia ja avaintuloksia aidossa tai simulaattoriympäristössä testatuista kuljettajaa opastavista älykkäistä järjestelmistä.

Carstenin ja Fowkesin (2000) tekemien haastattelujen sekä käyttäjätutkimusten mukaan henkilöautoliikenteessä käytettävää vapaaehtoista nopeudensäätelyjärjestelmää pidettiin parempana kuin pakottavaa järjestelmää. Testiajojen jälkeen käyttäjien tyytyväisyys kasvoi molempia järjestelmiä kohtaan. Kenttäkokeissa konfliktitilanteiden ja onnettomuuksien määrä laski molempia järjestelmiä käytettäessä. Pakottavan järjestelmän käyttäjät kiinnittivät enemmän huomiota ajoonsa ja heillä oli enemmän aikaa liikennetapahtumiin liittyvään päätöksentekoon. Järjestelmät myös laskivat polttoaineen kulutusta erityisesti taajamissa (Carsten ja Fowkes 2000). Tapi-on ym. (2003) mukaan henkilöautojen älykkäiden nopeudensäätelyjärjestelmien hyväksyntä oli käyttäjien keskuudessa varsin korkea. Tutkimuksessa tehtyjen asiantuntijakyselyiden mukaan mahdollisia negatiivisia sivuvaikutuksia olisi eniten pakottavalla nopeudensäätelyjärjestelmällä. Näitä olisivat lisääntyvät ohitukset (mikäli kaikilla ei ole kyseistä järjestelmää), pienentyneet turvavälit, kuljettajien vireystilan lasku sekä väärät nopeusvalinnat huonoissa liikenne- tai sääolosuhteissa. Informoiva ja varoittava järjestelmä saattaa häiritä kuljettajan tarkkaavaisuutta ja lisätä ajotapahtuman henkistä kuormittavuutta. Rekisteröivä järjestelmä sekä sen aiheuttama ”isoveli valvoo” -asetelma voivat lisätä kuljettajan stressiä (Tapio ym. 2003).

Caird ym. (2008) käyttäjätutkimuksessa kuljettajien reagointikykyä liikennetilanteisiin risteyksissä tarkasteltiin ajon aikana. Tutkimuksessa opastava järjestelmä välitti opasteen tuulilasinäytön avulla riittävän ajoissa risteykseen saavuttaessa. Nuoret kuljettajat katsoivat opasteita useammin ja pidempään kuin vanhemmat kuljettajat, jotka pysähtyivät nuorempia harvemmin risteyksikohtiin. Caird ym. (2008) tutkimuksen mukaan opastejärjestelmää käytettäessä molempien ikäryhmien kuljettajat pysähtyivät useammin risteysalueelle kuin mitä ajettaessa ilman opastusta. Ääniopastuksen vaikutus Takayaman ja Nassin (2008) tutkimuksessa oli kahdensuuntainen. Etukäteinen tiedotus tai opastus tulevasta liikennetapahtumista ajettavalla reitillä aikaansai kuljettajilla ajonopeuden kasvun ja toisaalta ennakolta varautumisen tulevaan liikennetilanteeseen, edellisen vaikuttaessa ajoturvallisuuteen heikentävästi ja jälkimmäisen parantavasti. Kantowitzin ym. (1995) käyttäjätutkimuksessa selvitettiin kuljettajien palautetta reitinnavigoinnista simulaattoriympäristössä, jossa järjestelmällä opastettiin tarkoituksellisesti virheellistä tietoa liikenteestä. Vaikka kuljettajien luottamus heikkeni reitinnavigointijärjestelmään, kuljettajat jatkoivat edelleen järjestelmän käyttämistä. Kuitenkin osa testikuljettajista vähensi merkittävästi navigaattorin tarjoaman informaation käyttöä (Kantowitz ym. 1995).

Raskaan tieliikenteen ja maanrakennuskoneiden kuljettajilta kokemuksia ja käsityksiä toimintaa helpottavista, älykkäistä järjestelmistä ovat kysely- ja haastattelututkimuksilla kartoittaneet muun muassa Roetting ym. (2002), Huang ym. (2005) ja Meriläinen (2010). Huang ym. 2005 tutkivat kyselytutkimuksella raskaan ajoneuvoyhdistelmän kuljettajien saamaa palautetta nykyisessä työympäristössä sekä kuljettajien asenteita palautteen saamiseen ja kuljettajia opastaviin järjestelmiin. Tutkimuksen mukaan kuljettajat halusivat saada enemmän palautetta omasta

työstään ja kokivat positiivisen palautteen hyödyllisemmäksi kuin negatiivisen. Kuljettajat halusivat eniten palautetta turvallisuuteen liittyvistä seikoista. Vaikka kuljettajat ottivat palautetta mieluiten vastaan toiselta kuljettajalta tai esimieheltään, he eivät vastustaneet kuljettajia opastavien järjestelmien käyttöönottoa, jos se tarjosi suoraa palautetta heidän ajosuorituksestaan (Roetting ym. 2002). Merkittävää eroa sen suhteen, missä muodossa tai millä aikavälillä kuljettajat mieluiten ottavat palautteen vastaan, ei vastausten perusteella ollut. (Roetting ym. 2002, Huang ym. 2005). Kolmannes kuljettajista epäili opastavien järjestelmien heikentävän kuljettajan ammatitaitoa, jos järjestelmään luotetaan liikaa. 46 % kuljettajista koki kuljettajaa opastavan järjestelmän stressiä lisäävänä tekijänä. 35 % kuljettajista suhtautui kielteisesti opastavien järjestelmien käyttöön (Huang ym. 2005). Enemmistö kyselyyn vastanneista suhtautui kielteisesti opastaviin järjestelmiin, jotka tallentavat tietoa kuljettajien työskentelystä. Kuljettajat kokivat yksityisyyden suojan tärkeämmäksi kuin turvallisen ajotavan seuraamisen (Huang ym. 2005).

Työkoneautomaation käyttökokemuksista, sen mahdollisista ongelmakohdista ja eduista maanrakennustyömaalla on tehty opinnäytetyö Savonia-ammattikorkeakouluun (Meriläinen 2010). Tutkimuksessa haastateltiin 11 maanrakennuskoneenkuljettajaa ja 9 tietyömaan työnjohtajaa. Vastaajista 65 % ilmoitti työkoneautomaation toimivan hyvin. Samoin 65 % ilmoitti sen vaikuttaneen työvuoron aikaisen työn määrään. Yksi koneenkuljettajista halusi tehdä töitä ilman automaatiota. Enemmistön (64 %) mielestä työn tuottavuus oli noussut automaation seurauksena (Meriläinen 2010).

Työnjohdon näkökulmasta työkoneautomaatio oli koettu työtehtäviä helpottavaksi tekijäksi (78 %). Enemmistö vastaajista oli myös sitä mieltä, että koneiden tehollinen työaika oli kasvanut ja yritykselle oli taloudellista hyötyä työkoneautomaation käytöstä. Sen sijaan 77 % työnjohtajista koki huonon satelliittigeometrian aiheuttavan ongelmia työkoneiden toiminnalle (Meriläinen 2010).

### 3.4 Ihmisadaptiivinen mekatroniikka (HAM)

Ihminen-kone järjestelmän kehitystyössä 2000-luvulla tutkimukset ovat keskittyneet ihmisadaptiiviseen mekatroniikkaan (HAM). Tavoitteena tutkimuksissa on ollut ihminen-kone vuorovaikutuksen tehostaminen ja siten konesuorituksen kasvattaminen sekä työnlaadun parantaminen (Suzuki ym. 2004, Tervo 2010). Ihmisadaptiivisella mekatroniikalla tarkoitetaan älykästä konejärjestelmää, joka kykenee mukautumaan käyttäjänsä taitotasolle muuttuvissa olosuhteissa sekä tarjoaa käyttäjäopastusta työsuorituksen ja käyttäjän taitotason parantamiseksi (Suzuki ym. 2004, Furuta ym. 2005, Tervo 2010). Kuljettaja-kone käyttöliittymien ja hallintalaittejärjestelmien kehittyminen on avannut mahdollisuuden älykkäiden konejärjestelmien käyttöönottoon (Yu 2008).

Ihmisadaptiivisessa mekatroniikassa ensimmäisenä vaiheena on määrittää kuljettajan käyttäytymisrutiinit ja taitotaso työsuorituksessaan. Olennaista on todeta taitavan operaattorin työsuoritus ja ymmärtää se. Tukena taitotason määrittelyyn on suoritekriteeristö, jonka pohjalta on voitu tehdä taitoarviointia (Tervo 2010, Palmroth 2011). Suoritekriteeristöä määrittävinä tekijöinä voi olla esimerkiksi kuljettajan virheellisten ohjainliikkeiden määrä, taukojen määrä ja osuus työsyklin aikana sekä liikemäärä ja -nopeus. HAM-järjestelmän perusajatuksena on taitavimpien kuljettajien parhaiden työtekniikoiden ja -mallien tunnistaminen ja analysointi, jolloin tallennetun tiedon tuella kone voisi opastaa tehokkaita työskentelymalleja aloitteleville tai taitamattomille kuljettajille työn eri vaiheissa (Suzuki ym. 2004).

### 3.5 Älykkäiden opastavien järjestelmien tulo metsäkoneisiin

Liikkuvien työkoneiden, kuten puunkorjuukoneiden kuljettajien ja koneen välisen järjestelmän adaptiivisuuden ja opastuksen kehittämisessä Tervo (2010) on pyrkinyt yhdistämään ihmisadaptiivisen mekatroniikan (HAM) ja älykkään valmennusjärjestelmän (*Intelligent Coaching System, ICS*) piirteitä. Esittämässään uudessa, ihmisadaptiivisessa mekatroniikka- ja valmennusjärjestelmässä (HAMC) on tavoitteena **tunnistaa** kuljettajan työvaiheita ja työnkulkua työssään, **arvoida** ja **mallittaa** kuljettajan taitoa ja taitotasoa, **avustaa** ja **opastaa** kuljettajaa suorittamaan työtehtäviä paremmin ja tehokkaammin sekä **säätää** koneen hallintalaitteiden toimintaparametreja kullekin kuljettajalle parhaiten sopivaksi (Tervo 2010).

Perusteellisemmin läpikäytynä Tervon (2010) esittämä HAMC-malli koostuu viidestä interaktiivisesta:

1. Työsuorituksen tason määrittäminen (*Performance assessment*)
2. Taitotason evaluointi (*Skill evaluation*)
3. Älykäs valmennus (*Intelligent coaching*)
4. Aktiivinen avustus (*Active assistance*)
5. Sopeuttaminen (*Passive adaptation*)

Ensimmäisessä tasossa kuljettajan työskentelyn suoritustaso mitataan ja välitetään kuljettajalle esim. monitorilla. Seuraavassa vaiheessa HAMC-malli evaluoi kuljettajan suoritus- ja taitotason, ja järjestelmä näyttää perusteellisempaa tietoa työn suorituksesta ja taitotasosta kuljettajalle. Jo tämääntasoisesta tiedosta on arvioitu parantavan kuljettajan työsuoritusta. Älykkäällä valmennustasolla järjestelmä tarjoaa perusteellisemmin analysoitua ja opastuksen tasolle jalostettua informaatiota, palautetta, ohjeita ja ehdotuksia esimerkiksi puheopastuksen muodossa. Neljännessä, aktiivisen avustuksen tasolla järjestelmä helpottaa kuljettajaa hallitsemaan koneen ohjausta ja käyttöä esimerkiksi suorittamalla osan kuormaimen liikkeistä kuormauksen käsittelyn helpottamiseksi. Sitä vastoin passiivisessä sopeuttamisessa kyse on konejärjestelmän osien, kuten esimerkiksi kuormaimen parametrien säädöistä kunkin kuljettajan taitotasolle sopivaan tilaan. (Tervo 2010).

Tervon tutkimuksissa keskityttiin ihminen-kone -järjestelmässä taakkoja käsittelevien kuormaimien ohjauksen hallintaan, automaattiseen hallintalaitteiden säätöön ja kuormauksen tehostamiseen satama- ja metsäkoneissa (Tervo ym. 2010, Aulanko ja Tervo 2010, Tervo ym. 2010). Tutkimuksissa ei kuitenkaan toteutettu opastukseen ja valmennukseen (*Intelligent coaching*) liittyviä kokeita ja tutkimusta. Kuljettajan taitotason määrittelyssä merkittäväksi haasteeksi ja ongelmaksi ilmeni laajasti vaihtelevien työskentelyolosuhteiden huomioon ottaminen (Tervo 2010, Tervo ym. 2010).

Myös Palmroth (2011) tutki väitöskirjassaan koneenkuljettajan työsuorituksia automaattisella koneen kuormaimen hallintalaitteiden liikkeiden monitoroinnilla. Tavoitteena hänellä oli lisäksi kehittää perusteet työkoneenkuljettajaa opastavalle systeemille. Tervon (2010) tavoin Palmroth (2011) mallinsi kuljettajan käyttäytymistä HMM-menetelmällä (*Hidden Markov Model*), ja tavoitteena oli mallintaa kaikki ne työtehtävät ja -toimet, joita tarvitaan kokonaisen työvaiheen suorittamiseen.

Palmroth (2011) havaitsi, että kuljettajan työsuorituksen ja taitotason automaattisessa määrittämisessä ilmenee suuria haasteita erityisesti metsäkonetyöskentelyssä. Ensinnäkin kuljettajat eroavat taidoiltaan, työtekniikoiltaan ja toimintatavoiltaan merkittävästi toisistaan. Toisaalta

puunkorjuun työympäristö muuttuu jatkuvasti, mikä vaikuttaa työsuoritukseen. Lisäksi työkooneen suorituskyky voi myös vaihdella työskentelyn aikana. Tutkimuksen tulosten perusteella Palmroth ym. (2009) totesivat, että opastavan systeemin toiminta-ajatuksena olisi tarkan opastuksen sijaan ennemminkin esittää käyttäjälle hyödyllisiä vihjeitä ja ehdotuksia, jotka auttaisivat parantamaan kuljettajan suoritus- ja taitotasoa.

Ihminen-kone järjestelmän suorituskyvyn mallintamisessa lähtökohtana oli mallintaa kuljettajan päätöksenteon ja työskentelyn eri vaiheet sekä suorituskyky ja taitotaso osana koneen kanssa muodostettavaa kokonaisuutta. Eri työvaiheet mallinnettiin tehtäväverkkona (*Task Network Model*), joita analysoitiin Markovin mallilla. Käytetyn lähestymistavan etu on, että erilliset työvaiheet ja työtehtävät voidaan tunnistaa erillisiksi yksiköiksi lähes reaaliaikaisesti. Taitoarvioinnissa periaatteena oli, että kuljettajien taitoja arvioitiin työtehtävätasolla. Kuljettajien taitotasojen arviointi perustui mitattuihin arvoihin ja tilastollisiin referenssarvoihin, joita oli mitattu viiteryhmästä (Palmroth 2011). Taitotason määrittäminen tutkimuksessa kehitetyllä taitomittaristolla (*skill metrics*) tarjoaa käyttäjälleen tietoa siitä, missä kohdin kuljettajan työsuorituksessa olisi merkittävintä kehityspotentiaalia (Tervo ym. 2010, Palmroth 2011).

Kuljettajaa opastavan järjestelmän ensiaskeleena tutkittiin sumeaa asiantuntijasysteemiä (*fuzzy expert system*) tarjoamaan kuljettajalle opastusta kuormaintyöskentelyyn metsäkuljetuksessa. Ensimmäiset testit ovat perustuneet pieniin aineistoihin, mutta tulokset ovat olleet rohkaisevia ja jatkossa järjestelmää kehitetään ja testataan aidossa työympäristössä (Palmroth ym. 2009, Palmroth 2011).

## 4 Älykkäät kuljettajaa opastavat järjestelmät – esimerkkejä käytännön sovelluksista

### 4.1 Lentoliikenne ja autopilotti

Suurin osa lentoliikenteestä lennetään ns. mittarilentona (*Instrument Flight Rules, IFR*) olosuhteissa, joissa lentäjällä ei ole visuaalireferenssejä: huonossa näkyvyydessä tai esimerkiksi pilvien yläpuolella, jolloin maamerkeistä ei voi suunnistaa (Patria 2011). Tällöin lentokoneen miehistö joutuu lentämään ja tekemään päätökset autopilotin ja muiden hallintalaitteiden varassa. Autopilotti on useasta eri osajärjestelmästä koostuva hallintajärjestelmä, joka huolehtii automaattisesti lentokoneen ohjaamisesta. Autopilotilla ja päätöksentekoa avustavilla järjestelmillä vähennetään lentäjälle kuuluvien yksinkertaisten valvontatehtävien ja paljon toistoa vaativien tehtävien määrää, jolloin lentäjä voi keskittyä muihin enemmän tarkkuutta ja huomiota vaativiin tehtäviin (Rong ym. 2005). Nykyisin autopilotti on vakiovaruste kaikissa liikenneluokan lentokoneissa ja armeijan käyttämissä lentokoneissa ja hävittäjissä.

Autopilotti saa lentokoneen järjestelmiltä tietoa sen asennosta, suunnasta, nopeudesta, korkeudesta ja laskee niiden perusteella tarvittavat ohjaustoimenpiteet ja toteuttaa ne ohjainjärjestelmään liitettyjen servojen avulla. Autopilotti tulkitsee GPS-järjestelmän, sensoreiden ja tietokantojen muodostamaa kokonaisuutta tehdessään tilannearviota (Korn ja Hecker 2002). Autopilotin eri toiminnot jaetaan lateraaliseen ja vertikaaliseen navigointiin sen mukaan, missä suunnassa autopilotti navigoi ja hallitsee koneen toimintaa (Miller 2006):

Vertikaalinen navigointi (VNAV):

- säilyttää tavoitellun nousu- tai laskunopeuden
- määrittää lentokoneen korkeuden annetulla reitillä

Lateraalinen navigointi (LNAV):

- säilyttää koneen suunnan annetulla reitillä
- lentää koneen suunnistuslaitteiden mukaan kohteeseen.

Pelkkä autopilotti ei kuitenkaan riitä lentäjien päätöksenteon tueksi kaikissa tilanteissa. Esimerkiksi armeijan taistelulentokoneet tarvitsevat paljon erilaista päätöksenteon tukea ja informaatiota ympäristöstään, koska konfliktitilanteet ovat hyvin vaativia (Walsdorf ja Onken 1998). Militäärisovelluksissa opastavat järjestelmät käyttävät perinteisten tietokantojen lisäksi tiedustelutietoa ja havaintomateriaalia paikallisista olosuhteista (Dargam ym. 1991). CAMA (*Crew Assistance Military Aircraft*) on esimerkki älykkästä kuljettajaa opastavasta järjestelmästä. Järjestelmän antama opastus vaihtelee tehtävän ja kuljettajan järjestelmälle antaman palautteen mukaan. Navigoinnin ja ennalta määrätyn lentoreitin lisäksi järjestelmä opastaa mahdollisten konfliktien ja lähestymistilanteiden sattuessa. (Walsdorf ja Onken 1998)

Automaatio ei lisää lentoliikenteenkään turvallisuutta kaikissa tilanteissa. Keskittymiskyvyn heikentyminen tai huomiokyvyn herpaantuminen ovat yleisimpiä ongelmia. Lisäksi harjoituksen puutteesta johtuvien manuaalisten lentotaitojen heikentyminen voi aiheuttaa turvallisuusriskejä (Le Blaye 2002).

Nykyisin käytössä olevat lentoliikenteen päätöksenteon tukijärjestelmät kattavat vain noin puolet ihmisen päätöksentekokapasiteetista, jolloin lentäjän stressitaso voi nousta korkeaksi vaikeissa olosuhteissa tai tilanteissa, joissa kuormittavia tekijöitä on useita (Onken ja Walsdorf 2000). *Kognitiivisissa automaatiojärjestelmissä* järjestelmä muodostaa tilannekuvan ympäristöstä ja priorisoi lentäjän huomion kaikkein tärkeimpiin tai kriittisimpiin tehtäviin, jolloin voidaan vähentää lentä-

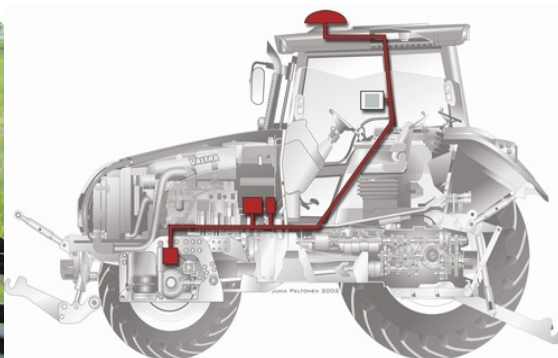
jälle kohdistuvan päätöksenteon ja työn määrää (Schulte 2001, Onken ja Walsdorf 2000, Onken 1993). Lisäksi kognitiivisessa automaatiojärjestelmässä pyritään välttämään perinteiseen autopilottiin liittyviä ongelmia kuten passivoitumista. Vastuu päätösten hyväksymisestä tai hylkäämisestä on lentäjällä, jolloin päätöksentekojärjestelmässä voidaan hyödyntää inhimillisen päätöksenteon kapasiteettia täysimääräisemmin. Myös päävastuu lentokoneen ohjauksesta on lentäjällä, mutta automaatiojärjestelmät valvovat lentokoneen ja lentäjän tilaa ja toimintoja (Schulte 2001).

## 4.2 Maanviljely ja maanrakennus

Sekä maanviljelyssä käytettävien työkoneneiden että maanrakennuskoneiden automatisointi perustuu anturijärjestelmiin ja GPS-pohjaisiin paikannusjärjestelmiin. Leikkuupuimureissa ja traktoreissa käytettävä automaatiohjaus muistuttaa mekanismiltaan lentokoneen autopilottia. Automaatiohjauksessa ohjausventtiili antaa käskyjä traktorin ohjausjärjestelmälle GPS-antennin antamien signaalien perusteella. Ajoreitti määritellään GPS-paikannuksen perusteella jopa muutaman senttimetrin tarkkuudella. (Kuva 2). Kuljettajan tarvitsee pellon päässä kääntää traktori oikealle ajolinjalle tai väistää mahdolliset esteet järjestelmän huolehtiessa ohjauksesta muilta osin (Valtra 2011). Peltotöissä automaatio säästää muun muassa lannoitusta, torjunta-aineita, siemenviljan menekkiä sekä polttoainekustannuksia ja työaika, kun kaistoja tai esimerkiksi kylvövakoja ei tarvitse varmuuden vuoksi ajaa toiseen kertaan (Rantanen 2009).

Maanrakennuskoneissa käytettävän työkonemaatonta tavoitteena on helpottaa työtä sekä vähentää työmailla tehtäviä manuaalisia mittauksia ja työkohteen merkintää (Meriläinen 2010, Kuure 2011). Kolmiulotteisen maastomallin käyttöön perustuvia ja kuljettajaa opastavia 3D-järjestelmiä on jo tarjolla useilla laitevalmistajilla. Ohjausjärjestelmiä on mahdollista asentaa useaan erilaiseen työkoneseen, kuten puskukone, pyöräkuormaaja, tiehöylä ja kaivukone. Koneen sekä sen työlaitteiden paikannuksessa ja kuljettajaohjauksessa tarvitaan reaaliaikaista ja cm-tarkkusluokan paikannusta (Kuure 2011).

Valtion teknillisen tutkimuslaitoksen MODU-projektissa (Modulaarisen ohjausjärjestelmän kehittäminen tienrakennuskoneiden automaatioosovelluksiin) kehitettiin tienrakennuskoneiden automatisointia. Projektin yhteydessä kehitettiin tienrakennuskoneisiin asennettavat automaattiset ohjausjärjestelmät, joiden avulla koneita pystyttiin ohjaamaan CAD-sovelluksella (*Computer-Aided Design*) tehdyn suunnitelman pohjalta. Korvaamalla kuljettajan käsityöhön perustunut ohjaus automaattisella järjestelmällä pystyttiin parantamaan tehokkuutta ja tarkkuutta (Kilpeläinen ym. 2004). Myös laadunhallinnan automatisoinnilla nähtiin olevan huomattavia etuja aikaisempiin laadunmittausmenetelmiin verrattuna.



**Kuva 2.** Valtran AutoGuide on esimerkki automaatiohjausjärjestelmästä (© Valtra).



### 4.3 Maantieliikenne

Varhaisimmat kuljettajaa avustavat järjestelmät autoissa olivat opastukset kuljettajalle vaihteen valinnassa polttoaineenkulutuksen vähentämiseksi. Tästä on siirrytty yhä kehittyneempiin järjestelmiin. Maantieliikenteessä kuljettajaa avustavien järjestelmien tarkoituksena on muun muassa tukea kuljettajan päätöksentekoa esimerkiksi vaaratilanteissa ja vähentää kuljettajasta aiheutuvien riskitekijöiden määrää (Kim ym. 2008) sekä opastaa kuljettajaa ajamaan taloudellisesti polttoainetta säästäen (Kamal ym. 2010).

Taloudelliseen ajoon opastavat älykkäät järjestelmät ovat käytössä muutamilla automerkeillä (esim. Fiat 2011, Honda 2011). Hondan uusimmissa hybridi-autoissa käytössä oleva eco-driving -teknologia opastaa kuljettajaa ajamaan taloudellisemmin välittäen nopeusmittarin välein ajon aikaisen polttoaineen kulutuksen. Lisäksi järjestelmä monitoroi ajotapaa pidemmältä aikaväliltä ja tarjoaa jälkipalautteena graafisen pisteytyksen ajon taloudellisuudesta (Honda 2011). Fiat tarjoaa tällä hetkellä taloudellisen ajon opastusta passiivisena jälkipalautteena tietokoneelta, josta kuljettaja näkee pisteytykset ajon eri osille (kiihdyttäminen, jarruttaminen, vaihteiden vaihto ja nopeus) ja saa kokonaiskuvan muun muassa kunkin ajokerran tuottamasta hiilidioksidipäästöstä ja ajotavan tuomasta säästöstä euroina (Fiat 2011).

Henkilöautoissa suuri osa kuljettajaa avustavista järjestelmistä koostuu erilaisista turva- ja varoitusjärjestelmistä esimerkiksi automaattisesta jarrutustoiminnosta, kaistavaroittimesta ja törmäyksenestotekniikasta, jotka ohjeistavat kuljettajaa toimimaan tilanteen vaatimalla tavalla. Esimerkiksi kaistavaroitin estää kuljettajan tilapäisestä keskittymisen herpaantumisen aiheutuvan ajoneuvon ulosajon tai törmäyksen. Varoitin rekisteröi digitaalisen kameran avulla kaistamerkitöitä ja tarkkailee auton sijaintia maantiellä. Mikäli ajoneuvo harhautuu yli kaistaviivan, varoitin varoittaa esimerkiksi värinällä tai äänimerkillä (Audi 2011).

Mercedes-Benz (2011) tarjoaa osaan malleista kuljettajan vireystila-avustin järjestelmän, jossa vireystila-avustin valvoo kuljettajan vireyttä, varoittaa väsymisestä ja ehdottaa virkistävän tauon pitämistä. Järjestelmä tarkkailee kuljettajan toimintaa. Kun kuljettaja väsymisen myötä alkaa toimia totutusta poiketen, järjestelmä opastaa ja varoittaa merkkivalolla ja merkkiäänellä (Mercedes-Benz 2011). Osa henkilöautojen turvajärjestelmistä on automaattisia, ja ne kytkeytyvät toimintaan esimerkiksi kuljettajan jarruttaessa äkillisesti tai tehdessä nopean kääntöliikkeen.

City Safety -törmäyksenestotekniikka on Volvon kehittämä kaupunkiliikenneturvallisuutta parantava järjestelmä. Enintään 30 km/h nopeudessa toimiva laserpohjainen tekniikka tunnistaa edessä 6-8 metrin päässä olevan, hitaammin liikkuvan tai pysähtyneen ajoneuvon. Jos järjestelmä päättää, että yhteentörmäyksen vaara on olemassa, se valmistele jarrut valmiiksi nopeaa jarrutusta varten. Mikäli kuljettaja ei jarruta, järjestelmä käyttää jarruja automaattisesti ja ohjaa moottorin tyhjäkäynnille (Volvo 2011).

Kuljettajaa opastavia järjestelmiä on paljon myös raskaassa liikenteessä, jossa kuljetuksen- ja logistiikanohjauksella on suurempi merkitys. Scania on kehittänyt järjestelmän, jonka avulla pyritään vähentämään polttoaineen kulutusta ohjaamalla kuljettajan ajotyylejä ja antamalla palautetta ajon aikana. Järjestelmä tunnistaa tilanteita ja skenaarioita, joissa kuljettajan toiminta on erityisen tärkeää. Taloudellisen ajamisen tukijärjestelmä analysoi jatkuvasti ajoneuvon anturien tietoja ja auttaa parantamaan ajosuoritusta (Kuva 3). Järjestelmä arvioi kuljettajan ajoa mäkiselällä tiestöllä, jarrutusta, tilanteiden ennakoimista ja vaihteiden valintaa. (Scania 2011)



**Kuva 3.** Opaste-esimerkkejä Scanian valmistamasta kuljettajaa opastavasta taloudellisen ajamisen tukijärjestelmästä (Scania Driver Support © Scania).

Tavaraliikenteessä reittioptimointi- ja kuljetuslogistiikan hallintajärjestelmät ovat jo laajasti käytössä. Tavarankuljetusajoneuvoissa tulee olla erikseen ohjaamopäätte, jonka karttanäkymän ja reittinavigoinnin avulla kuljettaja voi reaaliajassa seurata ja noudattaa ajo-ohjeita. Älykkäät reitinsuunnitteluohjelmat sijaitsevat kuljetusyriyten toimipaikoissa tai logistiikkakeskuksissa, joissa kuljetuskaluston ohjaus ja autojen reittioptimoinnit tehdään (Route planning 2012). Käytössä on myös ajoneuvokohtaisia ”stand-alone” ohjelmistoja, jotka laskevat tehokkaimmat ajoreitit ja opastavat kuljettajalle ajoreittiä.

Toisen kiintoisan suunnan etenkin autonavigaation osalta tarjoaa Applen iPhoneille kehitelty sovellus, joka yhdistää laajennetun todellisuuden paikannusteknologiaan. Se tarkoittaa käytännössä sitä, että laskettu ajoreitti piirretään aidon videokuvan päälle, jotta käyttäjä näkee helposti oikean reitin. Lisäksi *Augmented Driving* nimellä kulkeva sovellus osaa tunnistaa, jos kuljettaja on liian lähellä edellä ajavaa autoa. Myös muilla yrityksillä on ollut tämän tapaisia ratkaisuja kehitteillä, mutta iPhone-sovellus on ensimmäisiä julkaisuja laatuaan (GPS-navigointi nyt 2011).

#### 4.4 Kaivosteollisuus ja satamalogistiikka

Kaivosteollisuudessa automaatiolla pyritään ensisijaisesti parantamaan turvallisuutta sekä lisäämään tehokkuutta. Erilaisia konenäköön perustuvien järjestelmien prototyyppijä on kehitetty 1990-luvulta lähtien (Corke ym. 1998), mutta vasta viime vuosina on kehitetty automaatioon pohjautuva toiminnanohjausjärjestelmä kaivosteollisuuteen. Kaivosympäristö on aistinjärjestelmien käyttöä ja automaattiohjausta ajatellen etenkin metsään verrattuna helppo, sillä se on ihmisen rakentama ja säännönmukainen. Sandvik Mining and Construction on viimeisen 15 vuoden ajan kehittänyt AutoMine-järjestelmää, jossa työkoneet toimivat osin itsenäisesti ja osin käyttäjän ohjaamina. Kuljettaja voi ohjata useampaa konetta erillisestä ohjauskeskuksesta maanpinnalta. AutoMine-järjestelmään liitetyt kaivosajoneuvot pystyvät kuljettamaan kuorman itsenäisesti ja käyttäjän tehtäväksi jää sen kuormaaminen. Työkoneiden ohjaamiseen tarvittavaa dataa sekä koneiden tuottamaa videokuvaa työkohteesta siirretään langattoman lähiverkon avulla (Sandvik automates mining...2011). Tunneleissa järjestelmä käyttää laserskannereita, joilla se ohjaa ajoneuvon kulkua (Kuva 4) (Sandvik 2011).



**Kuva 4.** AutoMine-järjestelmässä navigointijärjestelmä päivittää ajoneuvon sijaintia jatkuvasti ja ohjaa kuljetusta ja lastausta (© Sandvik AutoMine).

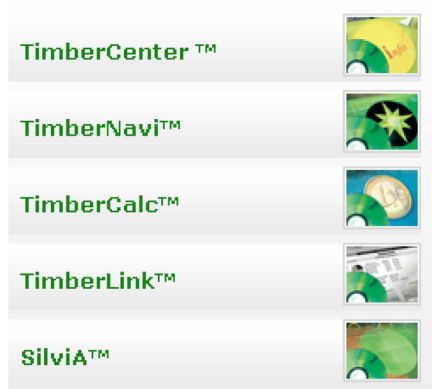
Satamien työkoneiden automatisoinnin tavoitteena on parantaa kontinkäsittelyn toiminnan tehokkuutta nopeassa toimintaympäristössä keskittämällä miestyövoiman käyttöä puoliautomaattisten konttilukkien ja -koneiden valvontaan ja ohjaukseen. Puoliautomaattiset, etäohjattavat konttilukit, pystyvät siirtymään itsenäisesti paikasta toiseen GPS:n, tutkan ja muiden järjestelmien avulla. Yksi henkilö voi ohjata useampaa konetta. Kuormaamisen ja purkamisen suorittaa kuitenkin ihminen ohjauskeskuksesta (Pylvänen 2007).

## 5 Kuljettajaa opastavien järjestelmien käyttö metsäkoneissa

Metsäkoneissa on käytössä erilaisia kuljettajaa opastavia toimintoja. Suurimmilla metsäkonevalmistajilla on omat metsäkoneiden tietojärjestelmänsä. John Deeren Timbermatic (John Deere 2011), Ponsse Opti (Ponsse 2011), Valmet Maxi (Komatsu 2011) sisältävät erilaisia automaattisia, puoliautomaattisia ja opastavia toimintoja koneiden ohjaamiseen, laitteiden säätöihin, kuntoon, vikadiagnostiikkaan, mittaukseen ja katkontaan, koneen paikantamiseen sekä yhteydenpitoon. Myös koneen tuottavuuden ja toiminnan kannattavuuden seuraamiseen on konevalmistajien omia sekä muiden kehittämiä ohjelmistoratkaisuja, kuten Lastu-ohjelmat (Exertus 2011). Esimerkkeinä järjestelmäperheestä on kuvassa 5 esitetty John Deeren ohjausjärjestelmä.

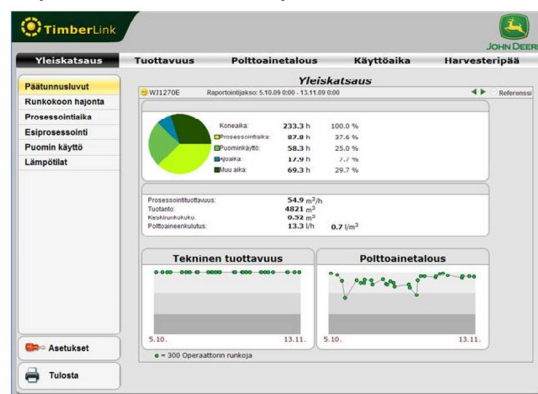
### TimberOffice

Ohjelmistopaketti tuotannon optimointiin



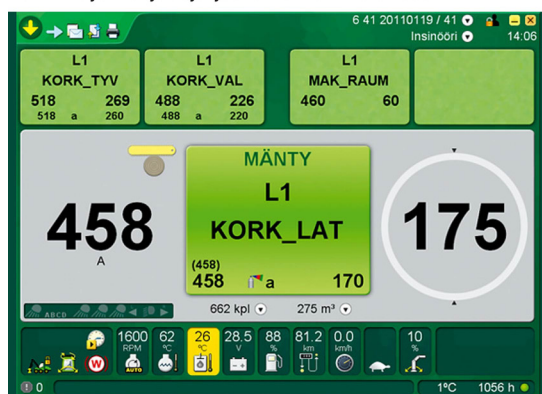
### TimberLink

Järjestelmä koneen toimintojen seurantaan



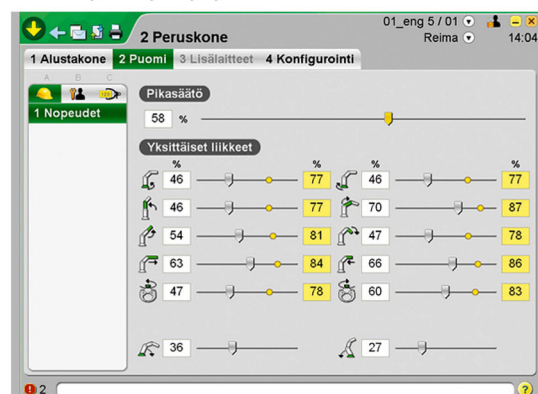
### Timbermatic H-09

Toimintojen ohjausjärjestelmä harvesterissa



### Timbermatic F-09

Toimintojen ohjausjärjestelmä kuormatraktoreihin



**Kuva 5.** Metsäkoneiden ja hakkuulaitteiden mittaus-, ohjaus- ja viestintäjärjestelmiä John Deeren metsäkoneissa (John Deere 2011).

Metsäkoneiden tietojärjestelmissä on jo nyt runsaasti tietoa saatavilla ja usein raporttimuodossa käytettävissä. Koneiden raportointiohjelmista voidaan jälkikäteen todeta kuljettajien ajankäyttöä ja tuotosta sekä koneen tuotosta, kulutusta, käyttöastetta. Pääosin käytössä oleva passiivinen raporttimuotoinen palaute on todettu kuljettajien keskuudessa tarpeelliseksi (Ylimäki ym. 2012), mutta raportoidun tietomäärän tehokas hyödyntäminen oman työskentelyn parantamiseksi on hankalaa. Tulevaisuudessa onkin odotettavissa, että koneisiin kerättyä tietoa tullaan älykkäästi analysoituna ja pureskeltuna tarjoamaan kuljettajalle reaaliaikaisena opastuksena hänen niin halutessaan (Tervo 2010, Palmroth 2011, Ylimäki ym. 2012). Lisäksi uusinta aistinteknologiaa, kuten konenäköä, laserkeilausta ym. hyödyntämällä voidaan puuston inventointitiedon lisäksi mahdollisesti tuottaa tietoa esimerkiksi harvennusvoimakkuudesta ja puuston laatuominaisuuksista (Ala-Ilomäki ym. 2008).

Päätöksentekoa ja suunnittelua tukevista järjestelmistä metsäkoneiden kartta- ja navigointijärjestelmät ovat jo laajasti käytössä. Konevalmistajien paikkatieto-sovellukset näyttävät koneen sijainnin ja liikkeen karttanäytöllä. Työskentely helpottuu ja turvallisuus paranee järjestelmän varoittamassa kuljettajaa, kun koneella lähestytään leimikonrajaa, sähkö- tai puhelinlinjaa tai suojeltavaa luontokohdetta (esim. John Deere 2011, Ponsse 2011, Komatsu 2011). Edellä mainittujen kohteiden lisäksi karttaan voi tallentaa myös varastopaikkojen sijainnit. Hakkuukoneen tallentama ajouraverkko voidaan lähettää sähköpostitse kuormatraktoriin lähikuljetuksen suunnittelua varten. Puutavaralajien ja -määrien sijaintitietoa leimikolla voidaan myös hyödyntää metsäkuljetuksen suunnittelussa, kun hakkuukoneen tuotostieto on siirretty kuormatraktorille (John Deere 2011). Ylimäen ym. (2012) tutkimuksessa koneen sijainnin, korjuukohteen rajat sekä suojeltavat maise- ja luontokohteet kertova paikkatietojärjestelmä koettiin erittäin tarpeelliseksi.

Peltomaa ja Shackelton (2011) näkevät opastus- ja monitorointijärjestelmille lupaavia mahdollisuuksia koneiden ylläpidossa ja kuljettajien koulutuksessa. Vuonna 2005 hakkuukoneisiin ja vuonna 2009 kuormatraktoreihin tuotu TimberLink -ohjelmisto mahdollistaa kustannuksiltaan edullisen ja tarkan menetelmän koneiden suorituskyvyn, kunnan ja työn tuottavuuden seurantaan (John Deere 2011). TimberLink seuraa mm. koneen toimintaa ja polttoaineenkulutusta. Ohjelmisto saa tarvittavan tiedon koneen CAN-väylän kautta. Esimerkiksi hakkuukoneissa yksittäisestä rungosta kirjataan satoja mittauksia. Tällaisia ovat esimerkiksi sahausajat, polttoaineenkulutus sahatessa, syöttönopeus ja syötön polttoaineenkulutus sekä kuormaimen käyttöajat jokaiselle pölkylle. Kerättyä tietoa voidaan hyödyntää koneiden ylläpidossa ja kuljettajien koulutuksessa. Runkokohtaiset käsittelyajat jaoteltuina eri työvaiheille ovat saatavissa rungon koon funktiona. (John Deere 2011)

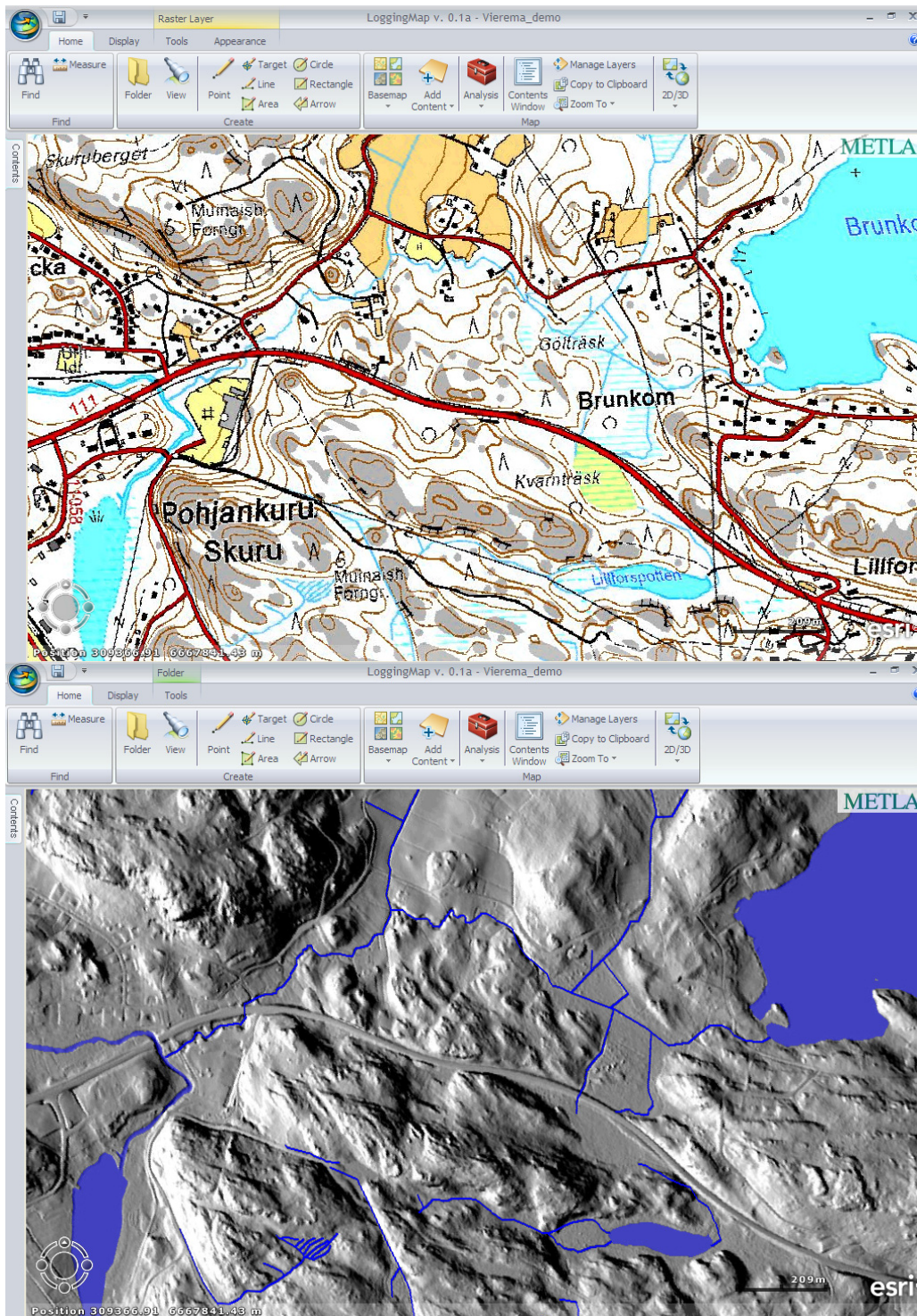
Metsäkoneiden suorituskyky riippuu hyvin monesta tekijästä. Kone, maasto-olosuhteet, puustorakenne, puulaji, koneen asetukset ja kunto sekä kuljettaja muodostavat monimutkaisen suorituskykyyn vaikuttavan kokonaisuuden. Peltomaa ja Shackelton (2011) näkevät monitorointijärjestelmien avaavan koneiden paremman kunnossapidon, oikeiden säätöjen ja kuljettajien taitotason nousun kautta suuria mahdollisuuksia koneiden tuottavuuden ja polttoainetalouden parantamiseen. Lähikuljetuksessa yleistävä kuormainvaakamittaus tarjoaa kuormatraktorinkuljettajalle reaaliaikaista tietoa kuorman massasta ja kuljetetuista puutavaralajimääristä. Kuormainvaakajärjestelmän käyttöönotto on antanut työsuorituksen seurantatyökalun kuormatraktorinkuljettajille (Ylimäki ym. 2012), mutta tulevaisuudessa järjestelmää suunnitellaan hyödynnettäväksi laajemmin lähikuljetuksen reitityksessä ja kuormanajolenkkien opastuksessa.

Puutavaran lähikuljetuksen reittioptimointia ei ole vielä onnistuttu tuotteistamaan käytännön kuormatraktoriyöhön. Metsäkuljetusmatkan ja ajoajan minimoinnin lisäksi lähikuljetuksen reittioptimointiin on ajateltu mukaan otettavaksi maaperän kantavuuden ja kaltevuuden tuomia

rajoitteita. Puutavaran lähikuljetuksen reittioptimointi ei rajoitu pelkästään päätehakkuisiin, vaan sen hyödyt saattavat olla merkittäviä esimerkiksi pinta-alaltaan suurilla harvennushakkuu-alueilla, joissa maaperän kantavuus asettaa rajoitteita joidenkin urien kuormitukselle. Jos leimikolla on vaihtoehtoisia varastopaikkoja, reititys ja koneen sijaintitieto valinnaisten tienvarsivarastojen suhteen auttaa kuljettajaa päätöksenteossa. On mahdollista, että hakkuukone mittaa maaperän kantavuutta ja välittää tiedon heikosti kantavien maastokohtien ajokertarajoitteista kuormatraktorille (Hagström-Näsi ym. 2010). Esimerkiksi kuusikoiden sulan maan aikaisissa harvennuksissa hakkuukoneen raiteenmuodostus on yksi parhaista lähikuljetuksen raiteenmuodostuksen selittäjistä (Sirén ym. 2011). Reitityksen edut ovat todennäköisesti suurimmillaan silloin, kun puutavaralajien määrä on suuri ja ne ovat tasaisesti jakautuneet kohteelle. Opastus ja reititys voi olla hyödyksi myös silloin, kun tiettyä puutavaralajia tarvitaan kiireellisesti (Ylimäki ym. 2012). Tieto kuljettamatta olevasta puutavarasta vähentää metsään jäävän puutavaran määrää. Toisaalta tietoa voidaan käyttää jäljellä olevan puutavaramäärän ja sen kuljetusajan määrittämiseen, jolloin siirtojen suunnittelu ja ajoitus helpottuu.

Ajourien tarkka sijainti ja maaston kaltevuustiedot yhdistettynä puutavaralajien sijaintietoihin antavat mahdollisuuksia lähikuljetuksen reittioptimointiin. Suurimmilla konevalmistajilla on tuotevalikoimassa jonkinasteista opastusta kuormatraktoriyöhön, mutta pitkälle vietyä kuormakohtaista reittiopastusta ei ole vielä markkinoilla. Tällä hetkellä tarjolla on karttapohjaista opastusta, jossa näytöllä kuvataan korjuukohta rajoiheen, hakkuukoneen avaamat ajourat sekä kuormatraktorin sijainti. Puutavaralajien määrän ja sijainnin opastaminen ajouraverkostolla on seuraava askel opastavan järjestelmän kehityttämässä lähikuljetukseen.

Maanmittauslaitoksen tuottama laserkeilaukseen perustuva tarkka maaston korkeusmalli avaa uusia mahdollisuuksia puunkorjuuoperaatioihin. Laserkeilaus mahdollistaa huomattavan parannuksen maaston digitaaliseen korkeusmalliin. Vanhemman korkeusmallin pikselikoko on 10 m x 10 m ja korkeustarkkuus noin 2 metriä. Maanmittauslaitoksen uuden korkeusmallin pikselikoko on 2 m x 2m, korkeustarkkuuden ollessa 30 cm. Tällä hetkellä tarkka maaston korkeusmalli peittää noin kolmasosan Suomen maapinta-alasta. Jo nyt voidaankin metsäkoneenkuljettajalle esittää laserkeilauksella tuotettuun tarkkaan maaston korkeusmalliin pohjautuvaa maastokarttaa (Lamminen ja Väättäinen 2011). Tarkka maaston korkeusmalli mahdollistaa työmaan esittämisen kolmiulotteisena karttasovelluksessa. Tämän avulla kuljettaja voi suunnitella tehokkaasti leimikon ajourien reitityksen ottaen huomioon maaston kaltevuudet, epätasaisuudet sekä mahdolliset kosteikot ja painanteet (Kuva 6). Metsäklusterin EffFibre-ohjelmassa on laadittu demoversio hakkuukoneenkuljettajaa opastavasta järjestelmästä, jossa kuljettajalle voidaan esittää yksityiskohtaista tietoa maan pinnanmuodoista hakkuukohteella.



**Kuva 6.** Yläkuvassa peruskartta ja alhaalla samasta kohteesta tarkkaan maaston korkeusmalliin perustuva vinovalvarjostettu kuva vesistöineen ja ojineen. (Lamminen ja Vätäinen 2011; aineisto: Maanmittauslaitos).

## 6 Yhteenveto ja päätelmät

Automaatio- ja kuljettajaa opastavien järjestelmien käyttö on yleistynyt useilla teollisuuden toimialoilla 2000-luvulla. Näin on tapahtunut myös metsäkoneiden ja erityisesti tavaralajimene- telmän korjuukoneiden teknologiakehityksessä. Työkoneiden automaation lisääntymisestä huoli- matta ihmisen rooli koneiden ohjauksessa sekä valvonnassa säilyy merkittävänä ja kuljettaja on metsäkonetyöskentelyssä jatkossakin erityisen merkittävässä roolissa (Ranta 2004, Tervo 2010). Nopeasti kehittyvä aistin-, tiedonkeruu- ja tiedonkäsittelyteknologia on tarjonnut uusia mahdollisuuksia koneesta, kuljettajasta ja työympäristöstä työn aikana kerätyn tiedon hyödyn- tämiseen. Kuljettajaa opastavien älykkäiden järjestelmien avulla on voitu lisätä palautteen mää- rää koneenkuljettajan päivittäisessä työssä, helpottaa käyttäjän ja koneen välistä vuorovaikutusta ja nopeuttaa työssäoppimista. Kuljettajaa opastavilla järjestelmillä haetaan työskentelyyn tehok- kuutta ja laatua, ylläpidetään työkonetta tai ajoneuvoa tuottavassa tilassa vikadiagnostiikan avulla sekä parannetaan työskentelyn turvallisuutta.

Jo nyt koneet tarjoavat runsaasti informaatiota käyttäjälleen. Vaikka opastavilla järjestelmillä pyritäänkin vähentämään kuljettajan henkistä kuormittumista, opastavan järjestelmän kautta saatava mahdollinen epäolennainen informaatio voi kuitenkin jopa nostaa kuljettajan stressitasoa. Kuljettajan kyky prosessoida informaatiota on rajallinen. Informaation määrä ja laatu vai- kuttavatkin kuljettajan päätöksentekoon. Olennaista on myös se, miten tarjolle tulevaa tietoa priorisoidaan, mitä tietoa ja päätöstukea kulloinkin esitetään ja missä muodossa se tarjotaan käyttäjälle. On myös mietittävä, milloin tieto on tehokkaimmin hyödynnettävissä. Järjestelmän suunnitteluvaiheessa on tärkeää käydä läpi, missä muodossa järjestelmä otetaan käyttöön, jottei- vät järjestelmän negatiiviset vaikutukset kumoa hyötyjä. Kirjallisuuden pohjalta voidaan esittää tekijöitä, joiden huomioonottaminen on tärkeää kuljettajaa opastavia järjestelmiä kehitettäessä:

- a) Käyttöön otettavan järjestelmän tulisi aikaansaada hyötyä ja lisäarvoa toiminnassa,
- b) Järjestelmän käytön tulisi olla helposti omaksuttavissa ja opittavissa,
- c) Järjestelmän tarjoama tuki ja opastus tulisi olla helposti ja oikein ymmärrettävissä,
- d) Järjestelmän tulisi tarjota käypää tietoa juuri silloin, kun sitä voi hyödyntää parhaiten,  
*d1) Älykäs opastava järjestelmä osaa tulkita oikein kuljettajan suorittamia toimintoja*  
*d2) Opastuksen ajoituksella on merkitystä; reaaliaikaisella opastuksella saadaan paras hyöty.*
- e) Järjestelmä ei saisi kuormittaa kuljettajaa liikaa, vaan helpottaa päätöksentekoa,
- f) Positiivinen opastus tai palaute on osoittautunut paremmaksi ratkaisuksi kuin negatii- vissävytteinen ja,
- g) Opastavan järjestelmän huolellinen jalkauttaminen kuljettajien ja asiakkaiden kes- kuuteen on erityisen tärkeää. Hyödyllinen ja oikein markkinoille tuotu opastava jär- jestelmä voi lisätä asiakkaiden halukkuutta hankkia kone tai ajoneuvo, jossa järjes- telmä on käytössä.

Tällä hetkellä nykyaikaiset metsäkoneet sisältävät paljon erilaisia automaattisia, puoliautomaat- tisia ja opastavia toimintoja koneiden ohjaamiseen, laitteiden säätöihin, toimintakuntoon, vika- diagnostiikkaan, puutavaran mittaukseen ja katkontaan, koneen paikantamiseen sekä yhteyden- pitoon liittyen. Konetoiminnoista ja työympäristöstä kerättyä tietoa voitaisiin kuitenkin käyttää nykyistä tehokkaammin. Kuljettajan reaaliaikainen opastus voisi olla tehokkaampaa kuin passiivinen raportointi. Älykkäiden opastavien järjestelmien kehittäminen koneelliseen puunkorjuu- seen on kuitenkin hyvin haastavaa, sillä tehokas kuljettajaopastus edellyttää tietojärjestelmältä



myös jonkinasteista kuljettajan aikomusten ja suunnitelmien tunnistamista ja ennakoitua (Tervo 2010, Palmroth 2011). Haasteita asettavat alati muuttuva työympäristö sekä kuljettajien taito-, työtekniikka- ja toimintatapaerot. Tutkimusten perusteella onkin päätelty, että tarkan opastuksen sijaan käyttäjälle voitaisiin esittää hyödyllisiä vihjeitä ja ehdotuksia, jotka auttaisivat parantamaan suoritus- ja taitotasoa (Palmroth 2011).

Tutkimusten mukaan kuljettajat ovat halukkaita saamaan palautetta työstään. Palautteeseen ja opastukseen suhtaudutaan suvaitsevaisesti, mutta palautteelta toivotaan täsmällisyyttä, oikea-aikaisuutta ja kannustavuutta. Koneellisessa puunkorjuussa lisäopastusta kaivataan erityisesti työn suunnitteluun ja päätöksentekoon (Riala 2011, Ylimäki ym. 2012). Hakkuukonetyössä työn suunnittelu- ja päätöksentekotaitojen on todettu vaikuttavan merkittävästi työsuorituksen määrään ja laatuun (Väätäinen ym. 2005, Kariniemi 2006, Ovaskainen 2009).

Metsäklusteri Oy:n koordinoiman EffFibre-ohjelmaan kuuluvassa ”Älykkäät kuljettajaa opastavat järjestelmät koneellisen puunkorjuun tueksi”-hankkeessa tutkitaan parhaillaan opastavien järjestelmien potentiaalia ja mahdollisuuksia koneellisessa puunkorjuussa. Hankkeessa kehitetään muun muassa kuljettajaa opastavien järjestelmien demoversioita ja testataan niitä käytännössä.

## Kirjallisuus

- Airos, E., Korhonen, R. & Pulkkinen, T. 2007. Satelliittipaikannusjärjestelmät. Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos. Julkaisuja 12. 57 s. Saatavissa:  
<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/658d1080428c8d79900bd2e60feb2862/PVTTJulkaisu12.pdf?MOD=AJPERES>
- Alanen, J. 2000. CAN – ajoneuvojen ja koneiden sisäinen paikallisyväly. VTT Automaatio. 16 s.
- Ala-Ilomäki, J., Heikkilä, J., Pykäläinen, J., Jutila, J. & Ylisirniö, K. 2008. Metsäkoneiden aistinjärjestelmä, puuston kartoittaminen ja puoliautomaattinen ohjaus – FORESTRIX. Metlan työraportteja / Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 102. 51 s. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp102.htm>.
- Asikainen, A, Hynynen, J, Teeri, T, Vuorinen, T, Määttänen, M, Ritala, R, Kälviäinen, H, Lensu, L, Hellén, E, Lipponen, J., Poranen, J. & Tukiainen, P. 2011. Intelligent and Resource-Efficient Production Technologies. Programme Report 2008–2010. Forestcluster Ltd. 148 s.
- Aulanko, S. & Tervo, K. 2010. Modeling and analysis of harbor crane work efficiency using work cycle recognition. 2010 IEEE/ASME International Conference on Advanced Mechatronics. July 6.9, 2010. s. 61–66
- Arvidsson, P.-Å., Eriksson, I., Erisson, P., Rönnqvist, M., Westerlund, A. & Igeklint, P. 1999. Smartare vägval i skotningen - bra för både ekonomi och miljö. SkogForsk. Uppsala. Sweden. Resultat 22.
- Bentley, R., Hughes, J.A., Randall, D., Rodden, T., Sawyer, P., Shapiro, D., & Somerville, I. 1992. Ethnographically-informed systems design for air traffic control. In: Proceedings of the CSCW '92, ACM Conference on Computer-Supported Cooperative Work. 7 s.
- Bjarland, B. & Visti, P. 1999. Automaattinen prosessiohjaus. Otatiето Oy. 160 s.
- Bräysy, O. & Porkka, P. 2007. Tehokkuutta logistiikkaan kaluston reittioptimoinnilla. Logistiikka 6 (2007). 38 s.
- Caird, J.K., Chisholm, S.L. & Lockhart, J. 2008. Do in-vehicle advanced signs enhance older and younger drivers' intersection performance? Driving simulation and eye movement results. International Journal of Human-computer Studies 66 (3): 132–144.
- Carlsson, D., Rönnqvist, M. & Westerlund, A. 1999. Extraction of logs in forestry using operations reach and geographical information systems. In: Proceedings of the 32nd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 5-8 January 1999, Maui, Hawaii. IEEE Computer Society.
- Carsten, O. & Fowkes, M. 2000. External Vehicle Speed Control. Executive Summary of Project Results. Referaatti Tapion ym. (2003) tutkimusraportissa, Älykkään nopeudensäätelyn nykytila ja kehitysnäkymät.
- Computerised Vehicle Routing and Scheduling (CVRS) for Efficient Logistics. 2007. FreightBestPractice – Guide. Department of Transport. s. 39. Saatavissa:  
[http://www.freightbestpractice.org.uk/categories/3589\\_211\\_cyfarpar-a-systemau--equipment--amp--systems-.aspx](http://www.freightbestpractice.org.uk/categories/3589_211_cyfarpar-a-systemau--equipment--amp--systems-.aspx)
- Connelly, S., Lindsay, P., Neal, A. & Humphreys, M. 2001. A formal model of cognitive processes for an air traffic control task. Technical Report 01-31, Software Verification Research Center, The University of Queensland. 15 s.
- Corke, P. Roberts, J. & Winstanley, G. 1998. Vision-based control for mining automation. Division of Manufacturing Science & Technology. Kenmore, Australia. Robotics & Automation Magazine, IEEE. Vol. 5 Issue. 4 .s. 44– 49
- Davidse, R., Hagenzieker, M., Wolffelaar, P., Brouwer, W. 2009. Effects of in-car support on mental workload and driving performance of older drivers. Human Factors. Vol 51. No 4. s. 463–476
- De Waard, D., Van der Hulst, M., Brookhuis, K. 1995. Elderly and young drivers' reaction to an in-car enforcement and tutoring system. Applied Ergonomics 30, s. 147–157
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt. 2002. Intelligent Pilot Assistance. 6 s. Saatavissa:  
[http://www.dlr.de/fl/Portaldata/14/Resources/dokumente/ESUG/Intelligent\\_Pilot\\_Assistant.pdf](http://www.dlr.de/fl/Portaldata/14/Resources/dokumente/ESUG/Intelligent_Pilot_Assistant.pdf) [viitattu 18.3.2011]
- Doebelin, E. O. 1990. Measurement systems.:application and design. 4. painos. 960 s.

- Dugarry, A. 2004. Advanced driver assistance systems information management and presentation. PhD Thesis. School of engineering. Cranfield University. Cranfield, UK. 96 s. + 3 liites.
- Fastrez, P. & Haué, J-P. 2008. Designing and evaluating driver support systems with the user in mind. *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol.66, Issue 3. s. 125–131
- Flisberg, P., Forsberg, M. & Rönnqvist, M. 2007. Optimization based planning tools for routing of forwarders at harvest areas. *Can. J. For. Res.* 37: 2153–2163.
- Furuta, K., Iwase, M. & Hatakeyama, S. 2005. Internal Model and Saturating Actuator in Human Operation from View of Human-Adaptive Mechatronics. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 52, no. 5:1236–1245.
- Fonselius, J., Pekkola, K., Selosmaa, S., Ström, M. & Välimaa, T. 1999. Automaatiolaitteet. *Koneautomaatio*. 199 s.
- Gellerstedt, S. 2002. Operation of the Single-Grip Harvester: Motor-Sensory and Cognitive Work. *International Journal of Forest Engineering* 13 (2): 35– 47.
- Gellerstedt, S., Lidén, E. & Bohlin, F. 2005. Health and Performance in Mechanised Forest Operations. A handbook produced by ErgoWood-project. Swedish University of Agricultural Sciences. 45 s.
- Guo, Y. & Jones, R. 2009. A study of approaches for model based development of an automotive driver information system. *Systems Conference, 2009 3rd Annual IEEE*. s. 267–272
- Hagström-Näsi, C., Gädda, L. & Tukiainen, P. 2010. Value through Intensive and Efficient Fibre supply (EffFibre). *Program Plan, Forestcluster*. 67 s.
- Hallonborg, U., & Norden, B. 2005. Flexiblare skotning med breda mellanstötter - öppnar för robotisering. *Resultat från Skogforsk Nr 4*. ISSN 1103-4173. Skogforsk. 4 s.
- Harashima, F. & Suzuki, S. 2006. Human adaptive mechatronics – interaction and intelligence. *Proceedings of the IEEE International Workshop on Advanced Motion Control*. s. 1–8.
- Hellström, T. 2002. Autonomous navigation for forest machines. *Technical Report UMINF 02.13*. Department of Computing Science, University of Umeå. 60 s.
- Hellström, T. & Ringdahl, O. 2004. Follow the past - a path tracking algorithm for autonomous forest vehicles?, *Technical Report UMINF 04.11*. 33 s. Saatavissa: [http://www.cs.umu.se/~thomash/reports/07\\_Hellstrom.pdf](http://www.cs.umu.se/~thomash/reports/07_Hellstrom.pdf)
- Hong, T., Balakirsky, S., Messina, E., Chang, T., & Shneider, M. 2002. A Hierarchical World Model for an Autonomous Scout Vehicle. *NIST - Intelligent Systems Division*. 12 s. Saatavissa: [http://www.isd.mel.nist.gov/documents/hong/SPIE\\_WM02.pdf](http://www.isd.mel.nist.gov/documents/hong/SPIE_WM02.pdf)
- Honkanen, H. 2008. Ajoneuvoväylät. Luentomateriaali. Kajaanin Ammattikorkeakoulu. Saatavissa: [http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ATO\\_Ajoneuvov%C3%A4yl%C3%A4t.pdf](http://gallia.kajak.fi/opmateriaalit/yleinen/honHar/ma/ATO_Ajoneuvov%C3%A4yl%C3%A4t.pdf) 5 s.
- Huang, Y-H., Roetting, M., McDevitt, J., Melton, D., Smith, G. 2005. Feedback by technology: Attitudes and opinions of truck drivers. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* Vol.8, Issues 4-5, s. 277–297
- Ibanez-Guzman, J., Jian, X., Malcolm, A., Gong, Z., Chen, C. W., & Tay, A. 2004. Unmanned Tracked Ground Vehicle for Natural Environments. 9 s.
- Itoh, M. 2010. Towards Overtrust-free Advanced driver assistance systems. Seminar presentation. University of Tsukuba. 15 s. Saatavissa: [http://www.univ-valenciennes.fr/IFACHMS2010/abstract/A-Toward\\_over-trust\\_free\\_advanced\\_driver\\_assistance\\_systems\\_-\\_makoto\\_itoh.pdf](http://www.univ-valenciennes.fr/IFACHMS2010/abstract/A-Toward_over-trust_free_advanced_driver_assistance_systems_-_makoto_itoh.pdf)
- Janssen, W., Wierda, M., Van der Horst, R. 1995. Automation and the future of driver behavior. *Safety Science* 19, s. 237–244
- Jansson, Erik, *Säätötekniikka 2000 – Säätö- ja mittatekniikka*. IS-PRINT. 160 s.
- Juntunen, M.-L. 1998. Professional harvester operators: basic knowledge and skills from training – operating skills from working life? *Teoksessa: Staudt, F.J. (toim.). Caring for the Forest: Research in a Changing World. Proceedings of the ergonomic papers and posters during the XXth IUFRO World Congress held from 6-12 August 1995 in Tampere Finland. Wageningen Agricultural University*. s. 160–169.
- Juntunen, M.-L. 1999. Metsä ihmisen työympäristönä. *Teoksessa: Kanninen, K. (toim.). Metsäteknologia muuttuvassa metsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 720: 215–220.

- Jutila, J. 2006. Laserskannerin käyttö paikannuksessa ja puiden mittauksessa osana metsäkoneen aistinjärjestelmää. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu, Espoo, Automaatio- ja systeemitekniikan osasto. 96 s.
- Kamal, M., Mukai, M., Murata, J., Kawabe, T. 2010. Ecological driver assistance system using model-based anticipation of vehicle-road-traffic information. *Intelligent Transport Systems, IET*. vol 4 , issue 4. s.244–251
- Kannas, K. 2006. Tree Measurement with Machine Vision in a Perception System for Forestry Machines. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu, Espoo, Automaatio- ja systeemitekniikan osasto. 130 s.
- Kantowitz, S., Kantowitz, B. & Hanowski, R. 1995. The Battelle Route Guidance Simulator: a low-cost tool for studying driver response to advanced navigation systems. *Vehicle Navigation and Information Systems Conference, 1995. Proceedings*. 104–109 s.
- Kaplan, E. & Hegarty, C. 2006. *Understanding GPS: principles and applications*. 703 s.
- Kariniemi, A. 2006. Kuljettajakeskeinen hakkuukonetyön malli – Työn suorituksen kognitiivinen tarkastelu. Väitöskirja. Helsingin Yliopiston Metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 38. 127 s.
- Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2001. Logistiikat ja ohjausjärjestelmät. *Koneautomaatio 2. WSOY Konetekniikka*. 410 s.
- Keinänen, T. & Kärkkäinen, P. 2009. *Konetekniikan perusteet. WSOY oppimateriaalit Oy*. 364 s.
- Kilpeläinen, P., Nevala, K., Tukeva, P., Rannanjärvi, L., Näyhä, T. & Parkkila, T. 2004. Älykäs tietyömaa – Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus. *VTT tiedotteita 2255*. 116 s.
- Kim, S., Kang, J., Oh, S., Ryu, Y., Kim, K., Park, S., Kim, J. 2008. An Intelligent and Integrated Driver Assistance System for Increased Safety and Convenience Based on All-around Sensing . *Journal of intelligent and robotic systems*. Vol. 51. No. 3. s. 261–287
- King, A. 1998. Inertial Navigation - Forty Years of Evolution. *Gec Review* 13:3: 140–149.
- Kippo, A.K. & Tikka, A. 2008. *Automaatiotekniikan perusteet. Edita Prima Oy*. 154 s.
- Korhonen, A., Liiri, H. & Oikarinen, V-M. 1998. Esimerkkejä käytännön tietojärjestelmistä. Teoksessa: *Operaatioanalyysin menetelmät ja puunhankinnan sovellukset*. Sikanen, L., Oinas, S. & Harstela, P. (toim.). Joensuun Yliopisto, Metsätieteellinen tiedekunta. *Tiedonantoja* 83. s. 257–263.
- Korn, B., Hecker, P. 2002. Enhanced and synthetic vision: increasing pilot's situation awareness under adverse weather conditions. *Proceedings of the 21st digital avionics systems conference*. vol. 2. s. 27–31.
- Kosonen, S. 2007. Tree Species Recognition with Machine Vision Using Color and Texture Analysis. Diplomityö. Teknillinen Korkeakoulu, Automaatio- ja systeemitekniikan osasto.
- Kuure, J. 2011. GPS- koneenohjausjärjestelmän ja proportionaalisen lisälaitteen toimintojen hallinta ja säätö kaivukoneessa. *Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö. Konetekniikka, Insinööri AMK, Kemi-Tornion Ammattikorkeakoulu*. 41 s.
- Laitila, J., Leinonen, A., Flyktman, M., Virkkunen, M. & Asikainen, A. 2010. Metsähakkeen hankinta- ja toimituslogistiikan haasteet ja kehittämistarpeet. Espoo 2010. *VTT Tiedotteita – Research Notes 2564*. 143 s.
- Lamminen, S & Väätäinen, K. 2011. Maaston korkeusmalli puunkorjuussa. *EffFibre - WP3 - Task3 – esitys*. 12 s.
- Le Blaye, P. 2002. A concept of Flight Execution Monitor (FEM) for helicopter pilot assistance. *Proceedings of RTO Human Factors and Medicine Panel (HFM) Symposium*. 10 s. Saatavissa: <ftp://ftp.rta.nato.int/PubFullText/RTO/MP/RTO-MP-088/MP-088-24.pdf>
- Melkas, T. 2010. Markkinoilla olevat kuormainvääntäjät ja niiden ominaisuudet. *Metsätehon tuloskalvosarja 4/2010*. 26 s.
- Meriläinen, O. 2010. Työkoneautomaatio maanrakennustyömaalla. *Opinnäytetyö. Savonia Ammattikorkeakoulu*. 53 s.
- Miettinen, S. 2006. *GPS käsikirja. Porvoo: WS Bookwell Oy*
- Miller, S. 2006. Flight management computer system vertical navigation aka VNAV. *Boeing. Commercial Airplanes*. 15 s.
- Murphy, R.R. 2000. *Introduction to AI robotics. MIT Press*. 466 s.
- Mäenpää, S. 2004. Satelliittipaikannus kehittyy. *Maankäyttö* 1/2004. s. 25–27.

- Nakari, P., Bräysy, O. & Dullaert, W. 2007. Communal transportation: challenges for large-scale routing heuristics. Reports of the Department of Mathematical Information Technology Series B. Scientific Computing. No. B6/2007. 33 s.
- Nirschl, G. 2007. Human-centered development of advanced driver assistance systems. Proceedings of the 2007 conference on Human interface: Part II:1088–1097.
- Nishi, T. & Takagi, T. 2001. A proposal of collision avoidance algorithm for driving support system. Industrial Electronics Society. IECON '01. The 27th annual conference of the IEEE . vol. 1.: 80-83
- Nogushi, N., Zhang, Q., Han, S., & Reid, J. 2001. Autonomous agricultural tractor with intelligent navigation system. 4th IFAC symposium on intelligent autonomous vehicle. s. 200–206
- Oikari, M. 2008. Aines- ja energiapuun korjuun tehostamiskeinot ja niiden priorisointi nuorissa metsissä. Metsä- ja puuteknologian pro gradu. Joensuun Yliopisto. 111 s.
- Onken, R. 1993. Funktionsverteilung Pilot-Machine: Umsetzung von Grundforderungen im Cockpitassistenzsystem CASSY. DGLR-Tagung des Fachausschusses Anthropotechnik.
- Onken, R. & Walsdorf, A. 2000. Assistant systems for vehicle guidance: cognitive man-machine cooperation. 4th International conference on IT for balanced automation systems – BASYS 2000. Berlin, Germany. s. 27–29.
- Ovaskainen, H. 2009. Timber harvester operators' working technique in first thinning and the importance of cognitive abilities on work productivity. Dissertationes Forestales 79. 62 s.
- Palmroth, L., Tervo, K., Putkonen, A. 2009. Intelligent coaching of mobile working machine operators. Intelligent Engineering Systems. International Conference on INES 2009. s.149-154.
- Palmroth, L. 2011. Performance Monitoring and Operator Assistance Systems in Mobile Machines. Tampereen Teknillinen Yliopisto. Väitöskirja. Julkaisu 955. 115 s.
- Peltola, A. 2003. IT –time for Mechanised Forest Work Study. 2nd Forest Engineering Conference 12-15 May 2003, Växjö, Sweden. Skogforsk Arbetsrapport 536:107–112.
- Peltomaa, A. & Shackelton, S. 2011. Experiences on on-board monitoring solutions in forest machine maintenance and operator training. 13 s. Saatavissa: <http://academic.sun.ac.za/forestry/FEC%202011/FEC%20Presentation/A5.pdf>
- Peng, H. 2002. Evaluation of driver assistance systems - A human centered approach. Department of Mechanical Engineering. University of Michigan. 8 s.
- Piao, J. & McDonald, M. 2008. Advanced driver assistance systems from autonomous to cooperative approach. Transport reviews. Vol. 28. No. 5. s. 659–684.
- Pilarski, T., Happold, M., Pangels, H., Ollis, M., Fitzpatrick, K. and Stentz, T. 1999. The demeter system for automated harvesting. Autonomous Robots 13. s. 9–20.
- Poutanen, M. 1998. GPS-paikanmääritys. Ursan julkaisuja 64. 273 s.
- Purfürst, F.T. 2010. Learning Curves of Harvester Operators. Croatian Journal of Forest Engineering. 31(2010)2: 89–97.
- Pylvänen, M. 2007. Älykkäät koneet. Jyväskylän yliopisto. Tietotekniikan erikoistyö. 14 s. Saatavissa: [http://users.jyu.fi/~mpylvai/alykkaatkoneet/alykoneraportti\\_071106.pdf](http://users.jyu.fi/~mpylvai/alykkaatkoneet/alykoneraportti_071106.pdf)
- Ranta, P. 2004. Oppimisympäristöt, hakkuukoneet ja hiljainen tieto. Kupiainen, T. (toim). Teoksessa: Käsillä tehty. Pohjois-Karjalan koulutuskuntayhtymä. s. 117–129.
- Ranta, P., Laamanen, V., Pohjolainen, S. & Väättäin, K. 2004. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon näkyväksi tekeminen. Tampereen teknillinen yliopisto. Digitaalisen median instituutti. Hypermedialaboratorio. 91 s.
- Riala, M. 2011. Future of forest energy in 2030. Esitys Puu ja Bioenergia 2011 -messuilla, 7.- 9.9.2011. Jyväskylä, Suomi.
- Ringdahl, O. 2003. Path tracking and obstacle avoidance for autonomous forest machines. Master Thesis. Umeå University, Department of Computing Science. 66 s. Saatavissa: <http://www8.cs.umu.se/~ringdahl/exjobb/thesis.pdf>
- Roetting, M., Huang, Y-H., McDevitt, J.R., & Melton, D. 2002. When technology tells you how to drive – truck drivers' attitudes towards feedback by technology. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 6, Issue 4. s. 275–287

- Rong, J. Spaeth, T. Valasek, J. 2005. Small Aircraft Pilot Assistant: Onboard Decision Support System for SATS Aircraft. 5th Aviation, technology, integration, and operations conference. p. 26 - 28  
Saatavissa: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.107.6973&rep=rep1&type=pdf>
- Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset. Helsinki. Työtehoseuran julkaisu 381. 67 s.
- Sandvik Mining and Construction. 2011. Saatavilla:  
<http://www.miningandconstruction.sandvik.com/sandvik/0120/Internet/Global/S003715.nsf/LUSL/SLFrameForm14D46ACF97A3ECCAEC12577D20067E35F?OpenDocument> [viitattu 11.2.2011]
- Sathyanarayana, A., Boyraz, P., Purohit, Z., Lubag, R. & H.L.Hansen, J. 2010. Driver adaptive and Context Aware Active Safety Systems using CAN-bus signals. 2010 IEEE Intelligent Vehicles Symposium. University of California, San Diego, CA, USA, June 21-24.2010. s. 1236–1241.
- Schulte A. 2001. Mission Management and Crew Assistance for Military Aircraft – Cognitive Concepts and Prototype Evaluation . RTO Lecture Series 227. 20 p. Saatavilla:  
<http://ftp.rta.nato.int/public//PubFullText/RTO/EN/RTO-EN-019///EN-019-04.pdf> [viitattu 22.3.2011]
- Sirén, M., Ala-Ilomäki, J., Mäkinen, H., Lamminen, S. & Mikkola, T. 2011. Rut formation in thinning of Norway spruce under unfrozen soil conditions. Julkaisematon käsikirjoitus.
- Stanton, N. 1996. Human factors in Nuclear safety. Taylor & Francis. 352 s.
- Suzuki, S., Tomomatsu, N., Harashima, F. & Furuta, K. 2004. Skill evaluation based on state-transition model for human adaptive mechatronics (HAM). In: Proceedings of the 30th IEEE Annual Conference on Industrial Electronics Society, volume 1:641–646.
- Svahn, J. 2005. Vision based autonomous road following for a wheeled outdoor robot. MSc-thesis. Royal Institute of Technology. Stockholm. 63 s. Saatavissa:  
[http://www.nada.kth.se/utbildning/grukth/exjobb/rapportlistor/2005/rapporter05/svahn\\_johan\\_05058.pdf](http://www.nada.kth.se/utbildning/grukth/exjobb/rapportlistor/2005/rapporter05/svahn_johan_05058.pdf)
- Tahvanainen, S. 2011. Työkoneohjausjärjestelmän hyödyntäminen kiviainestuotantoalueilla. Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta. 37 s. + 1 liite.
- Takayama, L. & Nass, C. 2008. Driver safety and information from afar: an experimental driving simulator study of wireless vs. in-car information services. International Journal of Human-Computer Studies 66 (3): 173–184.
- Tanaka, J., Ishida, S., Kawagoe, H., Kondo, S., 2000. Workload of using a driver assistance system. Intelligent Transportation Systems. Proceedings. IEEE. s. 382-386
- Tapio, J., Peltola, H. & Wuolijoki, A. 2003. Älykkään nopeudensäätelyn nykytila ja kehitysnäkymät. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Liikenne, logistiikka ja yhdyskunnat, Tutkimusraportti 3906/2003. 58 s.
- Tervo, K., Palmroth, L. & Putkonen, A. 2009. A Hierarchical Fuzzy Inference Method for Skill Evaluation of Machine Operators. 2009 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. Singapore, July 14-17, 2009. s. 113–141
- Tervo, K. 2010. Human adaptive mechatronics methods for mobile working machines. Doctoral dissertation. Aalto University. School of science and technology. 230 s.
- Tervo, K. Palmroth, L. Koivo, H. 2010. Skill evaluation of human operators in partly automated mobile working machines. Automation Science and Engineering. vol.7. no.1. s.133–142.
- Tideman, M., van der Voort, M., van Arem, B., Tillema, F. 2007. A Review of Lateral Driver Support Systems. Intelligent Transportation Systems Conference. ITSC 2007. IEEE. s. 992-999.
- Tokola, T. Kalliovirta, J. 2003. Paikkatietoanalyysi. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisu 34. 185 s.
- Toth, P & Vigo, D. 2002. The vehicle routing problem. SIAM Monographs and Discrete Mathematics and Applications. Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, PA. 363 s.
- Tötterström, S. 2010. Katsaus VRS-teknologian nykytilaan ja tulevaisuuteen. Maankäyttö 3/2010. s. 9–13.
- Use of Vehicle Routing and Scheduling Software in CDE Waste Collection. 2010. Final report. Entec UK ldt. 21 s. Saatavissa:  
[http://www.wrap.org.uk/downloads/CVRS\\_Trial\\_Draft\\_Report\\_for\\_approval\\_06\\_07\\_2010\\_HG.880b37f0.9900.pdf](http://www.wrap.org.uk/downloads/CVRS_Trial_Draft_Report_for_approval_06_07_2010_HG.880b37f0.9900.pdf)

- van der Heijden, R. & van Wees, K., 2001. Introducing advanced driver assistance systems: some legal issues. *European journal of transport and infrastructure research EJTIR*, 1 no. 3 (2001). s. 309–326. Saatavissa: [http://www.ejtir.tudelft.nl/issues/2001\\_03/pdf/2001\\_03\\_06.pdf](http://www.ejtir.tudelft.nl/issues/2001_03/pdf/2001_03_06.pdf)
- Väätäinen, K., Ovaskainen, H., Ranta, P. & Ala-Fossi, A. 2005. Hakkuukoneenkuljettajan hiljaisen tiedon merkitys hakkuutulokseen työpistetasolla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 937*. 100 s.
- Ward, C.C., and Iagnemma, K. 2007. Model-Based Wheel Slip Detection for Outdoor Mobile Robots. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation Roma, Italy, 10-14 April 2007. s. 2724–2729.
- Walsdorf, A. & Onken, R. 1998. Intelligent crew assistant for military transport aircraft. RTO SCI Conference proceedings. Sensor Data Fusion and Integration of the Human Element. Ottawa. Canada. s. 1–7.
- Westlund, K & Jönsson, P. 2011. GPS coordinates in three dimensions - giving the most economical forwarding route. [http://academic.sun.ac.za/forestry/FEC%202011/Proceedings\\_FINAL.pdf](http://academic.sun.ac.za/forestry/FEC%202011/Proceedings_FINAL.pdf). s. 27.
- Wiener, E.L. 1988. Cockpit automation. In: E. Wiener and D. Nagel, Editors, *Human Factors in Automation*, Academic Press, San Diego, CA, s. 433–461.
- Woodman, O.J. 2007. An introduction to inertial navigation. University of Cambridge. Technical Report 696. 37 s. Saatavissa: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>
- Wouters, P. and Bos, J. 2000. Traffic accident reduction by monitoring driver behavior with in-car data recorders, *Accident Analysis and Prevention* 32 (2000), s. 643–650.
- Ylimäki, R., Väätäinen, K., Lamminen, S., Sirén, M., Ala-Ilomäki, J., Ovaskainen, H. & Asikainen, A. 2012. Kuljettajaa opastavien järjestelmien tarve ja hyötypotentiaali koneellisessa puunkorjuussa. *Metsäntutkimuslaitokset työraportteja. Käsikirjoitus*.
- Yu, H. 2008. Overview of Human Adaptive Mechatronics. 9th WSEAS Int. Conf. on Mathematics and Computers in Business and Economics (MCBE '08), Bucharest, Romania, June 24-26, 2008. s. 152–157. Saatavissa: <http://www.wseas.us/e-library/conferences/2008/bucharest/mcbe/24mcbe.pdf>
- Zheng N-N., Tang, S., Cheng, H., Li, Q., Lai, G., Wang, F.-W. 2004. Toward intelligent driver-assistance and safety warning system. *Intelligent Systems, IEEE* . vol.19. no.2. s. 8–11.

#### Internetlähteet:

- Audi 2011. [http://www.audi.com/com/brand/en/tools/advice/glossary/audi\\_side\\_assist.html](http://www.audi.com/com/brand/en/tools/advice/glossary/audi_side_assist.html). [viitattu 12.8.2011].
- DGPS-palvelut 2011. <http://www.geotrim.fi/Tuoteryhma.asp?ID=310>. [viitattu 21.11.2011].
- ESA 2011. ESA Soyuz Galileo iov. European Sapce Agency. [http://www.esa.int/SPECIALS/Galileo\\_IOV/SEM7DEITPQG\\_0.html](http://www.esa.int/SPECIALS/Galileo_IOV/SEM7DEITPQG_0.html). [viitattu 3.12.2011]
- European Commission 2011. Satellite navigation Galileo: Satellite launches. [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/satellite-launches/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/satellite-launches/index_en.htm). [viitattu 3.12.2011]
- Exertus 2011. Korjuu-lastu. <http://www.exertus.fi/?g=158&pid=159&lang=fin>. [viitattu 9.11.2011]
- Fiat 2011. Fiat–Eco Drive. <http://www.fiat.co.uk/ecodrive/?id=22761#ecodrive/landing> [viitattu 15.12.2011].
- GPS-navigointi nyt 2011. <http://www.itnyt.fi/node/67-gps-navigointi-nyt> [viitattu 6.1.2012]
- Honda 2011. Eco Assist (Ecological drive assist system). [https://www.ahm-ownerlink.com/CRZ/features.asp?modelid=ZF1D6CGW&feat=Eco\\_Assist](https://www.ahm-ownerlink.com/CRZ/features.asp?modelid=ZF1D6CGW&feat=Eco_Assist). [viitattu 15.12.2011]
- IIT – Institute of Information Technology. 2012. Waste Hauling. <http://www.e-iit.com/WasteHauling.html> [viitattu 7.1.2012]
- Ilmatieteenlaitos 2011. Avaruussään vaikutus satelliittipaikannukseen. <http://ilmatieteenlaitos.fi/satelliittipaikannus>. [viitattu 9.11.2011]

- INDAGON 2011. Focus-palvelu uudistuu @Focuspalveluksi.  
<http://www.indagon.com/fi/component/content/article/33-fokus-palvelu-uudistuu>. [viitattu 21.11.2011]
- John Deere 2011. Automaatiojärjestelmät E-sarjan metsäkoneisiin. Saatavissa:  
[http://www.deere.fi/fi\\_FI/docs/product/equipment/measuring\\_and\\_control\\_systems/brochure/brochure\\_h09.html?page=4](http://www.deere.fi/fi_FI/docs/product/equipment/measuring_and_control_systems/brochure/brochure_h09.html?page=4). [viitattu 9.11.2011]
- Komatsu 2011. Komatsu Maxi – Ohjaus- ja informaatiojärjestelmä.  
[http://shop.mediahandler.se/pdf/partek/kMaxi\\_b\\_fi.pdf](http://shop.mediahandler.se/pdf/partek/kMaxi_b_fi.pdf) [viitattu 9.11.2011]
- LogVRP 2012. Online Vehicle Route Planner. <http://logvrp.com/logvrpsite/Default.aspx> [viitattu 7.1.2012]
- Maanmittauslaitos 2011. Satelliittimittaus eli GPS-mittaus.  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/kartoitus/gps-mittaus>. [viitattu 10.11.2011]
- Mercedes-Benz 2011. Mercedes-Benz. Turvallisuus on kaiken perusta. [http://www.mercedes-benz.fi/content/finland/mpc/mpc\\_finland\\_website/fi/home\\_mpc/passengercars/home/new\\_cars/model\\_s/m-class/w166/facts\\_/safety.html](http://www.mercedes-benz.fi/content/finland/mpc/mpc_finland_website/fi/home_mpc/passengercars/home/new_cars/model_s/m-class/w166/facts_/safety.html) [viitattu 15.12.2011]
- Optrak 2012. Optrak Vehicle Routing Software. <http://optrak.com/applications/vehiclerouting> [viitattu 15.11.2011].
- ParagonRouting 2012. Paragon – Leaders in Transport optimization and execution.  
<http://www.paragonrouting.com/uk/case-studies/parcellforce-worldwide-increases-driver-productivity-by-20> [viitattu 7.1.2012]
- Patria Pilot Training. 2011. Saatavissa: <http://www.pilottrainingmalmi.fi/opiskelu.html> [viitattu 17.2.2011]
- Ponsse 2011. Opti tietojärjestelmät.  
[http://www.ponsse.com/images/brochures\\_pdf/Brochures\\_fin/OPTI\\_fi.pdf](http://www.ponsse.com/images/brochures_pdf/Brochures_fin/OPTI_fi.pdf) [viitattu 9.11.2011]
- Rantanen, K. 2009. Tulevaisuuden viljelijä kommentaa robottijoukkojaan. Tiede 8/2009. Saatavissa:  
[http://www.tiede.fi/artikkeli/1083/tulevaisuuden\\_viljelijä\\_komentaa\\_robottijoukkojaan](http://www.tiede.fi/artikkeli/1083/tulevaisuuden_viljelijä_komentaa_robottijoukkojaan) [viitattu 8.2.2011]
- Route Planning 2012. Route planning. Transvision Route Planner.  
<http://www.transvision.eu/uk/products/route-planning.aspx>. [viitattu 6.1.2012].
- Sandvik automates mining operations with AutoMine System. 2011.  
<http://www.automation.com/resources-tools/application-stories/machine-monitoring-control/sandvik-automates-mining-operations-with-automine-system> [viitattu 7.2.2011]
- Scania 2011. Taloudellisen ajamisen tuki. <http://www.scania.fi/trucks/safety-driver-support/driver-support-systems/scania-driver-support/> [viitattu 7.2.2011]
- Valtra. 2011. AutoGuide Automaattiohjaus.  
[http://www.valtra.fi/products/documents/Valtra\\_Autoguide\\_FI.pdf](http://www.valtra.fi/products/documents/Valtra_Autoguide_FI.pdf) [viitattu 8.2.2011]
- Volvo. 2011. Volvo S60, City Safety. <http://www.volvocars.com/fi/all-cars/volvo-s60/details/pages/features.aspx> [viitattu 9.2.2011]