

Taru Andrejeff

# **KULJETTAJAA AVUSTAVAT TOIMINNOT TYÖKONEISSA**

Kandidaatintyö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Tarkastaja: Janne Uusi-Heikkilä  
Tammikuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Taru Andrejeff: Kuljettajaa avustavat toiminnot työkoneissa  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Teknisten tieteiden kandidaatin tutkinto-ohjelma, Automaatiotekniikka  
Tammikuu 2021

---

Kuljettajaa avustavilla toiminnoilla tarkoitetaan järjestelmiä tai laitteita, jotka helpottavat kuljettajan työkoneen hallintaa. Järjestelmän vaikutusta työkoneen hallintaan voidaan tarkastella automaatiotasojen avulla. Työkoneiden automaatiotasojen tarkasteluun on mahdollista soveltaa tieliikenteen ajoneuvoille määritettyä automaatiotasojen luokitusta. Puhuttaessa kuljettajaa avustavista toiminnoista tarkastellaan automaatiotasojen luokittelun mukaan yleensä tasojen 1 ja 2 järjestelmiä. Tasoissa 1 ja 2 ympäristöä seuraa sekä työkoneetta ohjaa kuljettaja järjestelmän avustavamana.

Kuljettajaa avustavat toiminnot pohjautuvat usein paikantimien sekä antureiden käyttämiseen työkoneen eri ominaisuuksien mittaamisessa suoritettavien työtehtävien aikana. Avustavat toiminnot aktivoituvat, kun työkoneen ominaisuuksien mittaustuloksissa havaitaan poikkeuksia tai kuljettaja on valinnut avustavan toiminnon käytettäväksi. Työkoneisiin lisätyillä kuljettajaa avustavilla toiminnoilla halutaan ensisijaisesti parantaa kuljettajan turvallisuutta sekä työn tuottavuutta. Erityisesti kokemattomien kuljettajien työkoneen hallinnan on havaittu parantuvan avustavien toimintojen avulla.

Eri toimialoilla hyödynnettäviin monenlaisiin työkoneisiin on toteutettu erilaisia kuljettajan työskentelyä helpottavia toimintoja. Tässä työssä tarkastellaan näiden toimintojen käyttötapauksia työkoneissa toimialoilla, kuten maa-, metsätaloudessa, maanrakennuksessa ja kaivostoiminnassa. Jokaisella toimialalla ovat omat painopisteensä kuljettajaa avustavien toimintojen kehittämisellä työkoneisiin.

Teknologinen kehitys esimerkiksi sensoriteknologiassa mahdollistaa avustavien toimintojen kehityksen eteenpäin. Myös erilaiset tavoitteet, kuten tuottavuuden parantaminen, edesauttavat kehitystä. Toimialoilla, joilla kuljettajaa avustavien toimintojen hyödyntäminen on vielä vähäistä, tulevat lisääntymään ominaisuudet, joita on entuudestaan käytössä muilla toimialoilla.

Avainsanat: Työkone, automaatio, automaatiotaso, turvallisuus, tuottavuus, kärkeohjaus, kuljettaja

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ALKUSANAT

Haluan kiittää kandidaatintyöni ohjaajaa Janne Uusi-Heikkilää kaikista hyvistä neuvoista, ohjauksesta sekä lukuisista zoom-tapaamista työn aikana. Lisäksi kiitokset ystäväilleni sekä perheelleni kaikesta tuesta vaikeinakin aikoina.

Tampereella, 29.01.2021

Taru Andrejeff

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
2. AUTOMAATIOTASOT .....	2
2.1 Automaatiotasot tieliikenteen ajoneuvoissa .....	2
2.2 Työkoneiden automaatiotasojen luokittelu.....	5
3. KULJETTAJAA AVUSTAVAT TOIMINNOT YLEISESTI.....	8
3.1 Avustavan toiminnon edellytykset .....	8
3.2 Avustavien toimintojen hyödyt sekä haitat.....	10
3.3 Kuljettajan vaikutus järjestelmään .....	11
4. KULJETTAJAA AVUSTAVIA TOIMINTOJA TOIMIALOITTAIN .....	12
4.1 Maatalous .....	13
4.2 Metsätalous .....	16
4.3 Maanrakennus .....	17
4.4 Kaivostoiminta.....	18
5. KEHITYSKOHTEET TULEVAISUUDESSA.....	20
6. YHTEENVETO.....	22
LÄHTEET .....	23

# LYHENTEET JA MERKINNÄT

ADAS	Advanced Driver Assistance System, kehittynyt kuljettajaa avustava järjestelmä
AG	Agriculture, maatalous
CAN	CANbus, Control Area Network, CAN-väylä
CON	Construction, rakentaminen ja kaivostoiminta
DAS	Driver Assistance System, kuljettajaa avustava järjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite System, maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
IBC	Intelligent Boom Control, puomin älykäs kärkeohjaus
IMU	Inertial Measurement Unit
LTC	Lawn and Turf Care, nurmikon hoito
MH	Material Handling, materiaalinkäsittely
SAE	Society of Automotive Engineers, ammattilaisorganisaatio ja standardisointi järjestö
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy
WGS	Windrow Guidance System, kuljettajaa avustava järjestelmä sadonkorjuuajoneuvoihin

# 1. JOHDANTO

Työkoneen hallitseminen on vaativa tehtävä, johon kuljettajalta vaaditaan vahvaa ammattitaitoa sekä kokemusta työtehtävien suorittamiseen. Toistuvien työtehtävien aikana kuljettajan täytyy pysyä tarkkaavaisena ja keskittyneenä työhön. Kuljettajan työn parantamiseksi, kuljettajaan kohdistuvan rasituksen vähentämiseksi ja turvallisuuden lisäämiseksi työkoneisiin on lisätty erilaisia kuljettajan työskentelyä avustavia toimintoja.

Kuljettajaa avustavien toimintojen lisäämisellä halutaan parantaa kuljettajan tuottavaa ja tehokasta työskentelyä sekä pienentää kustannuksia. Avustavat toiminnot voivat ennalta ehkäistä tapaturmien syntymistä sekä työkoneen osien rikkoutumista ja täten vähentää turhia työn seisona-aikoja. Yksinkertaisten toimintojen automatisointi antaa kuljettajalle mahdollisuuden kiinnittää huomiota kriittisempiin sekä monimutkaisempiin toimintoihin [6].

Mitä enemmän avustavat toiminnot hallitsevat työkoneen ohjausta, sitä korkeamman tason automaatiojärjestelmästä voidaan puhua. Erilaisten avustavien toimintojen sekä ajoneuvon automaation teknologiantasoa voidaan tarkastella SAE:n (Society of Automotive Engineers) luoman standardin perusteella. Standardi auttaa ymmärtämään kuljettajan ja avustavien toimintojen vaikutusta ajoneuvon hallintaan eri automaatiotasolla. Vaikka standardi on pääsääntöisesti suunniteltu tieliikenteen ajoneuvoille, sitä hyödynnetään myös työkoneiden automaation tarkastelussa, sillä työkoneille ei ole luotu omaa standardia avustavien toimintojen ja automaation tarkastelulle.

Eri toimialoilla ovat omat kehityskohteensa avustavien toimintojen sekä automaation lisäämiselle työkoneissa. Tässä työssä tarkastellaan kuljettajaa avustavia toimintoja eri toimialoilla sekä perehdytään avustavien toimintojen toiminnallisuuden edellytyksiin. Lisäksi pohditaan mahdollisia kehityskohteita työkoneisiin parantamaan yhä enemmän kuljettajan työskentelyä.

## 2. AUTOMAATIOTASOT

Automaatiotasojen eroja ovat monet organisaatiot pyrkineet luokittelemaan työkoneiden ja tieliikenteen ajoneuvojen osalta. Standardin SAE J3016 tieliikenteen ajoneuvojen järjestelmien automaatiotasojen luokitteluun on määrittänyt SAE International. Automaatiotasojen luokitusta käytetään pohjana ajoneuvojen automaatiotasojen määrittämiseen toiminnallisuuksien perusteella. [18] Työkoneiden osalta SAE:n automaatiotasojen luokitusta voidaan soveltaa myös niiden automaatiotasojen luokittelussa [6].

### 2.1 Automaatiotasot tieliikenteen ajoneuvoissa

SAE:n määritelmän mukaan ajoneuvojen automaatiotasojen luokittelu alkaa tasosta 0, jolloin ajoneuvo ei sisällä lainkaan automaatiota. Viimeisenä tasona on taso 5, jolloin ajoneuvo puolestaan toimii täysin autonomisesti. Taulukossa 1 on esitetty automaatiotasojen luokittelu SAE:n määritelmän mukaan sekä tasoa kuvaava nimi, kuvaus toiminnallisuudesta sekä dynaamisen ajotehtävän osa-alueet havainnollistamaan automaatiotasojen eroja. Taulukossa 1 järjestelmällä voidaan tarkoittaa kuljettajaa avustavaa järjestelmää, yhdistelmää kuljettajaa avustavista järjestelmistä tai automaattista ohjausjärjestelmää [18].

Tasoissa 0–2 ajoympäristöä seuraa kuljettaja ja järjestelmän vaikutus ajoneuvoon hallintaan on vähäistä. Tasossa 0 järjestelmä ei sisällä automaatiota, vaan kuljettajan tehtävänä on suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, kuten ohjaus, kiihdyttäminen ja jarruttaminen. Kuljettajan ajamisen tukena voivat olla ajoneuvon järjestelmän antamat varoitukset. [10][18] Seuraavaksi taulukossa 1 on määritetty automaatiotasot 1, joka on nimetty kuljettajaa avustavaksi tasoksi. Kuljettajaa avustavassa tasossa järjestelmä sisältää kuljettajan ajamista tukevia toimintoja, kuten ajoneuvon ohjaamista, kiihdyttämistä ja jarruttamista, hyödyntäen tietoa ajoympäristöstä. Taso 2 eroaa tasosta 1 sillä, että kaikki tukijärjestelmät ovat järjestelmän hallittavissa. Taso on nimetty osittaiseksi automaatiotasoksi, koska ympäristön seurannasta vastaa vielä edelleen kuljettaja eikä järjestelmä. [10][18] Taulukosta 1 voidaan huomata, että kuljettajan toimintaa avustavat järjestelmät sijaitsevat tieliikenteen ajoneuvoja tarkasteltaessa automaatiotasojen alkupuolella.

Puolestaan tasoissa 3–5 ajoympäristöä seuraa järjestelmä eikä kuljettaja, jolloin kuljettajan tarve ajoneuvon hallinnassa pienenee. Tasossa 3 kuljettajaa tarvitaan ajoneuvon hallinnassa, mikäli automatisoitu järjestelmä ei kykene suorittamaan ajoneuvon dynaamisen ajotehtävän osa-alueita tai pyytää kuljettajaa ottamaan ajoneuvon hallintaansa. Neljäs taso eroaa kolmannelta tasosta siten, että järjestelmä suorittaa kaikki ajoneuvon dynaamisen ajotehtävän osa-alueet. Poikkeustilanteessa järjestelmä tekee päätöksen esimerkiksi ajoneuvon pysäyttämistä ja sammuttamisesta, jollei kuljettaja reagoi tilanteeseen. Neljännen tason ajoneuvon automaatiojärjestelmä määritellään korkeatasoisesti automatisoiduksi. Alimmaisena taulukossa on esitetty viides taso, joka on korkein automaatiotasosta. Ajoneuvon järjestelmä pystyy toimimaan kaikissa tilanteissa ja olosuhteissa ilman kuljettajan avustusta. Tällaista itsenäisesti toimivaa ajoneuvoa kutsutaan autonomiseksi. [10][18]



Taulukko 1. Automaatiotasot tieliikenteen ajoneuvoille [10]

Taso	Nimi	Määritelmä	Ohjaus, kiihdyttäminen, jarrutus	Ympäristön monitorointi	Dynaamisen ajamisen varasuorittaja	Automaation kattavuus
Ihminen monitoroi ajoympäristöä			Ihminen	Ihminen	Ihminen	
0	Ei automaatiota	Ihminen suorittaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, vaikka ajamista tuetaan varoituksilla tai ajamiseen puuttuvilla järjestelmillä.				–
1	Kuljettajan tuki	Ajotilannekohtaisia kuljettajan tukijärjestelmiä, jotka liittyvät joko ohjaamiseen tai kiihdyttämiseen/jarruttamiseen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Ihminen ja järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
2	Osittainen automaatio	Yksi tai useampi ajotilannekohtainen kuljettajan tukijärjestelmä, joka kattaa sekä ohjaamisen että kiihdyttämisen/jarruttamisen hyödyntämällä tietoa ajoympäristön tilasta. Ihminen vastaa kaikista muista dynaamiseen ajotehtävän osa-alueista.	Järjestelmä	Ihminen	Ihminen	Joitakin ajotilanteita
Järjestelmä monitoroi ajoympäristöä			Järjestelmä	Järjestelmä	Ihminen	
3	Ehdollinen automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet, kuten pituus- ja poikittaissuuntaisen kontrolloinnin. Ihmisen täytyy kuitenkin ottaa auto hallintaansa, kun järjestelmä näin pyytää.				Joitakin ajotilanteita
4	Korkea automaatio	Ajotilannekohtainen automaattiajojärjestelmä kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet myös silloin, kun ihminen ei ota autoa hallintaansa, vaikka järjestelmä näin pyytää. Ellei kuljettaja ota ajoneuvoa haltuunsa, järjestelmä ohjaa auton hallitusti tien sivuun ja pysäyttää sen.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Suurin osa ajotilanteista
5	Täysi automaatio	Kaiken kattava automaattiajojärjestelmä, joka kattaa kaikki dynaamisen ajotehtävän osa-alueet kaikissa tie- ja ympäristöolosuhteissa.	Järjestelmä	Järjestelmä	Järjestelmä	Kaikki ajotilanteet

## 2.2 Työkoneiden automaatiotasojen luokittelu

Työkoneiden automaatiotasoihin ei ole vielä laadittu virallista standardia, mutta vastaavuuksia luokitteluun on haettu SAE:n määrittämistä automaatiotasosta. SAE:n määrittämässä standardissa kuitenkin keskitytään enemmän ajamista koskevien järjestelmien automaatiotasoihin. Puolestaan työkoneissa kuljettajan täytyy koneen ajamisen lisäksi keskittyä myös ohjaamaan työliikkeitä, joita voidaan myös helpottaa erilaisilla avustavilla järjestelmillä. Käytännöllisempi menetelmä luokitella ja määrittää työkoneiden automaatiojärjestelmien automaatiotaso on kuvailla laitetta tai järjestelmää muun muassa ohjaustoimintojen, navigoinnin ja koneenohjauksen toimintojen perusteella. Jokaisella toiminnalla on erilaiset vaatimukset kuljettajan tarpeeseen ohjauksessa ja valvonnassa. [6]

Lisäksi työkoneiden automaatiojärjestelmät voivat olla eri toimialoilla käytettävissä työkoneissa erilaisia. VTT:n (Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy) tiedotteessa on kerrottu eräs tapa jaotella maanrakennuskoneiden automaatiojärjestelmät automaatiotasoihin kuvaamalla työkoneen ohjauksen ominaisuuksia [12]. Tämä jaottelukeino on esitetty taulukossa 2, josta huomataan sen olevan hyvin saman kaltainen kuin aiemmin mainittu SAE:n standardi tieliikenneajoneuvojen automaatiojärjestelmille.

**Taulukko 2:** *Automaatiotasojajottelu maanrakennuskoneiden automaatiojärjestelmille [12]*

Taso	Automaatioaste	Ominaisuudet
1	Kuljettajaa opastava	Ohjaus tapahtuu manuaalisesti järjestelmän opastamana
2	Koordinoitu ohjaus	Koneen liikkeiden ohjaus manuaalisesti karteesisessa koordinaatistossa mahdollista
3	Osittain automatisoitu	Koneen yksittäisiä työliikkeitä säädetään automaattisesti kuljettajan antaman asetusarvon mukaisesti
4	Täysin automatisoitu	Koneen työliikkeitä säädetään automaattisesti kuljettajan valvonnassa
5	Autonominen järjestelmä	Automaattinen työsuoritus ilman kuljettajaa

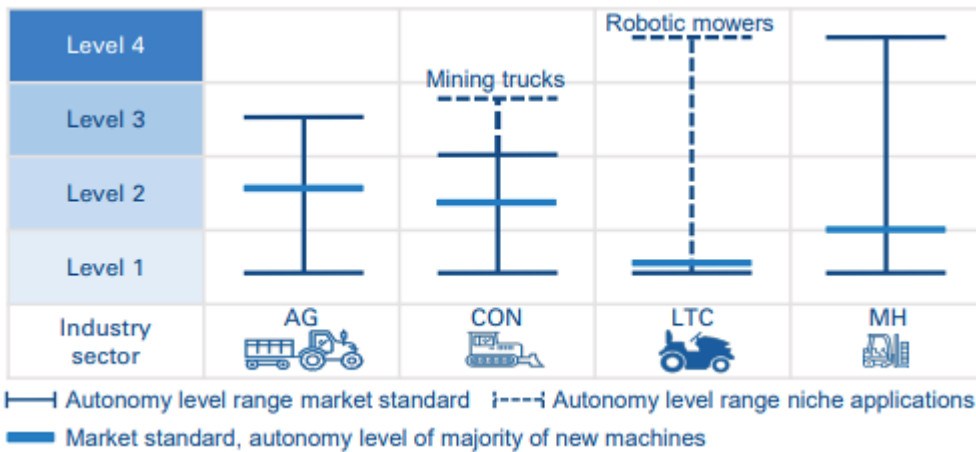
Taulukosta 2 huomataan, että kuljettajan työn avustamiseen keskittyvät järjestelmät ovat tyypillisesti tason 1 ja 2 järjestelmiä. Tasossa 1 kuljettaja ohjaa työkoneen toimilaitteita ja järjestelmä opastaa kuljettajaa työskentelyn aikana erilaisten merkkivalojen tai näytön avulla. Esimerkki tason 1 järjestelmästä on kaivinkoneisiin saatava kaivuusyvyysmittausjärjestelmä, joka ilmoittaa kuljettajalle työn aikana kaivuun syvyyttä. Puolestaan tason 2 järjestelmän avulla kuljettaja pystyy ohjaamaan suoraan työkoneen työkalun liikettä. [12] Tason 2 järjestelmää käytetään muun muassa metsäkoneissa puomin kärjen ohjaukseen.

Kuljettajan työtä avustavista järjestelmistä siirrytään taulukon 2 mukaan seuraavaksi automatisoituihin järjestelmiin. Taso 3 on nimetty osittain automatisoiduksi tasoksi, sillä tämän tasoisissa järjestelmissä työkoneen työliikkeistä vain osa ovat automatisoitu ja kuljettajan täytyy suorittaa loput työliikkeet. Tasossa 4 sen sijaan kaikki työkoneen työliikkeet ovat automatisoituja ja kuljettaja voi keskittyä työkoneen ajamiseen sekä automaatiojärjestelmän valvontaan silloin, kun järjestelmä toimii normaalisti. Viimeisenä taulukossa on määritetty taso 5. Tason 5 järjestelmä on autonominen, jolloin se suorittaa sille määritetyt työtehtävät ja liikkuu itsenäisesti ilman kuljettajaa. [12]

Eritoimialoilla käytettävien työkoneiden automaatiojärjestelmät ovat kehittyneet eri automaatiotasolle, kuten taulukosta 3 havaitaan. Taulukossa 3 on esitettyinä neljä eri toimialaa maatalous (AG agriculture), rakentaminen ja kaivostoiminta (CON construction), nurmikon hoito (LTC lawn and turf care) sekä materiaalinkäsittely (MH material handling). Toimialojen työkoneiden automaatiotasojen tarkastelu taulukon 3 avulla on suuntaa antava eikä huomio kaikkia mahdollisia ratkaisuja. Maataloudessa käytettävien markkinoilla olevien työkoneiden automaatiotaso on tasojen 1 ja 3 välillä. Uusimmat työkoneet tehdään vielä tyypillisesti automaatiotasoltaan vastaamaan tasoa 2, mutta tulevaisuudessa maatalouden työkoneet tulevat vastaamaan tasoa 3.

Rakentamisessa ja kaivostoiminnassa työkoneiden automaatiotasot keskittyvät tasojen 1 ja 2 välille. Kyseisille toimialoille on erittäin haastavaa toteuttaa täysin autonomisia työkoneita, minkä vuoksi toimialan automaatiotasojen kehitys on jäänyt alhaisemmaksi kuin maataloudessa. Poikkeuksena rakentamisessa ja kaivostoiminnassa ovat muutamat työkoneet, kuten kuljetusajoneuvot, jotka voivat sisältää tason 3 ratkaisuja. [13]

**Taulukko 3:** Työkoneiden järjestelmien automaatiotasot toimialakohtaisesti [13]



Markkinoilla olevien nurmikon hoitoon keskittyvien työkoneiden järjestelmät ovat tasolla 1, joka tarkoittaa, ettei työkone sisällä laisinkaan automaatiota. Poikkeuksena ovat robottiruohonleikkurit, jotka toimivat autonomisesti. Puolestaan materiaalienkäsittelyn toimialalla työkoneista pyritään tekemään autonomisia. Materiaalienkäsittelyn toimialan markkinoilla joillakin soveltamisaloilla uusien työkoneiden automaatiotasoa on vain tasojen 1 ja 2 välillä, sillä toimialalla vaadittavat toiminnalliset turvallisuusvaatimukset ovat korkeat. [13]

## 3. KULJETTAJAA AVUSTAVAT TOIMINNOT YLEISESTI

Kuljettajaa avustavien toimintojen tarkoituksena on parantaa kuljettajan työskentelyn tehokkuutta, helpottaa työkoneen hallintaa sekä lisätä kuljettajan turvallisuutta. Näiden parantamiseksi kuljettajan työskentelystä sekä työkoneen liikkeistä kerätään tietoa erilaisilla antureilla. Myös kuljettajien työskentelyssä on havaittu olevan eroa muun muassa tehokkuudessa sekä polttoaineen kulutuksessa. Kokenut kuljettaja hallitsee työkoneen paremmin kuin kokematon kuljettaja. Kokemattoman kuljettajan nopeampaa työkoneen hallintaa voidaan edesauttaa avustavien toimintojen avulla. [1]

### 3.1 Avustavan toiminnon edellytykset

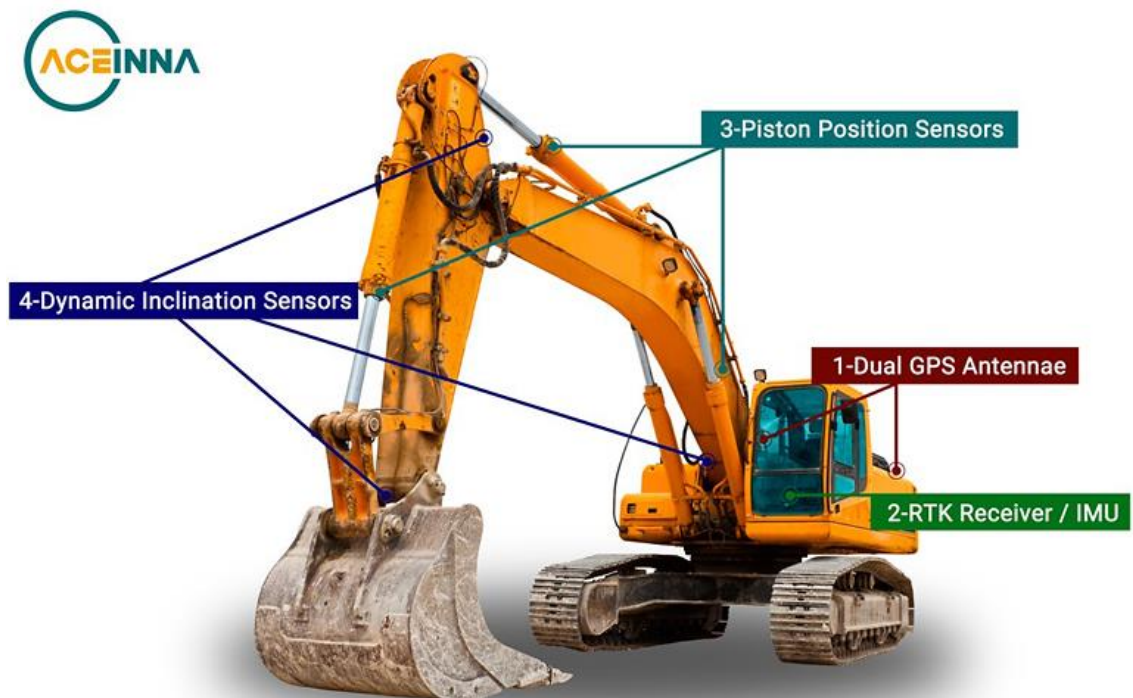
Tieliikenteen ajoneuvoissa avustavat toiminnot voidaan luokitella kuljettajaa avustaviksi järjestelmiksi DAS (Driver Assistance System) tai kehittyneiksi kuljettajaa avustaviksi järjestelmiksi ADAS (Advanced Driver Assistance System). Luokitukset eroavat toisistaan niiden käyttämien anturijoukkojen perusteella. DAS-järjestelmä käyttää esimerkiksi sisäänrakennettua inertiamittayksikköä IMU (Inertial measurement unit) ja matkamittareita, kun puolestaan ADAS-järjestelmä hyödyntää tietoa ympäristöstä kehittyneiden antureiden, kuten kameroita, tutkien sekä karttatietokannan avulla. Nämä koostuvat havaitsemiseen tarkoitettuun laitteistosta sekä ohjelmistosta päätöksentekoa varten. [8]

Samanaikaisesti, kun kehittyneitä kuljettajaa avustavia järjestelmiä otetaan käyttöön henkilöajoneuvoissa, samankaltaisia järjestelmiä käytetään myös työkoneissa. Verrattuna henkilöajoneuvoihin järjestelmien kehittäminen työkoneisiin voi olla hyvinkin erilaista. Ympäristöt, joissa työkoneita käytetään vaihtelevat eri toimialoittain sekä työympäristöissä ei ole kaistamerkkejä tai kylttejä, joita esimerkiksi kamerat voisivat hyödyntää pitääkseen ajoneuvon oikealla reitillä. [7] Henkilöajoneuvot eivät myöskään sisällä puomeja tai kauhoja tai käänny jalustallaan kuten esimerkiksi kaivinkone.

Työkoneissa kuljettajaa avustavat järjestelmät edellyttävät, että työkone sisältää erilaisia antureita sekä paikantimia, joilla mitataan työkoneen liikkeiden eri ominaisuuksia. Kerättyä mittaustietoa voidaan käyttää hyväksi järjestelmän säädössä sekä ohjauksessa. Esimerkiksi työkoneissa, joissa työliikkeisiin käytetään puomia, voidaan jokaiseen puomin niveleen itsessään lisätä anturi, jolla mitataan kyseisen nivelen

asentoa jatkuvasti työn aikana. Mitattua tietoa puomin nivelten asennoista voi myös kuljettaja tarkastella työskentelyn aikana.

Eri toimialoilla käytettävät työkoneet voivat sisältää monenlaisia ratkaisuja kuljettajan avustuksen saavuttamiseksi. Kuva 1 havainnollistaa esimerkiksi kuljettajaa avustavien järjestelmien tarvitsemia antureita sekä niiden sijaintia kaivinkoneessa. Antureita ovat muun muassa kaltevuusanturit sekä IMU- ja sylinterin männän asentoa mittaavat anturit sekä lisäksi kaivinkoneessa on GNSS (Global Navigation Satellite System) -vastaanotin. Pelkästään anturit eivät riitä avustavan järjestelmän ylläpitämiseen, vaan niiden keräämä mittausdata täytyy erikseen käsitellä ennen tiedon välittämistä järjestelmälle.



**Kuva 1:** Kaivinkoneen sisältämiä erilaisia antureita [7]

Kuljettajan turvallisuutta edistäviä toimintoja ovat muun muassa luistonesto, törmäyksen havaitseminen sekä välttäminen ja erilaiset kameralaitteet. Lisäksi työkone on pystyttävä pysäyttämään välittömästi vaarallisissa tilanteissa. Luistonesto toiminto sisältää antureita, jotka mittaavat työkoneen renkaiden pyörimisnopeutta. Jos renkaiden väliset pyörimisnopeudet kasvavat liian suuriksi, toiminto muuttaa pyörimisnopeuksien suhteen sopivaksi. Työkoneen renkaat alkavat luistamaan, jos niihin kohdistuva vääntömomentti ylittää huomattavasti maapinnalta saatavan kitkan. Työympäristöissä maasto voi olla hyvin vaihtelevaa, jolloin myös kitkatasoissa on eroavaisuuksia. [5] Puolestaan törmäysten havaitsemiseen ja välttämiseen on kehitetty laser- ja tutkapohjaisia

järjestelmiä, jotka havainnoivat ympäristöä ja varoittavat kuljettajaa mahdollisesta törmäyksestä tai pysäyttävät työkoneen ennen törmäystä. Erilaiset kameralaitteet kuvaavat kuljettajan nähtävälle näytölle sellaisia alueita työskentelyn aikana, joihin kuljettajalle ei ole suoraa näkyvyyttä.

### **3.2 Avustavien toimintojen hyödyt sekä haitat**

Lisääntyneet avustavat toiminnot ovat olleet hyödyksi kuljettajan päätöksenteon nopeuttamisen edistämiseksi sekä parantaneet työn tuottavuutta. Niiden avulla kuljettaja pystyy keskittymään paremmin työtehtävien suorittamiseen, kun avustavat toiminnot huolehtivat osan työkoneen hallinnan vaativista tehtävistä. Hyöty avustavista toiminnoista on havaittavissa etenkin kokemattomien kuljettajien työn tuottavuuden paranemisella sekä nopeammassa työtehtävien oppimisessa.

Avustavat toiminnot, jotka keräävät tietoa kuljettajan työskentelystä, voivat antaa välittömästi palautetta kuljettajan toiminnasta sekä opastaa taloudellisempaan ajotapaan [25]. Tiedon keräämisestä on myös hyötyä kuljettajan itsensä kehittämisessä ja sen avulla kuljettaja oppii ymmärtämään työkoneen toimintaa paremmin. Kuljettajan hyvän työkoneen hallinnan on todettu lisäävän turvallisuutta sekä vähentävän onnettomuuksien syntymistä [4].

Kuljettajan ei kuitenkaan pidä luottaa liikaa avustaviin toimintoihin. Tilanteissa, joissa työkoneen avustava toiminto on mennyt epäkuntoon, vaaditaan kuljettajalta kykyä omaan päätöksentekoon. Avustavien toimintojen eräs haitta puoli on kuljettajan päätöksen teon liiallinen riippuvuus avustavista toiminnoista. Lisäksi avustavat toiminnot voivat myös lisätä kuljettajassa turvallisuuden tunnetta, mikä puolestaan voi johtaa siihen, että kuljettaja alkaa työskentelemään riskialttiimmin, jolloin myös työympäristön turvallisuus heikentyy [1].

### 3.3 Kuljettajan vaikutus järjestelmään

Kuljettajan tarkoituksena on työkoneen avulla suorittaa toimialan vaatimia erilaisia työtehtäviä. Työkone toimii kuljettajalla työvälina, jota kuljettajan täytyy osata hallita hyvin suoriutuakseen työtehtävistä. Työkoneen ohjaamisen hallitsemisen oppiminen vie jokaiselta kuljettajalta oman aikansa. Oppimisjakson jakson aikana uusi kuljettaja keskittyy aluksi enemmän työkoneen ohjaamiseen hallintaan kuin oman tuottavuuden kehittämiseen.

Kokemuksen lisäksi kuljettajan ajotyylillä on vaikutusta esimerkiksi työkoneen polttoaineenkulutukseen. Aggressiivinen ajotyyli voi tehdä työskentelystä tehokkaampaa, mutta puolestaan lisää polttoaineen kulutusta sekä kasvattaa riskiä vaaratilanteiden syntymiselle. Puolestaan rauhallinen ajotyyli voi vähentää työn tuottavuutta, mutta parantaa turvallisuutta ja työskentelyyn keskittymistä.

Kuljettajan työskentelyä helpottavat opastavat järjestelmät ovat suunniteltu antamaan jatkuva-aikaista palautetta työskentelystä. Jokainen kuljettaja on erilainen, joten järjestelmän täytyy mukautuvasti ohjata kuljettajaa toimimaan tehokkaammin. Järjestelmä ei välttämättä osaa reagoida kaikkiin tilanteisiin, joten poikkeuksellisissa tilanteissa kuljettajan pitää olla valmiina itsenäiseen päätöksentekoon.

Kuljettajan ohjaaman työkoneen vastakohta on täysin autonominen työkone, joka sisältää erilaisia järjestelmiä, jotka havainnoivat ympäristöä sekä pystyvät itsenäiseen päätöksentekoon. Autonomista työkoneita kuljettajan ei tarvitse ohjata laisinkaan, vaan autonominen työkone työskentelee väsymättä sekä kokematta erilaisia tunnetiloja työpäivän aikana toisin kuin kuljettaja. Väsymätön työkone pystyisi työskentelemään yhtäjaksoisesti sekä edesauttaisi muun muassa tuottavuuden optimointia.



## 4. KULJETTAJAA AVUSTAVIA TOIMINTOJA TOIMIALOITTAIN

SAE International standardi SAE J1116 luokittelee erilaiset työkoneet toimialoittain. Standardin toimialat sekä niihin sisältyvät työkoneet ovat esitettynä taulukossa 4. Taulukossa ei ole esitetty kaikkia mahdollisia työkoneita, vaan sen tarkoituksena on antaa esimerkkejä työkoneista eri toimialoilla. Kuten taulukosta havaitaan, standardissa ei ole luokiteltu maatalouden työkoneita, sillä niille on erillinen standardi ANSI/ASAE S390. Luokittelusta voidaan huomata, että osa työkoneista voi esiintyä useammassa luokassa ja sisältää samanlaisia käsitteitä, vaikka niiden suorituskyky, kestävyys ja suunnittelu vaatimukset voivat olla erilaisia. [17]

**Taulukko 4:** SAE International työkoneiden luokittelu toimialoittain [17]

Earthmoving	Implements and Attachments	Forestry <sup>(3)</sup>	Road Building and Maintenance	Specialized Mining	Powered Industrial Trucks (For reference only. Powered industrial trucks are covered by standards developed by the Industrial Truck Standards Development Foundation and are not covered by SAE standards.)
Loaders <sup>(1)(2)</sup>	Flail Mowers	Forwarders	Cold Planers	Continuous Miners	Fork Lift Trucks
Backhoe-Loaders <sup>(2)</sup>	Rotary Mowers	Fellers	Material Transfer Machines	Face Drills	Platform Trucks
Graders <sup>(2)</sup>	Power Rakes	Self-Propelled Log Loaders	Pavers	Roof Drills	Motorized Hand Trucks
Tractor-Scrapers <sup>(2)</sup>	Backhoe Attachments	Feller-Bunchers	Road Wideners	Loading Machines	Motorized Hand/Rider Trucks
Dumpers <sup>(2)</sup>	Sweeper Attachments	Harvesters	Self-propelled Sweepers	Cutting Machines	Narrow Aisle Trucks
Trenchers <sup>(2)</sup>		Processors	Soil Stabilizers	Rubber Tired Haulage Vehicles	Order Picker High Lift Trucks
Horizontal Earth Boring		Trailer-Mounted Log Loaders;	Reclaimers	Locomotives	Pallet Trucks
Rollers and Compactors <sup>(1)(2)</sup>		Forestry Excavators;	Rollers and Compactors, Asphalt <sup>(1)(2)</sup>	Personnel Carriers	Reach Trucks
Pipelayers <sup>(2)</sup>		Skidders (tracked and wheeled – cable, grapple and clam bunk);	Trimbers	Mechanics Trucks	Side Loader Trucks
Rubber Tired Haulage Machines		Forestry Winches;	Placers	Rock Dusting Machines	Straddle Trucks
Excavators			Texture and Cure Machines	Blast-hole Drills;	Rough Terrain Forklift Trucks
Tractors <sup>(1)(2)</sup>			Cylinder Finishers		Aircraft Towing Tractors
			Resurfacing Machines		Baggage Towing Tractors
					Vehicle Mounted Forklift Trucks

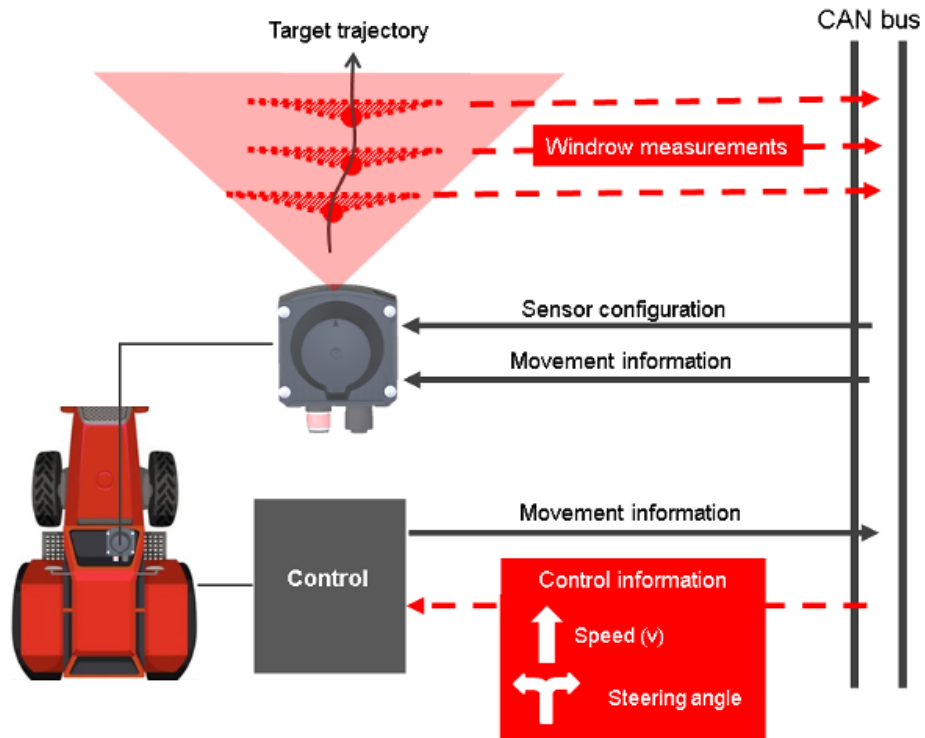
## 4.1 Maatalous

Maataloudessa käytetään useita työkoneita, sillä esimerkiksi maanviljely sisältää useamman työvaiheen pellon kyntämisestä sadonkorjuuseen. Erilaiset työkoneet sekä niiden työvälineet ovat suunniteltu soveltuvan toiminnoiltaan tiettyihin vaiheisiin. Jokaisessa vaiheessa työkoneen täytyy toimia kuljettajan edellyttämällä tavalla. Kuljettajan ajotehtäviä pystytään helpottamaan lisäämällä kuljettajaa avustavia lisäjärjestelmiä työkoneisiin.

Toimialalla yleisiä työkoneita ovat maataloustraktorit. Niiden kuljettajaa avustavat järjestelmät voidaan jakaa työkoneen käsittelyä- sekä toimintaprosessia avustaviin järjestelmiin. Käsittelyä avustavia toimintoja ovat muun muassa ajonvakautus sekä dynaamisen ohjaukskulman säätö. Puolestaan toimintaprosessia avustava toiminto voi olla vetotraktorin ja työvälineen keskeinen automatisoitu ohjaus. Traktoreissa työvälineiden tarkka paikannus on tärkeä edellytys automaattisille ohjausjärjestelmille. [14]

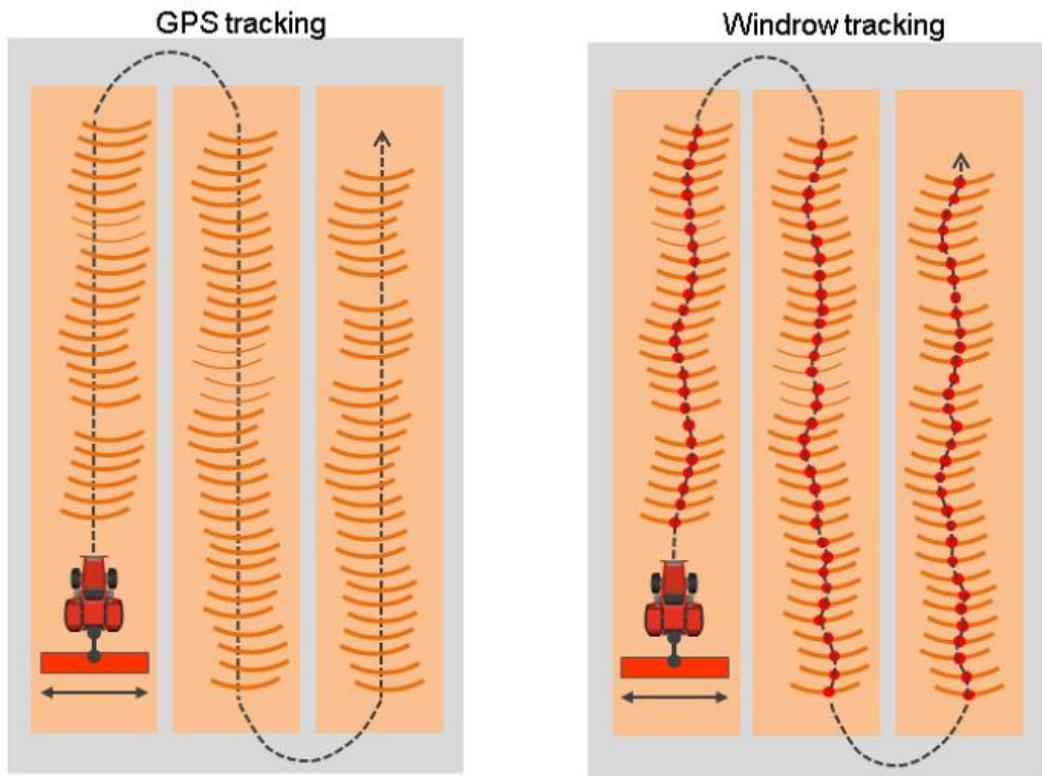
Anturijärjestelmiä kehittävä yritys SICK AG on valmistanut maataloustyökoneisiin WGS (Windrow Guidance System) anturijärjestelmän, joka on yhteensopiva ISOBUS väyläohjausta käyttävien työkoneiden kanssa. Anturijärjestelmän sisältämien antureiden on tarkoitus tunnistaa ja mitata sadonkorjuussa niitos eli katkaistu heinä. Puolestaan järjestelmän laserskannerin tehtävänä on profiloida työkoneen edessä oleva maan pinta poikittaisessa suunnassa kulkusuuntaan nähden. [21]

Kuva 2 havainnollistaa tiedonsiirtoa anturijärjestelmältä CAN-väylän kautta työkoneen ohjaukseen ja takaisin anturijärjestelmälle. Anturijärjestelmä havaitsee reitin karhoksen eli riveissä olevin niitettyjen heinien tai viljojen perusteella ajoneuvon optimaalisen paikannuksen varmistamiseksi sekä mittaa karhoksen määrää automaattiselle nopeuden säädölle [21].



**Kuva 2:** Tietoliikenne CAN-väylällä [21]

WGS anturijärjestelmä on kehittyneempi menetelmä optimoida reitti karhoksen keräämiseen kuin paikannukseen perustuva GPS-järjestelmä (Global Positioning system). GPS-järjestelmää käytettäessä ajoneuvon reitti on määritetty etukäteen sekä syötetty ajoneuvon ohjausjärjestelmälle, minkä vuoksi osa karhoksesta voi jäädä keräämättä. Puolestaan WGS-järjestelmä siirtää reaaliajassa ajoneuvon ohjausjärjestelmälle tietoa karhoksesta. Reaaliaikainen tieto mahdollistaa työkoneneen liikkumiseen karhoksen mukaan. [21] Kuva 3 tuo esille GPS- ja WGS- järjestelmien eroavaisuudet ajoneuvon reitin optimoinnille.



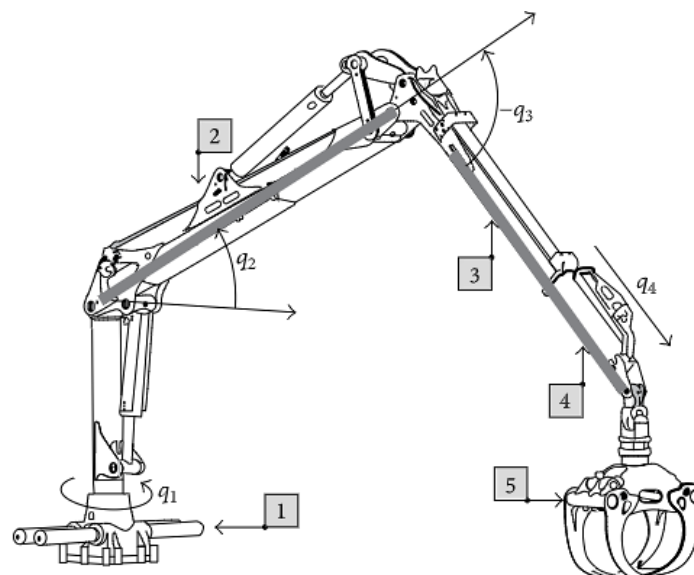
**Kuva 3:** GPS- ja WGS-järjestelmien eroavaisuudet karhoksen keräämisessä [21]

## 4.2 Metsätalous

Maatalouden lisäksi myös metsätaloudessa käytetään apuna erilaisia työkoneita. Metsätaloudessa etenkin metsän harvennuksessa käytetään puiden kaatamiseen, keräämiseen ja kuljettamiseen yleensä kahdenlaisia metsäkoneita, joita ovat harvesterit sekä kuormatraktorit. Metsäkoneen kuljettajalta edellytetään hyvää ammattitaitoa, sillä metsämaasto voi olla vaihtelevaa sekä vaikea kulkuista.

Metsäkoneen kuljettajille on kehitetty erilaisia avustavia toimintoja, jotka muun muassa parantavat kuljettajan tehokkuutta. Kuljettajan kokemuksella on paljon vaikutusta työn tuottavuuteen, joten avustavista järjestelmistä on apua etenkin kokemattomille kuljettajille. Työkoneita valmistava yritys John Deere on kehittänyt kuljettajan työskentelyä parantavan älykkään kärkehjauksen IBC (Intelligent Boom Control) harvestereiden sekä kuormatraktoreiden puomin ohjaamiseen.

Älykkään kärkehjauksen aktivointi toimii erillisen napin painalluksella kuormatraktorin ohjaamossa. Ohjauksen ollessa aktivoitu kuljettajan ei tarvitse erikseen ohjata kuormatraktorin puomin jokaista niveltä, vaan tällöin kuljettaja ohjaa vain puomin kärkeä. Kuva 4 havainnollistaa tyypillisen puomin rakennetta, jossa on merkittynä puomin neljä niveltä  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $q_3$  sekä  $q_4$ . Nivelet ohjautuvat automaattisesti sen mukaan, minne kuljettaja ohjaa puomin kärjessä olevaa kouraa. Älykkään kärkehjauksen pystyy myös ottamaan pois päältä ja ohjaamaan puomin kaikkia niveliä erikseen. Älykkään kärkehjauksen on havaittu parantavan uusien kuljettajien työskentely nopeutta 15 % sekä tuottavuutta yhden kuorman verran päivässä. [11]



Crane architecture

- |                |                            |
|----------------|----------------------------|
| (1) Slewing    | (4) Telescope              |
| (2) Inner boom | (5) Gripper (end-effector) |
| (3) Outer boom |                            |

**Kuva 4: Puomin rakenne [14]**

### 4.3 Maanrakennus

Maanrakentamisen toimialalla käytetään samalla työmaa-alueella useita erilaisia työkoneita. Työmaa-alueella voi liikkua samanaikaisesti pyöräkuormaajia, kaivinkoneita sekä dumppereita eli maansiirtoajoneuvoja, mitkä toimivat eri työvaiheissa keskenään. Työkoneet on kehitetty kestäväksi sekä siirtämään raskaita kuormia paikasta toiseen. Työkoneisiin kohdistuvan rasituksen vähentämiseksi sekä tuottavuuden parantamiseksi työkoneisiin on kehitetty avustavia toimintoja.

Volvo Construction Equipment Finland yritys on kehittänyt Load Assist-tietojärjestelmän, joka sisältää useamman kuljettajaa avustavan toiminnon. Load Assist-järjestelmä on suunniteltu erityisesti pyöräkuormainten ja maansiirtoajoneuvojen käyttöön. Järjestelmän sisältämiä toimintoja ovat muun muassa kuljettajan valmennussovellus, ajoneuvon oma punnitusjärjestelmä sekä rengaspaineiden valvontasovellus.

Ajoneuvon oman punnitusjärjestelmän avulla kuljettaja pystyy seuraamaan reaaliajassa pyöräkuormaajan kauhan kuormaa. Punnitusjärjestelmän avulla pystytään vähentämään muun muassa yli- ja alikuormituksia. Järjestelmä sisältää painantureita, jotka mittaavat painetta kuormituksen aikana sekä puomin asentoa mittaavia antureita. Antureilla kerätyn mittaustiedon avulla voidaan ilmoittaa kuljettajalle reaaliajassa kuorman massa sekä paljonko lastattavaan ajoneuvoon voidaan vielä lisätä kuormaa. Järjestelmä myös ilmoittaa kuljettajalle, jos kuorman massa ylittää asetetun rajan. [24] Kuva 5 havainnollistaa punnitusjärjestelmän kuljettajalle näkyvää käyttöliittymää.



**Kuva 5:** Load Assist-järjestelmän käyttöliittymä [23]

## 4.4 Kaivostoiminta

Kaivostoimintaan tarvitaan monia erilaisia maanpäällisiä ja maanalaisia työkoneita, kuten porauslaitteita, lastauskoneita sekä dumppereita. Kaivosympäristössä työkonien järjestelmien automaatio on kehittynyt nopeasti, sillä kaivosympäristö on suljettu alue sekä ihmisen rakentamaa, jolloin se noudattaa tiettyä säännönmukaisuutta. Kaivostoiminnan automatisoinnissa käytetään muun muassa aistinjärjestelmiä sekä laserskannereita. [1]

Sandvik Mining and Construction Oy yritys on kehittänyt AutoMine-järjestelmän, jonka erilaisilla ratkaisuilla pystytään etäohjaamaan maanpäällisiä sekä maanalaisia työkoneita. Maanalaisille työkoneille suunnatussa AutoMine-järjestelmässä kuljettajattomat lastauskoneet sekä dumpperit navigoivat jatkuvasti sekä tarkasti ympäristöä ilman väsymystä. Lisäksi työkonien automatisointi kaivostoiminnassa on lisännyt kuljettajien turvallisuutta siirtämällä kuljettajat erilliseen etävalvomoon pois kaivoksen vaarallisilta alueilta, joissa työskentelevät vain työkoneet keskenään. [19] Kuvassa 6 operaattori seuraa työkonen toimintaa maanalaisessa kaivoksessa etävalvomosta.



**Kuva 6:** Operaattori työskentelemässä etävalvomossa [19]

AutoMine-järjestelmän erilaiset ratkaisut takaavat järjestelmän sopivuuden erilaisiin kaivoksiin. Lähtötasoinen ratkaisu on AutoMine Tele-Remote, jossa järjestelmän ominaisuuksia ovat operaattoria avustava automaattinen ohjaus sekä työkonen törmäyksen estot. Työkonen kulkiessa kaivostunnelissa operaattori enimmäkseen seuraa työkonen etenemistä, kunnes esimerkiksi työkonen kauha pitää lastata. Tällöin operaattori ohjaa täysin työkonen kauhan liikkeitä etävalvomosta. Kuva 7 havainnollistaa, miltä operaattorin näyttö näyttää kauhan täyttöhetkellä.



**Kuva 7:** Operaattorin näytön näkymä etävalvomossa [19]

Tele-Remote ratkaisun on todettu soveltuvan parhaiten muuttuvaan kaivosympäristöön kuten pieniin louhoksiin [19]. Kehittyneempi ratkaisu AutoMine-järjestelmästä on AutoMine Multi-Lite. Multi-Lite järjestelmällä etävalvomossa työskentelevä operaattori pystyy tarkastelemaan useita työkoneita samaan aikaan sekä työkoneet pystyvät suorittamaan automatisoituja ratkaisuja tietyillä tuotantoalueilla. Täten järjestelmää suositellaan laaja-alaisiin kaivostoimintoihin. [20]



## 5. KEHITYSKOhteet tulevaisuudessa

Työkoneiden kuljettajaa avustajat järjestelmät sekä automaatiojärjestelmät kehittyvät jatkuvasti. Erilaiset tavoitteet, kuten tuottavuuden, turvallisuuden parantaminen sekä kulutuksen ja päästöjen vähentäminen edesauttavat kehitystä. Lisäksi myös erilaisten antureiden, paikantimien, tutkien ja kameroiden kehitys mahdollistaa muun muassa reaaliaikaisen tiedonkeruun työympäristöstä [16].

Sillä välin, kun kaivoksissa liikkuvat osittain automatisoidut ja etäohjatut työkoneet, samanaikaisesti metsissä hakkuukoneiden kuljettajat joutuvat tekemään useita päätöksiä puiden harvennuksista koneenohjaamisen lisäksi. Hakkuukoneen kuljettajan työskentelyn parantamiseksi on suunniteltu harvennustyön puun valinnassa opastavaa järjestelmää. Järjestelmä havainnoisi metsäympäristöä ja ilmoittaisi kuljettajalle, mitkä puut kuljettajan tulisi poistaa. Tällöin kuljettajan päätöksenteko helpottuisi ja kuljettaja pystyisi keskittymään enemmän itse harvennukseen. Päätöksentekoa helpottavan järjestelmän uskotaan parantavan erityisesti kokemattomien hakkuukoneiden kuljettajien työn tuottavuutta. [16]

Puolestaan maanrakennuksessa voitaisiin pohtia toistuvaa työtä tekevien työkoneiden kuten pyöräkuormaajien osittaista automaatiota siirtämällä kuljettaja etävalvomoon seuraamaan työkoneen työskentelyä, kuten kaivostoiminnassa. Pyöräkuormaaja toistaisi tiettyä työsykliä sekä havainnoisi ympäristöään välttääkseen mahdolliset törmäykset. Puolestaan kuljettaja seuraisi koneen liikkeitä etävalvomosta ja olisi valmiina ohjaamaan työkoneita. Maanrakennus työympäristössä liikkuu pyöräkuormaajien lisäksi muita työkoneita, kuten puskutraktoreita, kaivinkoneita sekä kuorma-autoja. Ihmisten kuljettamien työkoneiden ja etäohjattujen osittain automatisoitujen työkoneiden tulisi toimia keskenänsä. Ihmisten kuljettamien työkoneiden ja osittain automatisoitujen työkoneiden työskentelyä keskenään ei pidetä vielä kovin turvallisena ratkaisuna, sillä muun muassa etäohjauksessa on havaittu viiveitä työkoneiden ohjauksessa [22].

Kaivostoiminnassa muutoin osittain automatisoitujen työkoneiden, kuten pyöräkuormaajan liikkeitä seurataan etävalvomosta, mutta kauhan täyttöhetkellä kuljettaja ottaa työkoneen ohjauksen hallintaansa. Pyöräkuormaajan kauhan automaattista täyttämistä optimaalisesti voidaan pitää yhtenä haastavimpana tehtävänä työkoneen työsyklissä [2]. Tekoälyratkaisujen kehityksellä voitaisiin edesauttaa kauhan täyttämisen automatisointia. Tekoälylle opetettaisiin optimaalinen tapa täyttää kauha ja jatkaa työskentelyä kauhan täytön jälkeen.

Teknologinen kehitys tekoälyssä myös edesauttaisi autonomisten järjestelmien kehittämistä työkoneisiin. Autonominen työkone suorittasi vaaditut tehtävät ilman kuljettajaa ympäristön havainnoinnin, avustavien järjestelmien ja kerätyn sekä analysoidun datan avulla. Nykyisten työkoneiden kehityksen ohella autonomisuus mahdollistaisi myös uudenlaisten työkoneiden suunnittelun. Kun kuljettajaa ei enää tarvittaisi ohjaamaan työkoneita, voitaisiin suunnittelussa poistaa työkoneesta kuljettajalle varattu tila. Tällöin työkoneista tulisi rakenteeltaan kevyempiä sekä virtaviivaisempia.[9]

Tekoälyratkaisujen kehittämiseen kannattaa tulevaisuudessa panostaa, sillä sen on havaittu tehostavan työkoneiden käyttöä sekä optimoivan polttoaineen ja energiankulutusta. Työkoneissa tekoälylle voitaisiin esimerkiksi tuoda kokeneen kuljettajan työskentelystä kerättyä dataa. Järjestelmä käsittelisi datan ja sen perusteella osaisi muun muassa tukea sekä helpottaa kokemattoman kuljettajan työskentelyä. [3] Lisäksi kehittynyt tekoäly osaisi ennakoida tilanteita, kuten ilmoittaisi kuljettajalle mahdollisesta tulevasta vaaratilanteesta tai työkoneen komponentin rikkoutumisesta.

## 6. YHTEENVETO

Jokaisella toimialalla ovat omat painopisteensä työkoneiden avustavien toimintojen lisäämiselle sekä automaatiotason kasvattamiselle. Automaatio ei ole vielä korvannut kuljettajaa kokonaan millään toimialalla, vaan kuljettaa tarvitaan vielä ohjaamaan työkonetta yhdessä järjestelmän kanssa. Suurin merkitys työkoneen automaation kehitykseen on työympäristöllä sekä vaadittavalla työtehtävällä.

Tarkasteltaessa eri toimialojen automaatiojärjestelmien kehitystä erityisesti kaivostoiminnassa työkoneet sisältävät eniten kuljettaa avustavia toimintoja ja automaatiojärjestelmiä. Myös kuljettajan ei tarvitse olla enää työkoneen hytissä ohjaamassa työkonetta vaan kuljettaja seuraa työkoneen liikkeitä etävalvomosta ja on valmiina hallitsemaan työkonetta tarvittaessa. Puolestaan hakkuukoneen kuljettaja joutuu aktiivisesti itse havainnoimaan ympäristöä, samalla ohjaamaan työkonetta haastavassa maastossa sekä tekemään nopeita päätöksiä harvennettavista puista.

Kuljettajan turvallisuutta voidaan parantaa lisäämällä työkoneisiin järjestelmiä, jotka ennaltaehkäisevät tapaturmien syntymistä. Kuten esimerkiksi työkoneen vakautus-, törmäyksenesto- sekä luistonestojärjestelmä. Myös kuljettajan poistaminen työkoneen hytistä parantaa turvallisuutta merkittävästi. Etenkin vaarallisissa työympäristöissä esimerkiksi kaivosympäristössä, jossa voi olla muun muassa sortumisvaaroja.

Puolestaan työn tuottavuutta on pystytty parantamaan vähentyneillä työkoneiden komponenttien rikkoutumisilla, jolloin työn turhat seisonta-ajat ovat pienentyneet. Lisäksi kuljettajan päätöksentekoa avustajat järjestelmät auttavat kuljettajaa keskittymään itse työtehtävän suorittamiseen. Avustavista toiminnoista on havaittu olevan erityisesti hyötyä kokemattomien kuljettajien työskentelyssä. Esimerkiksi älykkään kärkehjauksen avulla kuormatraktoreiden uusien kuljettajien työn tuottavuus on parantunut yhden kuorman verran päivässä.

Tulevaisuudessa muilla toimialoilla entuudestaan käytössä olevia ratkaisuja kuljettajaa avustavista toiminnoista tullaan hyödyntämään ja kehittämään myös toisilla toimialoilla. Lisäksi työkoneissa tulevat lisääntymään osittain automatisoidut järjestelmät, jolloin osa työkoneen työliikkeistä on automatisoitu ja kuljettaja suorittaa loput työliikkeet. Työkoneiden automaatiotasojen nostamisen sekä avustavien toimintojen kehityksen mahdollistaa muun muassa teknologinen kehitys sensorteknologiassa.

# LÄHTEET

- [1] J. Ala-Ilomäki, A. Asikainen, T. Ikonen, S. Lamminen, M. Siren, K. Väättäin, Kuljettajaa opastavat älykkäät järjestelmät ja niiden käyttö koneellisessa puunkorjuussa, Metlan työraportteja 223, Metla, Vantaa, 2012, s.18–26. Saatavissa (viitattu: 23.9.2020): <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/536130>
- [2] U. Andersson, U. Bodin, S. Dadhich, Key challenges in automation of earth-moving machines, Sweden, 2015. Saatavissa (viitattu: 7.1.2021): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580516300899#bi0005>
- [3] Business Tampere, Datasta älykkyyttä teollisuuteen, 2/2020. Saatavissa (viitattu: 10.12.2020): <https://business tampere.com/fi/datasta-alykkyytta-teollisuuteen-2/>
- [4] J. Caird, S. Chisholm, J. Lockhart, 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), 2008, pp. 132–144. Saatavissa (viitattu: 11.11.2020): <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1071581907000328?via%3Dihub>
- [5] Danfoss, Traction Control, Traction control technologies. Saatavissa: (viitattu: 2.12.2020): <https://www.danfoss.com/en/markets/mobile-hydraulics/dps/propel/traction-control/#tab-overview>
- [6] O.C. Duffy, S.A. Heard, G. Wright, Fundamentals of Mobile Heavy Equipment, USA, 2019, pp. 496–501
- [7] J. Fennelly, Off-road Construction Vehicles Go Autonomous, Machine Design, 2018. Saatavissa (viitattu: 18.11.2020): <https://www.machinedesign.com/automation-iiot/article/21836989/offroad-construction-vehicles-go-autonomous>
- [8] M. Galvani, History and future of driver assistance, IEEE Instrumentation & Measurement Magazine 22, 2019. Saatavissa (viitattu: 18.11.2020): <https://ieeexplore.ieee.org/document/8633345/authors#authors>
- [9] E. Heikkilä, H. Helaankoski, Autonomiset järjestelmät ovat jo täällä, Automaatioväylä, 09/2019, s. 21–22. Saatavissa (viitattu: 10.12.2020): [http://www.automaa-tiovayla.fi/wp-content/uploads/2019/09/Automaatiovayla\\_4\\_2019.pdf](http://www.automaa-tiovayla.fi/wp-content/uploads/2019/09/Automaatiovayla_4_2019.pdf)

- [10] S. Innamaa, H. Kanner, P. Rämä, A. Virtanen, Automaation lisääntymisen vaikutukset tieliikenteessä, Trafin tutkimuksia, Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi, Helsinki, 01/2015 s.3–7. Saatavissa (viitattu: 24.5.2020): [https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1461576365/fdb4c6b311fb1da01cf40bdf8fd33b5c/20473-Trafi\\_tutkimuksia\\_01-2015\\_-\\_Automaattiajaminen.pdf](https://arkisto.trafi.fi/filebank/a/1461576365/fdb4c6b311fb1da01cf40bdf8fd33b5c/20473-Trafi_tutkimuksia_01-2015_-_Automaattiajaminen.pdf)
- [11] John Deere, kärkiohjaus. Saatavissa (viitattu: 9.9.2020): <https://www.deere.fi/fi/mets%C3%A4koneet/ibc/>
- [12] Kilpeläinen, K. Nevala, T. Näyhä, T. Parkkila, L. Rannanjärvi, P. Tukeva, Älykäs tietyömaa - Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus, VTT Tiedotteita 2255, Espoo 2004, s.16–17. Saatavissa (viitattu: 24.5.2020): <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/tiedotteet/2004/T2255.pdf>
- [13] T. Knoblinger, A. Krug, P. Seidel, Autonomous machines in the fast lane?, Arthur D. Little, Luxemburg, 04/2019. Saatavissa (viitattu: 2.8.2020): <https://www.adlittle.com/en/insights/viewpoints/autonomous-machines-fast-lane>
- [14] G. Kormann, M. Reinards, U. Scheff, Assistance system in Agricultural Engineering, Handbook of Driver Assistance Systems, Springer, Cham, 05/2015. Saatavissa (viitattu: 31.8.2020): [https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-319-12352-3\\_54](https://link.springer.com/referenceworkentry/10.1007%2F978-3-319-12352-3_54)
- [15] P. La Hera, D.O.Morales, Model-Based Development of Control Systems for Forestry Cranes, 06/2015. Saatavissa (viitattu: 9.9.2020): <https://www.hindawi.com/journals/jcse/2015/256951/>
- [16] Metsäalan ammattilehti, Apuja hakkuukoneenkuljettajan työhön harvennushakkuille, 4/2020, s.6–7. Saatavissa (viitattu: 7.1.2021): <https://issuu.com/ammattilehti.fi/docs/ammattilehtisyksy2020>
- [17] SAE International, Categories of Off-Road Self-Propelled Work Machines, J1116\_201301, 2013. Saatavissa (viitattu: 24.8.2020): [https://www.sae.org/standards/content/j1116\\_201301/](https://www.sae.org/standards/content/j1116_201301/)
- [18] SAE International, Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems, J3016\_201401, 2014. Saatavissa (viitattu: 24.5.2020): <https://www.sae.org/news/press-room/2014/10/sae->

international-technical-standard-provides-terminology-for-motor-vehicle-automated-driving-systems

- [19] Sandvik Mining and Rock Technology, AutoMine Tele-Remote (video). Saatavissa (viitattu: 24.9.2020):  
<https://www.rocktechnology.sandvik/fi/laitteet/automaatio/automine-laitteistoautomaatio-ja-et%C3%A4k%C3%A4ytt%C3%B6/automine-underground/automine-tele-remote-lastaukseen-ja-kuljetukseen/>
- [20] Sandvik Mining and Rock Technology, AutoMine Multi-Lite. Saatavissa (viitattu: 24.9.2020): <https://www.rocktechnology.sandvik/fi/laitteet/automaatio/automine-laitteistoautomaatio-ja-et%C3%A4k%C3%A4ytt%C3%B6/automine-underground/automine-multi-lite-lastaukseen-ja-kuljetukseen/>
- [21] SICK, Operating instructions, WGS Driver assistance system, 2016. Saatavissa (viitattu: 16.8.2020):  
[https://cdn.sick.com/media/docs/6/26/226/operating\\_instructions\\_wgs\\_driver\\_assistance\\_system\\_en\\_im0069226.pdf](https://cdn.sick.com/media/docs/6/26/226/operating_instructions_wgs_driver_assistance_system_en_im0069226.pdf)
- [22] Volvo Construction Equipment Finland, Etäohjatut pyöräkuormaajat testataan, kun volvo ce saa ruotsin ensimmäisen 5G-verkon teollisuutta varten, 4/2019. Saatavissa (viitattu: 7.1.2021): <https://www.volvoce.com/suomi/fi-fi/about-us/news/2019/remote-controlled-wheel-loaders-to-be-tested-when-volvo-ce-receives-sweden-first-5g-network-for-industry/>
- [23] Volvo Construction Equipment Finland, User Interface - Volvo Load Assist- Basic operator training. Saatavissa (viitattu: 21.1.2021):  
<https://www.youtube.com/watch?v=YNeBQ398G7Y&list=PLJ93Sr2jvwvayvc451zxfNWxQuYDWI4C&index=12>
- [24] Volvo Construction Equipment Finland, Load Assist. Saatavissa (viitattu: 24.9.2020): <https://volvoce.com/suomi/fi-fi/services/volvo-services/productivity-services/load-assist/>
- [25] Volvo Construction Equipment Finland, Load Assist, Operator Coaching. Saatavissa (viitattu: 11.11.2020): <https://volvoce.com/suomi/fi-fi/services/volvo-services/productivity-services/load-assist/operator-coaching/>