

Joonas Kainu

Työkoneiden anturointi

Kandidaatintyö
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta
Tarkastaja: Kalevi Huhtala

Huhtikuu 2023

TIIVISTELMÄ

Joonas Kainu: Työkoneiden anturointi

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Teknisten tieteiden kandidaatin tutkinto-ohjelma, Automaatiotekniikka

Huhtikuu 2023

Anturi on laite, joka havaitsee ja mittaa ympäristön fysikaalisia, kemiallisia tai biologisia muuttujia ja muuntaa ne sähköisiksi signaaleiksi, joita voidaan käsitellä työkoneen elektronisissa järjestelmissä. Antureiden avulla voidaan esimerkiksi mitata työkoneen kiihtyvyyttä, tunnistaa lähestyviä kohteita ja seurata työkoneen hydraulijärjestelmän painetta. Näiden tietojen avulla voidaan tunnistaa mahdolliset ongelmat ja puutteet koneen toiminnassa, mikä mahdollistaa koneiden tehokkaamman käytön, huoltamisen sekä turvallisemman työympäristön.

Työkoneiden työohjauksen anturit ovat tärkeitä komponentteja, jotka mahdollistavat työkoneiden tehokkaan ja turvallisen käytön. Työn ohjauksen anturit voivat mitata lineaarista liikettä hydraulisylintereissä, kaivinkoneen puomin kiertymäkulmia. Laserantureilla ja kameroilla voidaan mitata värinää, etäisyyksiä ja pinnanmuotoja, jotka ovat tärkeitä tietoja koneen autonomiselle työlle. Radarin ja RFID:n avulla voidaan havaita lähestyviä kohteita radiotaajuuksien avulla.

Kunnonvalvonta on tärkeää työkoneille käyttöiän ja suorituskyvyn parantamiseksi ja ylläpitämiseksi. Kunnonvalvonnan anturit voivat seurata esimerkiksi hydraulisen voimansiirtojärjestelmän painetta ja siten havaita vuotoja. Päästöjen seuranta on nykypäivänä tarkkaa, joten ilma-polttoainesuhdetta tarkkaillaan päästöjen minimoimiseksi ja suorituskyvyn parantamiseksi.

Kuljettajaa avustavat järjestelmät, kuten kärkeohjaus, ovat anturoinnin mahdollistamia ratkaisuja, joilla pyritään helpottamaan ja tehostamaan kuljettajan työtä. Automaatiotasot auttavat ymmärtämään järjestelmän kykyjä ja rajoitteita. Anturit ovat tärkeitä myös turvallisuuden kannalta, sillä ne voivat havaita mahdolliset vaaratilanteet ja varoittaa kuljettajaa. Jalankulkijoiden havaitsemisjärjestelmä (Pedestrian Detection System, PDS), on kehittynyt kuljettajaa avustavan järjestelmän (Advanced Driver Assistance System, ADAS) erityinen tyyppi, jonka avulla voidaan havaita koneen ympärillä olevia kohteita ja joissain tapauksissa suorittaa turvallisuustoimenpiteitä.

Viime vuosina anturiteknologioiden nopea kehitys on johtanut merkittävään edistymiseen rakentamisen tehokkuudessa ja rakennuskoneiden automaatioaste on kasvanut suuresti. Modernit työkoneet ovat usein varustettu lukuisilla antureilla, jotka keräävät jatkuvasti tietoa koneen toiminnasta ja ympäristön olosuhteista. Uusia anturointiratkaisuja työkoneissa ovat lidar ja erilaiset kamerajärjestelmät. Työkoneiden anturointi on osa älykkäiden työkoneiden kehitystä ja se tulee yleistymään tulevaisuudessa entisestään. Antureiden mahdollistamaa tietoa voidaan myös käyttää laajemmin esineiden internetin (Internet of Things, IoT) avulla.

Avainsanat: Työkone, työohjauksen anturi, kunnonvalvonnan anturi, Kuljettajaa avustavat järjestelmät, automaatiotasot, Internet of Things (IoT)

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO.....	1
2.	TYÖNOHJAUKSEN ANTURIT.....	2
2.1	Kytkimet.....	4
2.2	Lineaariliike	5
2.3	Pyörimisliike	6
2.4	Laseranturit	8
2.5	Kamerat työkoneissa	8
2.6	Radiotaajuusanturit.....	9
3.	KUNNONVALVONNAN ANTURIT	11
3.1	Paineanturit	11
3.2	Voitelu	12
3.3	Suorituskyky ja päästöt.....	13
3.4	Systemin tila	14
4.	KULJETTAJAA AVUSTAVAT JÄRJESTELMÄT	15
4.1	Jalankulkijoiden havaitsemisjärjestelmät työkoneissa	15
4.2	Automaatiotasot.....	16
5.	ESIMERKKEJÄ TYÖKONEEN ANTUROINNISTA.....	18
5.1	Stereokamera.....	18
5.2	Kärkiohjaus.....	19
5.3	IoT.....	20
6.	YHTEENVETO	22
	LÄHTEET	23

LYHENTEET JA MERKINNÄT

ADAS	Advanced Driver Assistance System
AR	Artificial Reality
CAN	Controller Area Networks
CBM	Condition Based Monitoring
CBR	Case-Based Reasoning
CO ₂	Hilidioksidi
DSS	Driver Support System
ECM	Electronic Control Module
ECU	Engine Control Unit
EGR	Exhaust Gas Recirculation
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HTS	Hydraulic Transmission System
IBC	Intelligent Boom Control
ICE	Internal Combustion Engine
IoT	Internet of Things
NO _x	Nitrogen Oxide
PDS	Pedestrian Detection System
RFID	Radio Frequency Identification
SCR	Selective Catalyst Reduction
VTT	Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

1. JOHDANTO

Teollisuudessa pyritään tehokkaaseen ja tuottavaan työhön, minkä edellytyksenä tarvitaan älykkäitä työkoneita. Älykkäät työkoneet voivat olla täysin autonomisia tai ihmisen ohjaamia automaation avustamia laitteita. Jotta työkoneen tekemä työ olisi tuottavaa, työkoneiden täytyy olla kustannustehokkaita ja toiminnaltaan luotettavasti hallittavia. Työkoneita hallitaan ihmisen aistien ja anturitiedon avulla. Työkoneen automatisoimiseen tarvitaan monenlaisia antureita turvallisuuden ja tehokkuuden ylläpitämiseksi. Työn laadun parantamiseksi usein tarvitaan suuri määrä anturien mittauksia, jotta työkoneen toiminnot ovat energiatehokkaita ja tarkkoja.

Viime vuosina anturiteknologioiden nopea kehitys on johtanut merkittävään edistymiseen rakentamisen tehokkuudessa ja rakennuskoneiden automaatioaste on kasvanut suuresti. [7, s.2] Antureiden lukumäärä on kasvanut, koska anturien ja laskentatehon hinta on laskenut mahdollistaen uusia ominaisuuksia, jotka perustuvat anturitiedon hyväksikäyttöön. Suurempien järjestelmien, kuten rakennustyömaiden ohjaus, vaatii tietoa useammilta työkoneilta, joten anturien tietoa ei välttämättä käytetä vain yksittäisen työkoneen ohjauksiin.

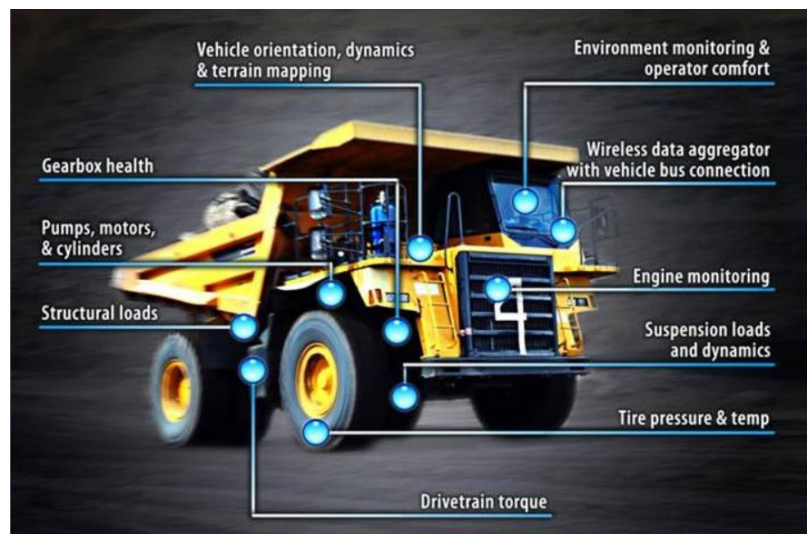
Kehittynyt mittaustekniikka tarjoaa perustan nykyaikaisen liikkuvan työn monimutkaisille ohjausjärjestelmille koneissa. Aivan kuten itse kone, myös mittaustekniikan on oltava vankkaa ja luotettavaa, jotta se kestäisi äärimmäiset käyttöolosuhteet ja korkeat suorituskykyvaatimukset. [5] Tässä kandidaatintyössä tarkastellaan työkoneiden anturointia ja sen merkitystä koneiden tehokkuuden ja turvallisuuden kannalta.

Työn toisessa luvussa tarkastellaan antureita, joita hyödynnetään eri tavoilla työkoneen työnohjauksessa. Kolmannessa luvussa esitellään kunnonvalvonnan seuranta-antureita. Työkoneisiin liittyy aina oleellisesti toiminnan turvallisuus, joka vaatii kuljettajaa tukevia järjestelmiä vaikeisiin työvaiheisiin. Neljännessä luvussa käsitellään kuljettajaa avustavia järjestelmiä ja tutkitaan työkoneiden mahdollista automaatiota automaatiotasolla. Viidennessä luvussa tarkastellaan esimerkkejä työkoneen anturoinnista ja mahdollisia sovelluksia uusilla anturointitekniikoilla.

2. TYÖNOHJAUksen ANTURIT

Anturilla tarkoitetaan laitetta, joka muuntaa mitattavan prosessisuureen arvon siihen verrannolliseksi viestiksi. Viesti on yleensä sähköinen, mutta esimerkiksi impulssiohjauksessa se voi olla pneumaattinen. [13] CAN-väylän (Controller Area Network) käyttö on työkonetyössä yleistä, ja useimmat ohjausjärjestelmät käyttävät CAN-pohjaista tiedonsiirtoa. Väyläpohjaisten järjestelmien etuna on vähentynyt kaapeloinnin tarve. [9]

Anturit mahdollistavat tiedon keräämisen laitteeseen vaikuttavista suureista, kuten asema, kiihtyvyys, voima tai paine. Anturin tiedot toimivat ohjaimen sisääntuloina ja niiden perusteella voidaan säätää esimerkiksi moottorin tehonsyöttöä, jotta moottori toimisi mahdollisimman tehokkaasti. [7] Konetta suunniteltaessa on tärkeää tietää mitä suureita tarvitaan koneen ohjaamiseksi. Antureita valitaan käyttökohteen perusteella. Kuvassa 1 on osoitettu osa maansiirtoauton monitorointitarpeista.



Kuva 1. Anturointikohteita maansiirtoautossa [10]

Työkoneille on erittäin tärkeää, että kone on käytettävissä aina kun sitä tarvitaan. Käyttövalmius määräytyy komponenttien toimintavalmiudesta kyseiseen tehtävään, joka voi olla toiminnallisesti merkityksellinen, käyttöolosuhteista riippuva tai jopa turvallisuuskriittinen. Siksi näiltä komponenteilta vaaditaan äärimmäistä luotettavuutta. [9]

Sisäinen tila anturoinnissa tarkoittaa tilaa, joka on fyysisesti lähellä anturia ja jota anturi voi suoraan havaita. Esimerkiksi lämpötila-anturi voi havaita sisäisen tilan lämpötilan

suoraan sen ollessa asennettu tietyn laitteen sisälle. Toisaalta ulkoinen tila anturoinnissa tarkoittaa tilaa, joka sijaitsee anturin ulkopuolella ja jota anturi ei voi suoraan havaita. Esimerkiksi taulukon 1 ultraäänianturi voi havaita ulkoisen tilan etäisyyden anturista tiettyyn kohteeseen, kuten seinään tai esineeseen, mutta se ei voi havaita suoraan esimerkiksi seinän sisäistä tilaa. On tärkeää määrittää, onko havaittava tila sisäinen vai ulkoinen anturin kannalta, koska tämä vaikuttaa siihen, miten anturi asennetaan ja miten sen keräämää tietoa käytetään. [1], [9]

Taulukko 1. Yleisimpiä jatkuvaa mittauksia suorittavia antureita ja niiden mittaamia suureita, sekä käyttökohteita. [14]

Nimi	Mitattava suure	Tyypillinen käyttökohte
Potentiometri	Resistanssin muutos	Nivelen kiertymän mittaaminen
Induktiivinen liikeanturi	Induktiojännitteen muutos	Kappaleen mittojen tarkastus
Magneettinen lineaarianturi	sini- ja kosinisisignaalien aallonpituus	Robottien liikkeiden mittaus
Pulssianturi	Pulssien määrä ja intensiteetti	Moottorin aseman ja nopeuden mittaus
Resolveri	Jännitteen muutos	Kulma-aseman mittaus
Ultraäänianturi	Äänisignaalin muutos / kulkema matka	Lääketieteelliset kuvaukset
Kiihtyvyydentanturi	Massan liikkeen aiheuttama varaus	Laitteen asennon tunnistaminen
Venymäliuska	Resistanssin muutos	Kappaleiden muodonmuutosten mittaus
Hyrräanturi	Kappaleen liiketilän muutos	Inertianavigointi

Anturia pidetään aktiivisena tai passiivisena riippuen siitä, käyttävätkö ne toimiakseen elektronisen ohjausmoduulin (ECM) syöttämää virtaa. Aktiiviset anturit käyttävät ECM:n syöttämää virtaa toimiakseen, kun taas passiiviset anturit eivät. [1]

2.1 Kytkimet

Kytkimet ovat kaikkein yksinkertaisimpia antureita, koska niissä ei ole vastusta suljetussa asennossa ja ääretön vastus avoimessa asennossa. Kytkimet luokitellaan antureiksi aina, kun ne antavat tietoa elektroniselle ohjausjärjestelmälle. Digitaalinen kaksitila-anturi eli kytkin saa arvon 1 tai 0, kun taas analoginen anturi, joita on lueteltu taulukkoon 1, mittaa jatkuva-aikaisesti suuretta. Tiedot voivat osoittaa fyysisen arvon, kuten auki tai kiinni (esim. jäähdytysnesteen tason anturi tai öljynpainekytkin), tai se voi ilmoittaa päälle ja pois päältä (esim. jarruvalo kytkin). [1, s.397] Taulukossa 2 on kirjattu yleisimpiä kaksitilaisia antureita ja niiden mittaamia suureita, sekä käyttökohteita.

Useimpiin koneautomaatiosovelluksiin riittää tilojen tunnistus. Kappale on paikallaan tai liikkuu, koneen vaara-alueella on henkilö tai ei ole. Tällaisen tilan tunnistus sisältää vain digitaalista eli kaksitilaista viestiä, jonka tunnistamiseen riittävät raja- ja lähestymiskytkimet. Viesti on kosketintietoa, ts. kytkin on auki tai kiinni. [13]

Taulukko 2. Yleisimpiä kaksitilaisia antureita ja niiden mittaamia suureita, sekä käyttökohteita [14]

Nimi	Mitattava suure	Tyypillinen käyttökohde
Mekaaninen rajakytkin	Kosketuksen aiheuttama voima	Turvallisuussovellukset
Induktiivinen lähestymiskytkin	Magneettikentän muutos	Työstökoneissa terän aseman tunnistamiseen
Kapasitiivinen lähestymiskytkin	Sähkökentän muutos	Nesteen ilmaisu säiliöissä
Reed-kytkin	Magneettikentän muutos	Sylinteritoimilaitteiden ääriasennot
Hall-anturi	Magneettikentän muutos	Tietokoneen näppäimistö
Optinen lähestymiskytkin	Valon kulkema matka	Tuotantolinjalla kappaleen tunnistaminen
Painekytkin	Paineen muutos	Laitteen käyttöpaineen valvonta
Lämpötilakytkin	Lämpölaajenemisen aiheuttama liike	Lämpötilahälytykset
Virtauskytkin	Voiman tai lämpötilan muutos	Jäähdytysveden virtauksen tarkkailu

Asento- eli rajakytkimet ovat koneautomaation vanhimpia komponentteja. Rajakytkinten käyttö turvarajoina on edelleen laajaa. Rajakytkinten haittoina pidetään epätarkkuutta,

hitautta ja suurta kokoa. Etuja ovat edullinen hinta ja se, että ne kestävät suuriakin virtoja. [13, s.192].

Lähestymiskytkin eroaa mekaanisesta rajakytkimestä siten, että se toimii elektronisesti ilman kosketinta. Lähestymiskytkinten huonona puolena tulee esiin niiden pieni havainnoimisalue. Induktiiviset lähestymiskytkimet reagoivat vain metalliin. Optiset ja kapasitiiviset lähestymiskytkimet ovat alttiita likaisille ja pölyisille olosuhteille, mikä on tyypillistä työkonoiden käyttöympäristölle. Lähestymiskytkimiä käytetään esimerkiksi peruutustilanteissa, jolloin tarvitaan tietoa lähestyvistä kohteista. [13]

Ultraäänianturia käytetään samaan tapaan kuin optista lähestymiskytkintä. Toisin kuin lähestymiskytkimillä, ultraääniantureilla saadaan varmaa tietoa tunnistettavan kohteen väristä, rakenteesta ja materiaalista riippumatta. [13]

2.2 Lineaariliike

Työkoneissa lineaarisen liikkeen anturit mittaavat usein männän liikettä hydraulisyntereissä, jotta saadaan esimerkiksi kaivinkoneissa puomin sylinterin lineaarinen asema tiedoksi ohjausjärjestelmään. Lineaarisen aseman anturit ns. iskuanturit valitaan mittausalueen perusteella eli usein vaatii sylinterin iskupituuden verran mittausaluetta. [7]

Lineaarisen aseman anturit mittaavat pituutta kohteen ja kiintopisteen välillä kuin myös aseman muutosta. Anturit saavat mittauksen aikaan muuntamalla siirtymän sähköiseksi lähdeksi. [15] Lineaarianturit ja pyörimisliikeanturit jaotellaan analogisiin ja digitaalisiin antureihin. Analoginen anturi antaa lähtöjännitteen, joka on verrannollinen siirtymään. Digitaaliset lineaariliikkeen anturit ovat joko pulssi- tai koodiantureita. [13, s.200]

Lineaarisen liikkeen anturit käyttävät erilaisia tekniikoita pituuden muutoksen muuntamiseksi jännitesignaalksi. Yleinen lähestymistapa pituuden muuntaminen jännitteeksi on käyttää vaihtelevan vastuksen muuttamista lineaarista potentiometriä. Potentiometrin etu on, että se on yleensä helppo kiinnittää sylinteriin. Potentiometri on analoginen anturi, jonka kosketin liikkuu resistiivisen materiaalin yli. Muuttuva resistanssi määrittää signaalijännitteen, josta voidaan päätellä lineaarinen asema. [1]

Toinen lineaaristen antureiden muunnelma HTS-järjestelmille on älykäs sylinteri. Näissä sylintereissä asentoanturi sijaitsee hydraulisynterin sisällä. [1] Suurien volyymin ulkoinen lineaarinen anturi, kun se on asennettu hydraulisiin sylintereihin, ei pysty

täyttämään vaatimuksia, jotka koskevat nykyaikaisia rakennuskoneita, joten sulautetuista miniatyyrisistä iskuantureista on tullut suosittuja ja laajalti käytettyjä korvaavia laitteita. [7]

Muihin lineaarisiin anturitekniikoihin verrattuna, magnetrostriktiivisestä tekniikasta on tullut ensisijainen tekniikka tarkkaan hydraulisyylintereiden käyttöön. [7] Magnetrostriktiivinen anturi perustuu magnetrostriktiiviseen ilmiöön. Magnetrostriktiivinen anturi voi tuottaa ja havaita ajallisesti vaihtelevia jännityksiä tai venymiä ferromagneettisissa materiaaleissa. Kun magneettikenttä vaikuttaa ferromagneettiseen materiaaliin, sen pituus muuttuu, ja tämä pituuden muutos voidaan mitata anturin toisessa päässä olevalla herkkäliikkeisellä anturilla, kuten esimerkiksi kapasitiivisella tai resistiivisellä anturilla. [7]

Toinen korkean tarkkuuden lineaarinen liikeanturi on mikroaaltosiirtymäanturi, joka koostuu ultraääniaaltojohtimesta, joka herätetään jaksoittain virtapulsseilla. Kun magneettikenttä vuorovaikuttaa saadun paikan magneettikentän kanssa, syntyy mekaaninen vääntöaalto, joka etenee taaksepäin. Etenemisajan muuntaminen mahdollistaa tarkan kohdepaikan määrittämisen. Tutkimukset osoittavat, että mikroaaltosiirtymäanturi täyttää teollisuuden vaatimukset tarkkuuden, kestävyuden, toteutettavuuden ja kustannustehokkuuden osalta. [7]

2.3 Pyörimisliike

Pyörimisliikeanturit mahdollistavat tarkat kulmamittaukset suoraan ja reaaliajassa, mikä on hyödyllistä koneen ohjauksen kannalta. Pyörimisliikeanturit muuttavat mekaaniset kiertymän asennot sähköisiksi signaaleiksi. [7] Kulman ja pyörimissuunnan muutosten havaitsemiseen tarkoitettuja antureita kutsutaan myös inkrementaalikoodereiksi tai kiertokoodereiksi. Niitä käytetään kulman, kulmanopeuden ja kulmakihtyvyyden mittaamiseen esimerkiksi työkoneiden puomien nivelissä. Anturit voivat olla absoluuttisia tai inkrementaalisia. Absoluuttisen kooderin ulostulo osoittaa akselin reaaliaikaisen aseman. Inkrementaalikooderi eli pulssianturi antaa tiedon liikkeestä, mikä prosessoidaan tietokoneella laskurin avulla. [13]

Pulssiantureita on saatavilla lineaarisina ja kiertyvinä. Se antaa tiedon aina edellisen lukukohdan perusteella kappaleen lineaarisesta tai kiertyvästä liikkeestä. Elektroninen laskuri, ohjelmoitava logiikka ja mikrotietokone vaaditaan absoluuttiaseman määrittämistä varten. Optiset pulssianturit toimivat pääpiirteisesti valolähteen, valokennon ja niiden väliin sijoitetun hilakiekkon avulla. Hilakiekossa on määräväleihin valoa läpäiseviä ja läpäisemättömiä sektoreita. Sektoreiden lukumäärän mukaan kiertymää voidaan mitata

eri tarkkuuksilla. Pulssiantureilla järjestelmään voi aiheutua pysyvä virhe, jos jokin pulsseista jää laskematta. [13]

Pulssiantureiden tapaan myös koodiantureita on saatavilla lineaarisina koodiviivaimina ja kiertyvinä antureina koodikiekkoina. Koodianturit ovat absoluuttisia antureita, jotka tuntevat nollakohtansa. Etuna koodiantureissa on, että ne eivät tarvitse erillistä laskuria nollakohtan määrittämiseen. Koodianturin kiertymän mittaamiseen käytetään koodikiekkoa, johon on merkitty ruudut koodin mukaisesti. Kun kiekko pyörii, valokennot tunnistavat ruutujen sijainnin ja antavat absoluuttista kiertymää vastaavan digitaalisen sanan, jonka tarkkuus riippuu bittien määrästä anturissa. [13]

Kaksijohtimisia muuttuvan reluktanssin antureita käytetään laajalti pyörimisnopeuden mittaukseen. Yleisimpiä sovelluskohteita ovat pyörän nopeuden, koneen nopeuden, moottorin nopeuden sekä nokka-akselin ja kampiakselin sijaintien tunnistus. Moottorin sytytysjärjestyksen ja ruiskutuksen ajankohdan määrittämiseksi käytetään nokka- ja kampiakselin sijaintiantureiden lähettämiä signaaleja, jotka mahdollistavat tarkat laskelmat moottorin asennosta. Nokka-akselin hammastetussa rataspyörässä olevat kohoumat tuottavat aaltomaisia signaaleja jokaisen sylinterin yläkuolokohdalle. Kun anturin tuottama aaltomuoto piirretään ajan suhteen, voidaan tarkasti laskea moottorin nopeus ja kampiakselin kulmakierrokset. [1]

Kuten muuttuvan reluktanssin antureita, myös Hall-antureita käytetään yleisesti akselin pyörimisnopeuden mittaamiseen. Vaikka ne ovat monimutkaisia ja kalliita valmistaa, Hall-antureiden hyvänä puolena on se, että niillä pystytään havaitsemaan jopa 100 000 pulssia sekunnissa. [13, s.199] Hall-anturit muodostavat digitaalisen neliöaaltomuotoisen signaalin, jonka voimakkuus on suuri pienillä pyörimisnopeuksilla. Digitaalisen signaalin kestävyys ja tarkkuus ovat eduksi, kun tarvitaan tarkempaa ruiskutustapahtuman ajoitusta, minkä vuoksi useimmissa moottoreissa käytetään nykyään Hall-antureita. [1, s.406]

2.4 Laseranturit

Laseranturit ovat yleistyneet vaihtoehtona lineaarisille ja pyöriville liikkeen antureille, sillä ne mahdollistavat mittaukset ilman kontaktia. Laseranturilla voidaan mitata monia eri suureita, kuten sijaintia, siirtymää, dimensioita, pintaprofilia, muodonmuutoksia ja värähtelyjä. Laserilla voidaan myös mitata suuria pituuksia ja kulmia, mutta mittausalueet ovat rajalliset. Lisäksi laserantureilla on mahdollista mitata niin nesteiden kuin kiinteämmän lastinkin määrää. On kuitenkin tärkeää huomata, että laseranturit voivat olla herkkiä häiriöille haastavissa olosuhteissa. [13]

Laserantureiden käyttö on yleisintä pienten siirtymien havainnoinnissa. Tarkkuutta vaativat paikoitukset ja muodon tunnistukset ovat laserantureiden tyypillisiä käyttökohteita. Laserantureiden käyttö lisääntyy turvatekniikassa kaiken aikaa, mutta niiden käyttöä rajoittavat silmiin heijastuvan lasersäteilyn haitalliset vaikutukset. [13]

Tutkan kanssa yleisesti käytetty uusi anturitekniikka on nimeltään lidar, joka on lyhenne sanoista light detection and ranging. Lidar hyödyntää pulssitettuja lasersäteitä etäisyyden mittaukseen, toisin kuin perinteiset radioaaltoihin perustuvat menetelmät. Lidar käyttää ultraviolettia, näkyvää tai lähi-infrapunaista valoa ympäristön skannaamiseen, mikä mahdollistaa monenlaisten materiaalien ja esineiden havaitsemisen, kuten metallien, kivien, sateen, kemiallisten yhdisteiden, aerosolien ja pilvien. Anturin keräämästä datasta tuotetaan 3D-kuvia, jotka voidaan yhdistää muiden antureiden, kuten kameroiden ja GPS:n, tuottamaan korkean resoluution kuvia. Näitä kuvia voidaan käyttää koneen navigoinnissa ja syöttötietona mihin tahansa automatisoituun toimintaan, koska ne sisältävät valtavan määrän tietoa ympäristöstä. [1, s.514]

2.5 Kameratekniikassa

Koneen havaitsemisjärjestelmän on kyettävä tunnistamaan kohteet, arvioimaan niiden nopeus ja suunta, ja välttämään sekä väärän negatiivisen havaitsemisen ongelma (jossa kohde jää huomaamatta) että väärän positiivisen havaitsemisen ongelma (jossa havaitaan olemattomia haamukohteita). Tämän vuoksi on suositeltavaa käyttää useampaa kuin yhtä objektin havaitsemisjärjestelmää. Kameratekniikat tarjoavat hyvän menetelmän tarkistaa tai validoida anturitietoja ristikkäin, ja ovat myös suhteellisen edullisia. Kameratekniikat kykenevät näkemään värejä, mikä auttaa tarkassa kohteiden luokittelussa ja tunnistamisessa, toisin kuin lidar, joka näkee vain harmaasävykuvia.

Kamerat pystyvät havaitsemaan ajoneuvojen vilkut, jarruvalot ja muut valot. Etäisyyden mittaamiseksi tarvitaan kaksi kameraa tai stereokamerajärjestelmä. [1, s.516]

Esteiden havaitsemissovelluksissa käytetään usein etäisyysantureita. Vaikka ne ovat yleisiä raskaiden koneiden käytössä, ne eivät ole käytännöllisiä, sillä raskaat koneet työskentelevät usein lähellä toisiaan ja vuorovaikuttavat erilaisten esteiden kanssa. Kamerat ovat erinomaisia havaintoantureita, sillä verrattuna muihin havaintoantureihin, kuten GPS:ään tai etäisyysantureihin kuten lidariin, ne tarjoavat eniten tietoa ja monipuolisuutta. Kamerat pystyvät tarjoamaan korkean tason kontekstuaalista tietoa sekä matalan tason geometrista tietoa havainnoitavasta kohteesta nopeasti ja edullisesti. Kamerat ovat passiivisia antureita, jotka kuluttavat vain vähän energiaa ja ovat helposti saatavilla pienikokoisina. [3]

Kameratekniikka kohtaa monia haasteita, joista yksi on ohjelmistojen käyttävän kameran tuottaman tiedon käsittelyn vaikeus. Kamerateknologian suurin ongelma on sen heikko luotettavuus huonoissa valaistusolosuhteissa. [3] Valaistuksen muutokset, kuten kohteiden siirtyminen varjoon, voivat myös aiheuttaa häiriöitä kameran toimintaan. Tämä tarkoittaa sitä, että lisävalaistuksen käyttö olisi suositeltavaa varmistamaan, että kamerat toimivat optimaalisesti eivätkä pelkää luota heijastuneen valonlähteen varaan. [1 s.516] Toistaiseksi useimmat näköjärjestelmät, joita käytetään rakennuskoneiden turvallisuuden edistämiseksi eivät ole integroituja tunnistustoimintoja vaan niitä käytetään usein tutkan kanssa apuna. [3]

2.6 Radiotaajuusanturit

Radar (Radio Detection And Ranging), suomenkielessä tutka, käyttää radiotaajuuksia etäisyyksien ja kohteiden sijaintien mittaamiseen. Radarjärjestelmä koostuu yleensä lähettimestä, vastaanottimesta, antennista ja tietokoneesta, joka käsittelee vastaanotettuja signaaleja. Radarjärjestelmä lähettää radiotaajuisia signaaleja, jotka heijastuvat takaisin erilaisista kohteista. Näiden heijastuneiden signaalien perusteella radarjärjestelmä pystyy määrittämään kohteen etäisyyden, nopeuden ja sijainnin. Radarjärjestelmiä käytetään laajasti monissa sovelluksissa navigoinnissa ja turvallisuusjärjestelmissä, kuten nopeusvalvonnassa ja liikennetutkassa. Radarin avulla voidaan havaita ja seurata kohteita myös huonossa säässä tai pimeässä, mikä tekee siitä hyödyllisen työkalun käyttöympäristössä.

RFID (Radio Frequency Identification) on tekniikka, joka mahdollistaa etätunnistuksen radiotaajuuksien avulla. RFID-järjestelmä koostuu RFID-tagista ja RFID-lukijasta. RFID:n

etuna on sen kyky lukea tagit jopa suurelta etäisyydeltä ilman suoraa näköyhteyttä, mikä tekee siitä kätevän monissa käyttötapauksissa. RFID-tagissa on pieni mikrosiru, joka sisältää tietoja, ja antenni, joka lähettää ja vastaanottaa radiosignaaleja. RFID-lukija lähettää radiosignaaleja, jotka RFID-tagin antenni vastaanottaa, minkä jälkeen tagi lähettää takaisin tietonsa lukijalle. Koneissa käytettävät turvajärjestelmät voivat havaita työntekijän vaatteisiin kiinnitetyt RFID-tunnisteet, ja niiden avulla kone voidaan varoittaa työntekijän läheisyydestä. [1]

3. KUNNONVALVONNAN ANTURIT

Monimutkainen rakenne raskaiden liikkuvien työkoneiden kohdalla aiheuttaa erilaisia vikojen lähteitä, mikä korostaa tarvetta CBM-järjestelmille (Condition-Based Monitoring) useiden anturien avulla, jotta koneiden kuntoa voidaan diagnosoida tarkasti. Rakennuskoneiden tärkeimmät osat ovat HTS-järjestelmät (hydrauliset voimansiirtojärjestelmät) ja polttomoottorit. Tämä luku keskittyy lähinnä seuranta-antureihin, jotka liittyvät HTS:iin ja ICE:in, ja niiden teknologiaan. [1], [7]

Toiminnan aikaiset anturit ovat antureita, jotka keräävät tietoa laitteen tai järjestelmän toiminnasta sen käytön aikana. Ne voivat mitata esimerkiksi lämpötilaa, kosteutta, painetta, etäisyyttä, kiihtyvyyttä, nopeutta tai muita fysikaalisia suureita, jotka kertovat laitteen tai järjestelmän tilasta. Esimerkiksi auton moottorin toiminnan aikaiset anturit voivat mitata moottorin lämpötilaa, öljynpaineita, ilmamassaa ja muita suureita, jotta moottorin suorituskykyä voidaan valvoa ja optimoida. [1], [7]

Koneiden hankintakustannukset ovat korkeat, joten koneiden kunnan ylläpito vaikuttaa liiketoiminnan tuottavuuteen suuresti. Täten korkea hintaisia koneita halutaan pitää käyttökelpoisena pitkään. Pitkä käyttöikä edellyttää oikea-aikaisia huoltoja ja koneen huolellista käyttöä. Silti satunnaisia vikoja voi syntyä koneessa, jotka vaativat korjauksia. Työkoneiden kunnossapidosta anturit tarjoavat runsaasti tietoa ja auttavat työntekijöitä tunnistamaan tulevat huoltotarpeet etukäteen. [7]

3.1 Paineanturit

Liikkuvissa työkoneissa keskeisiä toimintoja ohjataan hydraulisilla, pneumaattisilla ja hydropneumaattisilla järjestelmillä. Yhteistä kaikille näille järjestelmille on paine. Mittaus on ratkaiseva tekijä, kun kuvataan niiden toimintaa ja kuormitettua tilaa. [5] Paineanturit välittävät tietoa koneen osajärjestelmistä esimerkiksi hydraulijärjestelmän käyttöpaineesta, jolloin voidaan päätellä anturin datasta, onko järjestelmässä vuotoja. Vuodot ovat yleisiä vikoja HTS-järjestelmissä ja HTS:n sisäistä vuotoa on yleensä vaikea havaita, koska antureita ei ole helppo asentaa vuotokohtiin. Vuodot vaikuttavat suuresti HTS-järjestelmän hyötysuhteeseen ja suorituskykyyn. [7]

Imusarjan paine-, ilmanpaine-, öljy- ja polttoainepainemittauksissa käytetään kahta erilaista anturitekniikkaa: muuttuvan kapasitanssin antureita ja venymäliuska-antureita.

Nämä aktiiviset anturit tuottavat analogisia lähtösignaaleja. [1, s.403] Venymäliuska-anturit ovat vastuksia, joiden resistanssi muuttuu venytettäessä tai puristettaessa niitä. Liuskat kiinnitetään mitattavaan kohteeseen ja kytketään Wheatstonen siltakytkennällä. Venymäliuskan elementtinä käytetään vastuslankaa, metallikalvoa tai puolijohdetta. [13, s.205]

Muuttuvan kapasitanssin paineanturi on aktiivinen anturi, joka pystyy mittaamaan sekä dynaamista että staattista painetta. Vaikka ne ovat valmistukseltaan kalliimpia kuin pietsoresistiiviset- tai venymäliuska-anturit, muuttuvan kapasitanssin paineanturit tarjoavat suuremman painevaihteluvälin ja tarkempia mittauksia. Koska ne ovat aktiivisia antureita, niiden lähettämät piirisiinaalit ECU:lle ovat vähemmän alttiita jännitehäviölle ja sähkömagneettisille häiriöille. Muuttuvan kapasitanssin anturit käyttävät kahden levyn välistä etäisyyttä tai dielektristä lujuutta anturin sisällä paineen mittaamiseen. [1, s.404]

Pietsoresistiiviset anturit perustuvat tiettyjen mineraalitekiteiden kykyyn tuottaa jännitettä tai muuttaa vastusta puristettaessa. Sen sijaan, että käytettäisiin venymäliuskaajohtorakennetta, nämä antureissa on pietsoresistiivinen kide, joka on järjestetty Wheatstonen sillan kanssa mittaamaan pietsoresistiivisen kiteen resistanssin muutosta. Nämä anturit tuottavat analogisia sähköisiä signaaleja. Näiden antureiden etuna on niiden kyky mitata erittäin korkeita paineita, joita esiintyy HTS-järjestelmissä. Kiteen kestävyys vuoksi pietsoresistiiviset anturit soveltuvat paremmin tärinän mittaamiseen ja dynaamisten tai jatkuvien paineenmuutoksien mittaukseen. [1]

3.2 Voitelu

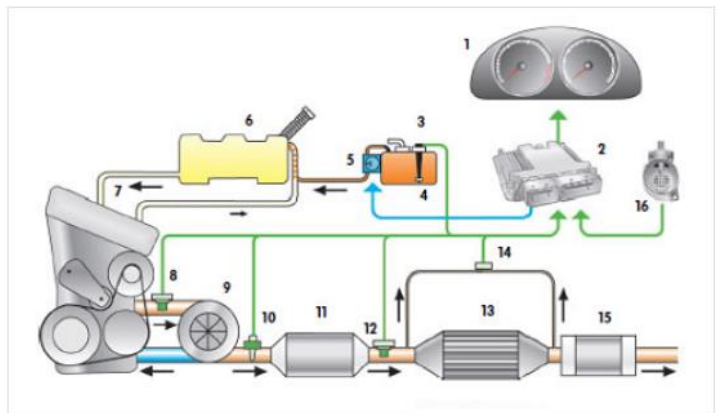
Yhtenä tärkeimpänä kunnonvalvonnan mittauksista on öljyn laadun tarkastelu ja mahdollisten vuotojen aistiminen. Hydraulisen ja mekaanisten voimansiirron viat johtuvat usein öljyn epäpuhtauksista. Öljyn epäpuhtaudet aiheuttavat noin 70 % HTS-järjestelmien häiriöistä. Öljyt voitelevat laitteen metalliosia eli vähentävät osien välistä kitkaa koneen hyötysuhteen parantamiseksi ja osien säilymiseksi. Kitkan vähentäminen myös edesauttaa pitämään oikean käyttölämpötilan ja täten estää osien lämpölaajenemisen ja juuttumisen. Silti metallisista osista vapautuu epäpuhtauksia öljyyn niiden hankautuessa. [7, s.4]

3.3 Suorituskyky ja päästöt

Moottorin ja voimansiirron kehittämisen kanssa keinona polttoainekulutuksen vähentämiseen on työkoneneen käyttäminen energiatehokkaasti. Tähän kuuluvat esimerkiksi koneen ajaminen ja työn suorittaminen moottorin kannalta optimaalisella kierrosluvulla tai esimerkiksi joutokäynnin vähentäminen. Älykkyyden lisääminen työkoneneiden ohjausjärjestelmiin mahdollistaa toiminnot, jota opastavat kuljettajaa ajamaan taloudellisesti. Automatisoinnin ja älykkyyden edelleen lisääntyessä energiatehokkuutta voidaan parantaa työkoneneen operoinnin optimoinnilla, jolloin koneella tehtävää työtä pystytään ennakoimaan koneella ja suorittamaan se mahdollisimman energiatehokkaasti. [6]

Päästöjen seuranta on nykypäivänä hyvin tarkkaa. Työkoneissa käytetään usein isoja dieselmoottoreita, joiden päästöt ilman käsittelyä ovat suuret. [7] Katalysaattori ja hiukkassuodatin ovat tärkeimpiä osia päästöjen käsittelyyn. Katalysaattorin toimintaa voidaan tarkastella lamda-anturilla. [1] Kuvassa 2 on esitelty yksinkertainen malli polttoaineen, ilman ja pakokaasun liikkeestä ja seurannasta dieselkoneessa.

1. Dashboard Control unit.
2. Engine Control Unit.
3. Additive Tank.
4. Additive level Sensor.
5. Additive Pump.
6. Fuel Tank.
7. Diesel engine.
8. Turbo compressor Temperature Sensor.
9. Turbo compressor.
10. Lambda Sensor.
11. Oxidation Catalytic Converter.
12. Particulate Filter Temperature Sensor.
13. Particulate Filter.
14. Exhaust Gas Pressure Sensor 1.
15. Muffler.
16. Mass Airflow Sensor.



Kuva 2. Pakokaasun puhdistussysteemi [16]

MAF-anturi (Mass Airflow) on laite, joka mittaa moottorin imusarjaan tulevan ilman painoa. Sen ainutlaatuinen rakenne antaa myös tietoja ilman tiheydestä ja jossain määrin myös höyrypitoisuudesta. MAF-anturit ovat yleisiä moottoreissa, jotka toimivat stoikiometrisellä ilma-polttoainesuhteella. Ylimääräisellä ilmansuhteella toimivissa

dieselmootoreissa MAF-anturia käytetään kuitenkin osana raskaan kaluston ajoneuvon diagnostiikkakomponenttina EGR-järjestelmän valvonnassa. [1]

Modernien työkoneiden on päästävä standardien mukaiseen NOx-luokkaan. NOx-anturit ovat laitteita, joita käytetään ajoneuvojen pakokaasujärjestelmissä. "NOx" tarkoittaa typenoksidien yhdisteitä, joita muodostuu moottorin polttoaineen palamisprosessissa. Nämä anturit mittaavat moottorista ja pakoputkesta tulevia NOx-päästöjä. NOx-anturit havaitsevat pakokaasujen NOx-pitoisuuden ja lähettävät tämän tiedon ajoneuvon moottorinohjausjärjestelmälle, joka sitten säätää polttoaineen ja ilman seosta optimoimaan palamisprosessin ja vähentämään NOx-päästöjä. Kun NOx-kaasu kulkee anturin yli, se reagoi elektrodin kanssa aiheuttaen sähkökemiallisen reaktion, joka muuttaa sähköisen ominaisuuden, kuten virta tai jännite. Tämä sähköinen muutos voidaan mitata ja antaa signaalin NOx-pitoisuudesta.

3.4 Systemin tila

Rakennuskoneita voidaan pitää monimutkaisena epälineaarisen järjestelmänä, joka sisältää suuren määrän järjestelmämuuttujia. Se voidaan nämä muuttujatiedot tarkasti mitata ja saada, liittyy työkoneen tilan oikeaan arviointiin. Mallipohjainen, sääntöihin perustuvien ja tapauskohtaisten diagnoosimenetelmien on perustuttava riittäviin ja tarkkoihin anturitietoihin. [7]

Ontologiaa ja tapauspohjaista päättelyä (CBR) yhdistämällä vikadiagnoosi toteutetaan tehokkaasti ja tarkasti seuraavien neljän vaiheen avulla: ominaispiirteet valinta, tapausten haku, tapausten täsmäytys ja tapausten päivitys. Tiedonhankintakerros on tämän järjestelmän tärkein osa. Suuri määrä anturitietoa kerätään tietyin aikavälein elektroniseen ohjausyksikköön (ECU), jotka kommunikoivat keskenään CAN-väylän välityksellä. [7]

4. KULJETTAJAA AVUSTAVAT JÄRJESTELMÄT

Teknologinen kehitys 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. [8] Yleisesti kuljettajan apujärjestelmät voidaan jakaa kahteen eri osa-alueeseen; käsittelyavustinjärjestelmiin ja prosessia avustaviin järjestelmiin. Käsittelyavustinjärjestelmissä keskitytään ajoneuvon liikkeen hallintaan, kuten ajonvakautukseen, jota käytetään myös maantieajoneuvoissa. Prosessiapujärjestelmissä sen sijaan keskitytään automaatoratkaisuihin, joilla tuetaan kuljettajaa työtehtävien suorittamisessa. [12]

4.1 Jalankulkijoiden havaitsemisjärjestelmät työkoneissa

Autoteollisuudessa kuljettajaa avustavia DSS- (Driver Support Systems) ja ADAS-järjestelmien (Advanced Driver Assistance Systems) on kehitetty noin kolme vuosikymmentä. Autoliikenteessä kuljettajaa avustavat järjestelmät ovat luonnollisesti pääosin kohdistunut liikenne- ja käyttäjäturvallisuuteen. Sen sijaan työkoneissa viime vuosikymmenen ajan opastavien järjestelmien käyttö on vasta yleistymässä. [8]

Jalankulkijoiden havaitsemisjärjestelmät (PDS-järjestelmät) ovat ADAS-järjestelmien erityinen tyyppi. PDS-järjestelmä pystyy havaitsemaan sekä paikallaan olevat että liikkuvat ihmiset ajoneuvon läheisyydessä, jotta se voi antaa tietoa kuljettajalle. Joissakin tapauksissa se voi tarvittaessa suorittaa jarrutustoimia itsenäisesti. PDS-järjestelmät voivat perustua joko aktiivisiin tai passiivisiin antureihin, ja älykkäiden ajoneuvojen tutkimuksessa on tutkittu ja vertailtu erilaisia anturityyppejä, kuten lidar-antureita, tutkia, RFID-antureita ja kameroita, joko erikseen tai yhdessä. Jokaisella anturityypillä on omat etunsa ja haittansa. Esimerkiksi aktiivisilla etäisyysantureilla, kuten lidarilla ja tutkalla, on erittäin tarkka etäisyysmittauskyky reaaliajassa, kun taas kamerat tarjoavat erittäin korkean resoluution ja lisäksi muita hyödyllisiä tietoja, kuten tekstuuria, väriä ja syvyyttä. [3]

4.2 Automaatiotasot

Kilpeläinen et.l. VTT:n (Teknologian tutkimuskeskus) tutkimusraportissa kertovat, että työkoneet voidaan käyttötarkoituksensa mukaan jakaa karkeasti yleiskäyttöisiin koneisiin ja nimenomaan tiettyyn tarkoitukseen soveltuviin erikoiskoneisiin. Yhteen työvaiheeseen kehitetyt erikoiskoneet soveltuvat usein parhaiten automatisoitaviksi. Yleiskäyttöisissä koneissa kuljettajaa avustavat ohjausjärjestelmät ovat usein lisävaruste, joka tehostaa koneen käyttöä tietyssä työvaiheessa. [9, s.16] Koneen automaation luonnetta kuvataan automaatiotasolla.

Automaatiotasot kuvaavat autonomisten ajoneuvojen kykyä suorittaa ajo- ja työtehtäviä ilman kuljettajan aktiivista ohjausta tai osallistumista. Automaatiotasot ovat tärkeitä, sillä ne auttavat ymmärtämään autonomisten koneiden teknisiä kykyjä ja rajoituksia, ja auttavat myös kehittäjiä ja sääntelyviranomaisia asettamaan standardeja autonomisten työkoneiden suunnittelulle ja testaukselle. Kilpeläinen et.l. VTT:n tutkimusraportissa jaottelevat koneiden automaatiojärjestelmät automaation asteen perusteella viiteen päätasoon. Taulukossa 3 on eritelty tasot nousemaan luvusta 1 automaation luonteen mukaan. [9]

Taulukko 3. Automaatioasteet [9]

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

Ensimmäinen ja toinen taso liittyvät kuljettajan työn avustamiseen. Tasossa 1 kuljettajan työtä tukee esimerkiksi merkkivalot ja mittarit, jotka edellyttävät erilaisia koneeseen liitettävät mittausjärjestelmiä. Mittausjärjestelmät voivat kertoa kuljettajalle esimerkiksi harvesterikoneessa leikattavan puun halkaisijan. Toisella tasolla koordinoitulla ohjauksella voidaan avustaa kuljettajaa ohjaamaan suoraan yhtä koneen työkalun liikettä monimutkaisessa järjestelmässä. [9] Harvesterikoneen harvesteripään kärkeä ohjaus on hyvä esimerkki koordinoitusta ohjauksesta. Luvussa 5.2 esitellään John Deere –

yrittäjien kehittämä IBC-kärkiohjausjärjestelmä, joka on metsäkonetalouden uusimpia kuljettajaa avustavien järjestelmien innovaatioita.

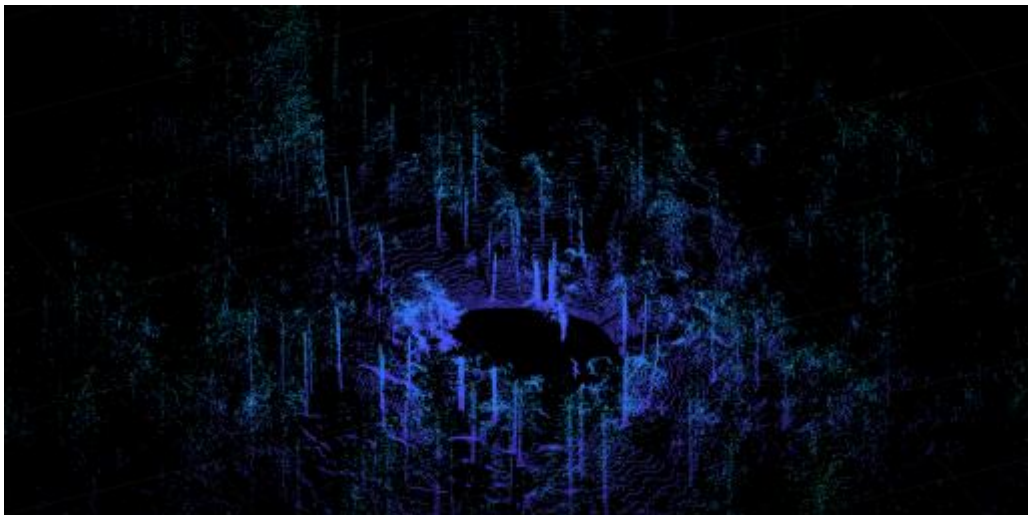
Taulukon 3 tasot kolmesta viiteen ovat automatisoituja tasoja. Osittain automatisoiduissa järjestelmissä osa työkoneen suorittamista työvaiheista on automatisoitu. Kuljettaja huolehtii manuaalisesti muusta koneen toiminnasta. Neljännellä tasolla kaikki työkoneen työliikkeet ovat automatisoituja, jolloin kuljettaja voi keskittyä yksinomaan työkoneen ajamiseen ja automaatiojärjestelmän valvomiseen normaalin toiminnan aikana. Autonominen järjestelmä ei vaadi kuljettajaa vaan sen avulla työkone tekee sille asetetun työvaiheen täysin itsenäisesti muuttuvissakin olosuhteissa. [9]

5. ESIMERKKEJÄ TYÖKONEEN ANTUROINNISTA

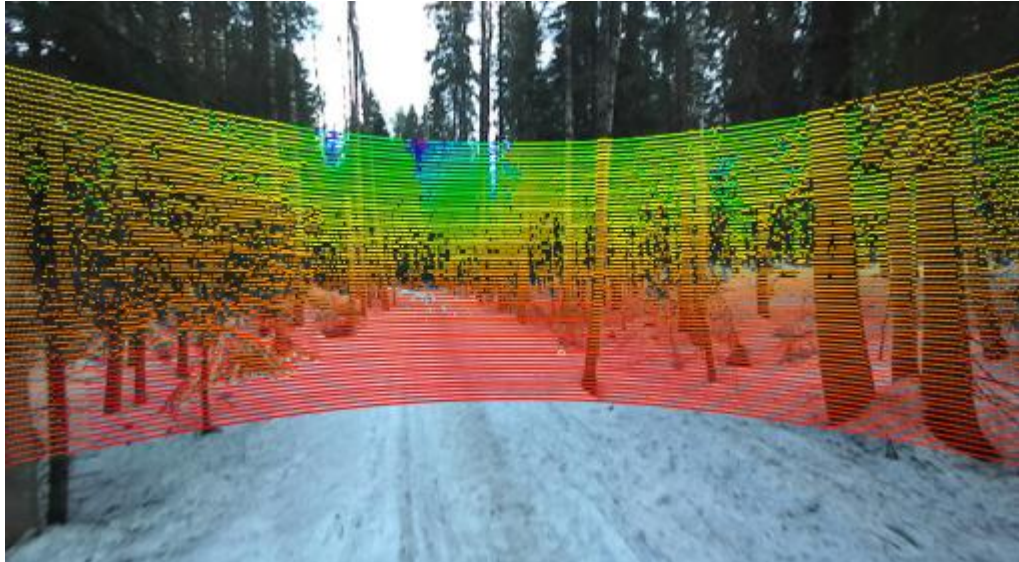
5.1 Stereokamera

Kahden kameran käyttö mahdollistaa syvyyden mittaamisen ja stereonäkymän luomisen parallaxin periaatteen avulla. Tämän periaatteen mukaan kahden eri kamerakulman välillä havaittu kohteen sijainnin muutos mahdollistaa tarkan etäisyyden laskemisen kohteesta kameroihin. [1]

Kamerat eivät tarjoa vain kuvia vaan myös ohjelmistoa, joka mahdollistaa kahdenlaisen analyysin suorittamisen. Ensimmäinen näistä on konenäkö, joka käyttää yksinkertaista digitaalisten kuvien analyysiä tunnistaa ominaisuuksia, reunoja ja havaitakseen liikettä. Konenäkö perustuu kahteen kameraan tai binokulaarisiin kuviin etäisyyden arvioimiseksi. Toinen analyysi, jonka binokulaarinen kameranäkemyks tarjoaa, on tietokonenäkö. Tietokonenäkö on haastavampi, sillä se pyrkii tunnistamaan ja tulkitaan kohteiden merkitystä. Esimerkiksi ihmisen ja puun erottaminen toisistaan on vaikeampaa kuin vain kahden erilaisen kohteen paikantaminen. [1]



Kuva 3. Kerätyn datan pistepilvi [2]



Kuva 4. Pistepilven projektio [2]

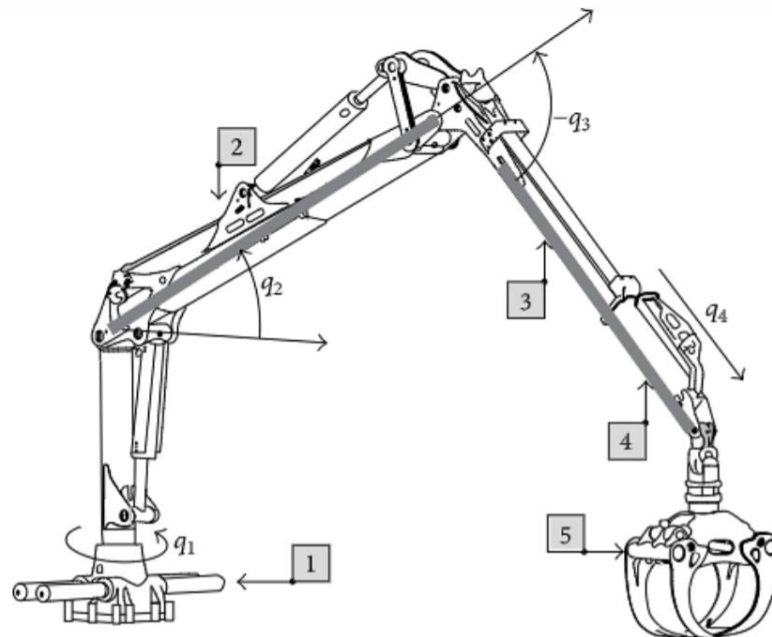
Lempiö et al. konferenssijulkaisussaan tutkivat stereokameran ja lidar anturin yhteistyötä. Työssään he keräävät tietoaaineistoa metsän pinnanmuodoista ja puista. Lidarin (Ouster OS1) ja stereokameran (Zed2) avulla saadaan muodostettua syvyyskuva ympäristöstä, joka on hyödyllistä työympäristön tunnistamiseksi ja automatisoiduissa työkoneissa koneen ohjauksessa. Valtavasta datamäärästä saadaan muodostettua 3D pistepilvi (kuva 3) ja se voidaan myös projektoida 2D kuvaksi (kuva 4). Reaaliajassa datan läpikäyminen on vaikeaa, mutta tällaisella tietoaaineistolla voidaan kouluttaa koneoppimismalleja, jotka tunnistaisivat ympäristöstä asioita. Tämä on hyödyllistä metsäkoneiden ja muiden automatisoitujen liikkuvien työkoneiden kehitykselle. [2]

5.2 Kärkiohjaus

Kärkiohjaus mahdollistaa tehokkaamman työn sillä kuljettajan tarvitsee vain ohjata yhtä osaa monimutkaisesta puomista. John Deere on kehittänyt IBC (Intelligent Boom Control) -järjestelmän. Zemánek, T. & Fiřo, P. kertovat artikkelissaan, että IBC-järjestelmän käytön ansiosta kouluttamattomat operaattorit pystyivät lisäämään työtulostaan 27 prosenttia John Deeren simulaattoritestissä. Myös käytettäessä IBC-järjestelmää koneen suorat vahingot vähenivät 53 prosenttia. [18]

IBC-järjestelmän pääkomponentit ovat hydraulisiin sylintereihin rakennetut hydraulisten nosturipuomien asentotunnistimet, ohjausyksikkö ja ohjelmisto. [18] Kaikki IBC-nostureiden hydrauliset sylinterit ovat anturoituja. Nämä anturitiedot yhdessä nosturin

geometrian, kuvan 5 nivelten q_1 , q_2 , q_3 ja q_4 , kanssa mahdollistavat puomin kärkivälien matemaattisen rekonstruktion. [17]



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

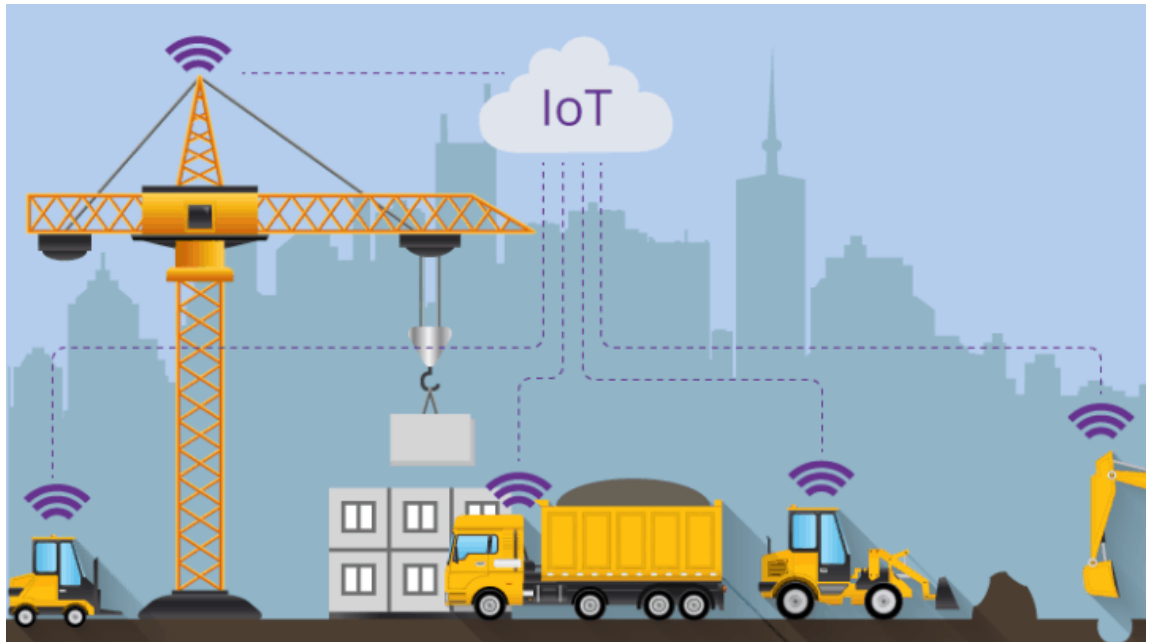
Kuva 5. Puomin geometria [4]

IBC-järjestelmässä sisäänrakennetuilla antureilla varustetut hydraulisyylinterit toimittavat CAN-väylän avulla tietoa varsien liikkeistä takimmaiseen ohjausyksikköön. Koneen ohjausjärjestelmässä IBC-anturit on määritelty CAN 3 -anturiväylän alle. Ohjausyksikkö voi käsitellä hydraulisyylinterien antureiden antamia syötteitä ja verrata tietoja ohjaimen algoritmien avulla syötteisiin, jotka kuljettaja antaa ohjauksauvojen kautta annettujen komentojen avulla. [18]

5.3 IoT

IoT on lyhenne sanoista "Internet of Things" eli suomeksi "esineiden internet". Käsite tarkoittaa koneiden antureiden datan yhdistämistä internettiin. Kuva 6 on havainnekuva IoT-verkon toiminnasta. IoT tarvitsee toimiakseen antureita, jotka keräävät dataa, verkkoyhteyden ja pilvipalvelun, joka käsittelee ja tallentaa antureiden keräämän datan.

Anturitiedon yhdistäminen työkaluista teolliseen internettiin edesauttaa turvallisuutta, työtä ja sen ohjaamista. IoT antaa työkalun autonomisten työkalujen työskentelyyn yhdessä suurilla työalueilla. IoT:n välityksellä myös työkalujen kunnonvalvonnan monitorointi on mahdollista työkalun ulkopuolelta. [11]



Kuva 6. Internet of Things [11]

GPS, jota kutsutaan myös maailmanlaajuiseksi satelliittinavigointijärjestelmäksi (GNSS), on maailmanlaajuinen radionavigointijärjestelmä, jolla on ollut valtava vaikutus koneiden automaattisen ohjauksen ja navigoinnin kehitykseen. [1] IoT-verkossa sijainti ja paikannusjärjestelmät ovat tärkeässä asemassa, kun autonomiset työkalut liikkuvat työalueella IoT-verkon mahdollistamilla tiedoilla.

Rakennuskoneiden tarkka aikataulutus ja hallinta rakennusprosessissa on edelleen suuri haaste. IoT:n käyttöönotto näyttää kuitenkin tarjoavan täydellisen korkean teknologian ratkaisun tähän ongelmaan. IoT-teknologia työmaajohtajille kattavan käsityksen prosessista ja koneiden tilasta, minkä ansiosta he voivat tehdä päätöksiä ja mukauttaa suunnitelmia reaaliajassa. [7]

6. YHTEENVETO

Teknologinen kehitys anturoinnissa on mahdollistanut älykkäiden järjestelmien kehittämisen koneisiin ja ajoneuvoihin, jotka auttavat käyttäjää tekemään päätöksiä. Automaation ja päätöksentekoa tukevien järjestelmien käyttö on lisännyt tuottavuutta ja parantanut turvallisuutta.

Älykkäiden työkoneiden ohjaamiseen tehokkaasti vaaditaan työnohjauksen antureita, jotka mittaavat HTS-järjestelmissä käytettävien hydraulisylinterien lineaarista liikettä ja myös kiertyviä puomin liikkeitä. Anturoinnin kehityksen mahdollistamia älykkäitä puominohjausjärjestelmiä on pystytty kehittämään. Kärkiohjaus metsäkoneissa on nostanut työn tuottavuutta suuresti.

Lidar on uusi laseranturointitekniikka, joka on yleistynyt työkoneissa ja myös tieliikenteessä ympäristön havainnoimiseksi. Kameratekniikat yleistyvät työkoneissa tulevaisuudessa entisestään. Ne mahdollistavat etäisyyden mittaamisen lisäksi värien tunnistamisen ja kameran kuva avustaa myös kuljettajaa. Kuvaan voi myös lisätä AR-teknologiaa mikä voi auttaa kuljettajaa esimerkiksi peruuttaessa.

Kunnonvalvonnan anturit ovat tärkeitä työkoneiden käyttöiän pidentämiseksi koneiden korkeiden hankintakustannusten takia. Toiminnan aikaiset anturit keräävät tietoa laitteen tai järjestelmän tilasta sen käytön aikana, ja ne ovat tärkeitä koneiden kunnossapidon kannalta. CBM-järjestelmät useiden anturien avulla ovat tarpeellisia raskaiden liikkuvien työkoneiden monimutkaisen rakenteen takia, joka aiheuttaa erilaisia vikojen lähteitä. Näiden voidaan välttää odottamattomia koneiden käyttökatkoja.

Kuljettajaa avustavat järjestelmät ja automaatio työkoneissa voidaan luokitella automaatiotasoina. Automaatiotasot auttavat ymmärtämään työkoneen kykyjä ja rajoituksia. Automaatiotasot auttavat myös kehittäjiä ja sääntelyviranomaisia asettamaan standardeja autonomisten työkoneiden suunnittelulle ja testaukselle.

IoT-verkko on antureiden mahdollistama prosessinohjauksen työkalu. Tulevaisuudessa anturit eivät vain ohjaa yhden työkoneen toimintoja. Anturitietoa voidaan käyttää autonomisissa koneissa yhdessä turvallisuuden ja työtehon parantamiseksi.

LÄHTEET

- [1] O. Duffy, G. Wright, S. Heard - Fundamentals of Mobile Heavy Equipment. Jones & Bartlett Learning, Yhdysvallat, 2019.
- [2] J. Lagos, U. Lempiö, E. Rahtu. FinnWoodlands Dataset. Tampere University, Tampere, Finland, 2023.
- [3] V. Fremont, M. Tuan Bui, D. Boukerroui, P. Letort. Vision-Based People Detection System for Heavy Machine Applications. Basel, Switzerland, 2016.
- [4] P. La Hera, D. Morales. Model-Based Development of Control Systems for Forestry Cranes. Kempe Foundation, Umeå University, Sweden, 2015.
- [5] Wika. Measurement technology for mobile working machines. Saatavissa (viitattu: 28.11.2022):
https://www.wika.fi/upload/BR_MobileWorkingMachines_en_co_86473.pdf
- [6] VTT. Työkoneiden CO2 päästöt ja niihin vaikuttaminen. Tutkimusraportti. 2016. Saatavissa (viitattu: 28.11.2022):
<https://www.vtt.fi/download/noname/%7BEC3AFE90-B3FC-446B-90C3-4A8B253B4256%7D/125900>
- [7] Y. Jiang, X. He. Overview of Applications of the Sensor Technologies for Construction Machinery. Changsha University of Science and Technology, China, 2020.
- [8] K. Väätäinen, T. Ikonen, J. Ala-Ilomäki Sirén, S. Lamminen, A. Asikainen. Kuljettajaa opastavat älykkäät järjestelmät ja niiden käyttö koneellisessa puunkorjuussa. Metla, Vantaa, 2012.
- [9] K. Kilpeläinen, T. Nevala, T. Näyhä, L. Parkkila, P. Rannanjärvi. Älykäs tietyömaa - Tienrakennuskoneiden modulaarinen ohjaus. VTT Tiedotteita 2255, VTT, Espoo, 2004.
- [10] LORD, MicroStrain Sensing Systems - Heavy Vehicle Condition-Based Maintenance. Saatavissa (viitattu: 30.1.2023): Heavy Vehicle Condition-Based Maintenance | LORD Sensing Systems (microstrain.com)
- [11] D.Sinha. Impact of IoT driven innovations in the construction industry. India, 2019.
- [12] G. Kormann, M. Reinards, U. Scheff. Assistance system in Agricultural Engineering, Handbook of Driver Assistance Systems, Springer, Cham, 2015.
- [13] T. Keinänen, P. Kärkkäinen, M. Lähetkangas, M. Sumujärvi. Automaatiojärjestelmien logiikat ja ohjaustekniikat. Helsinki, 2007.

- [14] A. Posa. Sulautettuun ohjausjärjestelmään perustuvan hissien pienoismallin suunnittelu ja toteutus. Kandidaatintyö, Lappeenranta teknillinen yliopisto, Lappeenranta, 2014.
- [15] Althen Sensors & Controls. Linear-position-sensors. Saatavissa (viitattu: 20.2.2023): <https://www.althensensors.com/sensors/linear-position-sensors/>
- [16] FAE. Products. Exhaust gas pressure sensor. Saatavissa (viitattu: 31.3.2023): <http://www.fae.es/en/products/exhaust-gas-pressure-sensor>
- [17] J. Manner, O. Gelin, A. Mörk, M. Englund. Forwarder crane's boom tip control system and beginner-level operators. Helsinki, Finland, 2017.
- [18] T. Zemánek, P. Filo. Influence of Intelligent Boom Control in Forwarders on Performance of Operators. Croatian Journal of Forest Engineering, 2022.