

Kari Kilkki

AUTOMAATTIOHJAUS TYÖKONEELLE HARRASTE-ELEKTRONIIKKAOSILLA

Opinnäytetyö

Insinöörin (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

2021



**Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu**

Tutkintonimike	Insinööri (AMK)
Tekijä/Tekijät	Kari Kilkki
Työn nimi	Automaattiohjaus työkoneelle harraste-elektronikkaosilla
Toimeksiantaja	
Vuosi	2021
Sivut	32 sivua, liitteitä 11 sivua
Työn ohjaaja(t)	Teemu Manninen

TIIVISTELMÄ

Työn tavoitteena oli selvittää edullisten harraste-elektronikkakomponenttien soveltumista työkoneen automaattiohjaukseen yksityisalueella. Työn taustana on maailman ruoantuotannon automatisoituminen ja keskittyminen suurempiin yksiköihin. Automatisoimalla vanhaa kalustoa voisi olla mahdollista hyödyntää olemassa olevaa konekantaan kannattavasti. Kannattavuuden edellytyksenä olisi komponenttien edullinen hankintahinta sekä mahdollisuus rakentaa automaatiota omatoimisesti.

Ohjauksen perustaksi valikoitui piirikorttisarja Arduino, johon on saatavissa runsaasti valmiita antureita ja sovellusesimerkkejä. Tietoja etsittiin Arduino-harrastajien projektitietokannasta. Automaattiohjauksen toteutustavoista haettiin tietoa kansainvälisistä tutkimustietokannoista. Ohjausohjelman reittisuunnitteluun etsittiin tietoa ajoreitin optimoinnista tehdyistä tutkimuksista. Satelliitipaikannustekniikkaan tutustuttiin muun muassa Ilmatieteenlaitoksen tietosivujen avulla. Ohjauksen voimanlähteeksi valikoitui työkoneen ulkoinen hydraulikka, ja soveltuvia hydraulikkakomponentteja haettiin valmistajien esitteistä ja datalehdiltä. Arduino-projektien komponenttilistojen avulla hankittiin muutamia piirikortteja testattaviksi, ja kokeiltiin niiden toimintaa maasto-olosuhteissa. Koneenrakennuksen määräyksistä etsittiin tietoa automaattiseen ohjaukseen vaikuttavista määräyksistä.

Harrastajaelektronikkasarja Arduinon komponenttien avulla on mahdollista tunnistaa maastoesteitä sekä paikantaa laitteen sijainti. Pohjoisen sijaintimme vuoksi paikannuksen tarkkuus rajoittuu halvoilla peruskomponenteilla pariin metriin. Halpakomponenttien peruskytkennöillä ei voida tehdä tarkkuutta vaativia työvaiheita. Vanha työkone ja harraste-elektronikan komponentit ovat viikaherkkä yhdistelmä. Tämän takia automaattiohjauksen rakentamista voi suositella vain omaan käyttöön, ja työalueen ympäröimistä syvillä ojilla tai riittävän korkeilla maavalleilla.

Asiasanat: Automaattiohjaus, Arduino, GPS-paikannus

Degree	Bachelor of Engineering
Author (authors)	Kari Kilkki
Thesis title	Automatic steering for a field machine with hobby electronics components
Commissioned by	
Time	October 2021
Pages	32 pages, 11 pages of appendices
Supervisor	Teemu Manninen

ABSTRACT

The objective of this thesis was to evaluate the usefulness of cheap hobby electronic components to achieve automatic steering for a field work machine. The scope of working was aimed to be in a private area, where the requirements of the machine control system are much lower than regulations for autonomous vehicles operating in traffic areas. With help of automatic steering for example old little tractors could do profitable work.

Widely used electronics hobby platform Arduino was chosen to be the base for the automatic steering. Arduino developer pages in internet include example projects with electronic circuit drawings and program codes. With help of the example projects, some Arduino components were bought, and some measurements were performed in field conditions. Regulations and orders for machine building were investigated from domestic and EU-level directive collections. The theory and applications of global positioning system (GPS, GNSS) were collected from databases of Finnish Meteorological Institute and Arduino positioning projects. The steering was decided to be powered by external hydraulics of a working machine. Suitable hydraulic components were evaluated with help of data sheets and 3D-modeling. The theory of optimal driving lines in field work was studied from Finnish agricultural research collections, and as a comparison some investigations of automatic steering for traffic vehicles were also studied.

The field tests verified, that Arduino GPS positioning works, and ultrasonic sensors can detect living objects of various shapes. However, our location far in the north limits the accuracy of the positioning with simple hobby components to a pair of meters. The safety requirements for machines are tough, and an old tractor combined with autonomous steering with hobby components is a dangerous combination. The working area should be surrounded with deep ditches or high enough ground walls, which would stop the machine in a case were electronic or hydraulic circuits are damaged. Arduino components can be easy plug-and-play kits, but it was seen that numerous difficulties can occur when parts do not work in the same way as they are described in example hobby projects. With help of suitable skills with electronics, programming and welding, it is possible to get a machine to drive independently through a list of field positions.

Keywords: Automatic steering, GPS, Arduino

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	AJONEUVOJEN AUTOMAATTIOHJAUSSOVELLUKSIA KIRJALLISUUDESSA	6
2.1	Arduino-harrastajien projektitietokanta	7
2.2	Tutkimuksia ajoneuvojen automaattiohjauksesta.....	7
2.3	Konenäkö liikkuvan ajoneuvon apuna	9
2.4	Ajoreitin suunnittelua peltolohkoilla.....	9
3	SATELLIITTIPAIKANNUSTEKNIIKKAA	10
3.1	Satelliittipaikannustekniikan perusteita	10
3.2	Maastokarttojen laadinnan perusteita	11
3.3	Paikannuslaitteita Arduinolle.....	13
3.4	Kiinteä asema paikannuksen apuna.....	14
3.5	Vertailu ammattilaistason laitteeseen	15
4	TURVALLISUUSVAATIMUKSET TYÖKONEEN OHJAUKSESSA.....	16
4.1	Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400.....	16
4.2	Euroopan parlamentin direktiivi 2009/66/EY, pyörillä varustettujen maatalous- ja metsätraktoreiden ohjauslaitteista	17
5	OHJAUKSEEN VALITUT KOMPONENTIT	18
5.1	Ultraäänianturi HC-SR04	18
5.2	NEO-6M-GPS-vastaanotin	18
5.3	Sijainnin määrittäminen GPS-paikantimen avulla	21
5.4	Etäyhteys työkoneeseen.....	21
5.5	Hydrauliikan komponentit	22
5.6	Siirtyminen automaattiohjaukseen	24
5.7	Hätäpysäytys	25
6	SÄHKÖKYTKENTÄ	26
7	OHJELMAKOODI	26
8	KUSTANNUKSET.....	28

9	POHDINTA.....	29
	LÄHTEET.....	31
	LIITTEET	

Liite 1. Ultraäänianturin testausta maastossa

Liite 2. Paikannuspiirikortti GY-GPS6MV2:n testausta

Liite 3. Sähkökytkentä

Liite 4: Hydrauliiikkakytkentä

1 JOHDANTO

Ruoan kulutus kasvaa maapallolla, ja sen tuotantoa automatisoidaan. Automatisoinnin edelläkävijänä pidetään Alankomaita, joka on kehittynyt maailman toiseksi suurimmaksi ruoan vientimaaksi USA:n jälkeen. Alankomaista löytyy esimerkiksi suuria kasvihuoneita, joissa kasvatetaan kaaleja robottien ja automaattisten kuljetuslinjojen avulla. Automaatio lisääntyy ruoantuotannossa väijäämättä myös Suomessa. Automatisointi pitäisi tehdä mieluummin halvalla ja omatoimisesti kuin ostamalla kalliita osia muiden valmistamina.

Suomessa on runsaasti vanhoja traktoreita, jotka ovat jääneet pienitehoisiksi toimiakseen tehotuotannossa. Niiden käyttäminen rutiinitöihin voisi olla kannattavaa, jos ne saataisiin tekemään työvaiheita ilman kuljettajaa. Markkinoilla on satelliittipaikannusta hyödyntäviä automaattiohjauslaitteita, mutta niiden hinta samaa kokoluokkaa kuin vanhojen traktoreiden. Työn tavoitteena on selvittää mahdollisuuksia automatisoida työkoneen ohjaus edullisilla harraste-elektroniikan komponenteilla.

Työ tehdään hakemalla tietoa valmiista ohjaussovelluksista, joita löytyy elektroniikkaharrastajien sivustoilta. Turvallisuusmääräyksiä käydään läpi lainsäädännön hakusivustoilta. Työssä tutustutaan satelliittipaikannuksen toimintaperiaatteisiin ja Suomen alueella saavutettaviin tarkkuuksiin. Valitun piirikorttisarjan, Arduinon, komponentteja testataan maastossa. Suunnitellaan ohjauksen toteutusta ja ohjelmointitapaa, jolla työkone saadaan tekemään yksinkertainen työvaihe ilman ulkopuolista apua.

2 AJONEUVOJEN AUTOMAATTIOHJAUSSOVELLUKSIA KIRJALLISUUDESSA

Valmiita ratkaisuja automaattiohjaukseen ja paikannukseen etsittiin pienoistietokone Arduinon harrastajien Internet-sivuilta. Autotekniikan kehityssuunnista haettiin tietoa kirjaston tietokantahaun avulla. Maatalouskoneiden automaattiohjaukseen perehdyttiin aiheesta tehtyjen suomalaistutkimusten avulla.

2.1 Arduino-harrastajien projektitietokanta

Dahal (2020) esittää viivaa seuraavan kolmipyöräisen robotin, jossa on kaksi erillisesti ohjattavaa moottoria ja vapaasti pyörivä ja kääntyvä apupyörä. Peltoon ei ole tarkoitus piirrellä seurattavia viivoja. Dahalin piirikortissa on yhdistetty analogiapiirejä digitaaliohjaukseen, ja niiden soveltamismallista voi olla apua työkoneen ohjauksen ja nopeuden säädössä. Pienien tasavirta, askel- ja servomoottorien ohjausta Arduinon ja L293D-piirien kanssa käydään läpi Elektropeakin (2018) projektissa. Suuren alennusvaihteen kanssa olisi mahdollista pyörittää työkoneen ohjauspyörää, jos ohjauspyörään saisi hammasruuksen ulkokehälle.

Nimimerkin Aritra_B (2017) projektissa esitellään rattiohjauksen toteuttaminen radio-ohjattavaan autoon. Pahvisten kuorien sisään kääritään MPU-6050 –piirikortti, joka sisältää kolmiakselisen gyroskoopin ja kolmiakselisen kiihtyvyyssmittauksen. I²C-väylää pitkin MPU-6050 –piiri voi vastaanottaa kolmiakselisen kompassin tiedot. Peltotyökoneella ei ole tarkoitus lentää, mutta kompassisuunta on yksi mahdollisuus ohjauslinjojen valintaan.

Bluetooth-ohjausta autolle esitellään Danny_003:n (2019) projektissa. Auton keulalle on laitettu kaksi ultraäänisensoria mittaamaan auton edessä olevien esteiden etäisyyttä. Projektissa on yhdistetty samaan ohjelmistoon mahdollisuus ajaa autoa nuolinäppäinohjauksella, automaattisesti etäisyysanturien avulla, puheohjauksella, tablettitietokoneen kallistusanturien tiedoilla, sekä seuraamalla tablettitietokoneen GPS-signaalia. Etäisyysanturiparille on auton keulalla oma pyöritysmoottori, jolla antureita voidaan tähdätä eri suuntiin ja etsiä vapainta ajoreittiä. Tämä projekti sisältää useita hyödyllisiä malleja työkoneen ohjauksen suunnitteluun, vaikka ei sovellu suoraan esim. rattiohjattavan traktorin liikeohjaukseen.

2.2 Tutkimuksia ajoneuvojen automaattiohjauksesta

Alcala, Puig, Quevedo, Escobet, ja Comasolivas (2018) testasivat matemaattista mallia ajoneuvon liikeratojen ohjaukseen. Ajoneuvon reittiä varten määritellään karttapisteet UTM-koordinaatteina. UTM-koordinaatistossa maapallo on jaettu kuuden asteen levyisiin lieriöprojektiokaistoihin. Alcalan ym. (2018) tutkimuksessa käytetään ajoneuvosta kaksipyöräistä polkupyörä-

laskentamallia. Laskennassa ovat mukana ajoneuvon suuntainen $x_b y_b$ -koordinaatisto, jossa x_b osoittaa ajoneuvon menosuuntaan. Laskennassa ovat mukana seuraavan karttapisteen xy -koordinaatit, ajoneuvon nykyinen kiertokulma θ suhteessa UTM-koordinaatistoon, ajoneuvon nopeus v ja kiertokulman muutoksen suuntainen kulmanopeus ω . Seuraavan karttapisteen valinnassa ovat mukana anturitiedot ympäristöstä, eli esimerkiksi muut tielläliikkujat. Käytännön kokeen ohjauksen resoluutio oli 2 astetta, ja nopeuden pääsi säätämään tarkkuudella 1 km/h. Testiajona oli puoliympyrän muotoinen kierros linja-auton aseman ympäri ja pysähtyminen jalankulkijan eteen. Testi ajettiin 50 kertaa, ja niistä 41 kerralla päästiin maaliin. Pääongelmaksi ryhmä nimeää paikannuksessa kertyvät virheet, joiden vuoksi liu'utaan pois tavoitellulta ajolinjalta. Alcalan ym. (2018) tavoitteena oli tehdä automaattiohjatun ajoneuvon liikkeistä miellyttävän pehmeitä ajatellen matkustajien mukavuutta, ja siinä ryhmä näyttää Lyapunovin matemaattisia malleja soveltaen onnistuvan. Peltotyökoneen ohjauksessa yksinään kulkevan koneen liikkeiden pehmeys vaikuttaa lähinnä koneen kaatumisherkkyteen kaltevassa maastossa.

Cui, Ding, Zhou ja Wu (2018) tutkivat automaattisen ajoneuvon reitinseurantaa. Cui ym. kehittivät monirajoitteista ennustavaa ohjausta, joka ottaa huomioon muutoksia renkaiden pidossa. Simulointien perusteella tutkijaryhmän kehittämä ohjauskulman laskenta kykenee reitinseurantaan suurissa nopeuksissa. Raportista oli saatavilla vain lyhennelmä, mutta siitä selviää, että tutkijat käyttivät ohjelmistoja CARSIM ja Matlab/Simulink.

Su, Wu, Cheng ja Chen (2018) kehittivät algoritmin, jota he nimittävät ajallisesti vaihtelevaksi säätimen optimoinniksi. Ryhmä hyödynsi koneoppimisen menetelmiä, joiden avulla ajoneuvon ohjauksen säätöjä voidaan optimoida perinteisiä menetelmiä nopeammin. Algoritmista otetaan huomioon ajoneuvon ohjauksessa käytetyn dynaamisen mallin sekä säätöparametrien epätarkkuuksia. Mittausten mukaan ryhmän kehittämän algoritmin avulla saadaan autonomiset ajoneuvot nopeammin säädettyä. Renkaiden pidon vaihtelu tulee olemaan muuttuva tekijä peltotyökoneen ohjauksessa. Liian hienoja säätöjä ei kannata havitella vesisateen kastelemaan heinikkoon. Toisaalta pienoistietokone Raspberry Pi:n mukana tuleva matematiikkaohjelma Wolfram Mathematica antaa mahdollisuuden käyttää vaativampaakin laskentaa ajoneuvon ohjauksen apuna, mikäli sellaiselle on tarvetta.

2.3 Konenäkö liikkuvan ajoneuvon apuna

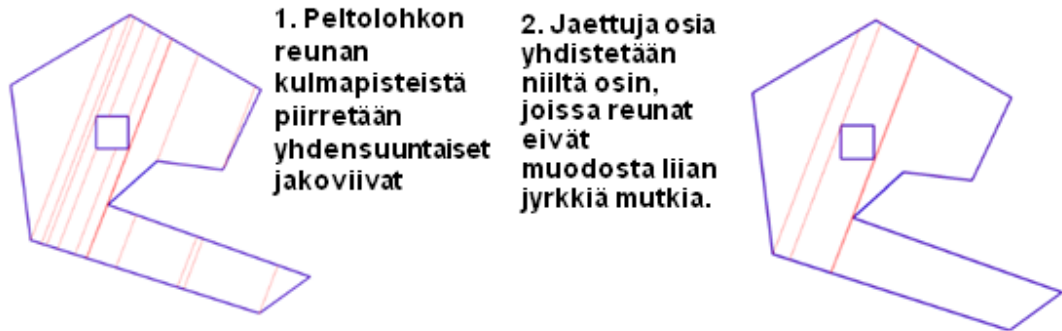
Dadhich (2018) esittelee konenäkötekniikoita, ja mukana on myös liikkuvan ajoneuvon ohjaamiseen soveltuvia laskentatapoja. Piirretunnistustekniikassa FAST, Features from Accelerated Segment Test, etsitään kuvassa olevia nurkkapisteitä viiden kuvapisteen intensiteetin tutkinnalla. Keskipisteen ympäriltä valittujen neljän pisteen intensiteettiä verrataan keskipisteen intensiteettiin. Jos vähintään kolme neljästä vertailupisteestä poikkeaa intensiteetiltään keskipisteestä samaan suuntaan vähintään valitun kynnsarvon verran, on keskipiste jonkin kohteen nurkkapiste. Ajoneuvosta nähty nurkkapiste voi olla rakennuksen osa, puu, toinen ajoneuvo tai muu väistettävä kohde. FAST-tekniikan rajoitteena on vaikeus etsiä samaa nurkkaa kahdesta peräkkäisestä kuvasta, jos rakenteen muoto on erilainen eri kohdista katsottuna. Kehittyneempi piirretunnistustekniikka, ORB, yhdistää nurkanetsinnän ja kuvapalstojen intensiteettierojen esittämisen binäärisinä merkkijonoina. Tällä tietoyhdistelmällä pystytään määrittämään kohteiden sijaintia myös kohteiden muodon muuttuessa kuvakulman muutoksen mukana.

Dadhich (2018) esittelee myös kuvantunnistusmenetelmiä, kohteen seuranta ja visuaalista paikannusta. Vaativimmat menetelmät tarvitsevat tietokoneelta laskentatehoa, eivätkä ole tarpeellisia työkonekäytössä. Yksinkertaisesta kuvantunnistuskennasta olisi hyötyä tasaisissa valaistusolosuhteissa. Valaistuksen muuttuminen hankaloittaa väistettävien kohteiden tunnistusta.

2.4 Ajoreitin suunnittelua peltolohkoilla

Oksanen (2007) esittelee väitöskirjassaan kaksi menetelmää työkoneen reitin suunnitteluun vapaamuotoisilla peltolohkoilla. Ensimmäisessä menetelmässä jaetaan pelto puolisuunnikkaiden muotoisiin osalohkoihin, ja tehdään reittilaskenta jokaiselle osalohkolle erikseen. Toisessa menetelmässä laskenta aloitetaan työkoneen sijaintipisteestä, ja paras reitti haetaan simuloimalla kaikki vaihtoehdot seuraavaan käännepisteeseen asti. Käännepisteessä laskenta aloitetaan uudestaan. Väitöskirjan sivutuloksena on ratkaistu optimaalinen traktori-työkoneyhdistelmän kääntämisreitti yhdessä päisteessä. Kääntämispaikkojen ajoreittien laskentaa tutkija pitää tärkeänä, koska ahtaammissa paikoissa peruuttamiskäännös on tehokkaampi.

Oksasen (2007, 58-61) esittämässä puolisuunnikkaiden muotoisten osalohkojen menetelmässä pelto jaetaan lohkoiksi yhdensuuntaisilla jakoviivoilla, joita piirretään kaikista reunojen mutkapisteistä. Jaettuina lohkoja yhdistetään toisiinsa, jos niillä on yhteinen jakoviiva, ja kuvion päätyyn ei tule liian jyrkkiä mutkia. Kuvassa 1 on esimerkki jakoviivoista ja jaettujen osien yhdistämisestä.



Kuva 1. Peltolohkon jako suunnikkaiksi (Oksanen 2018, 59 - 60)

Osalohkojen menetelmässä työkonen ajolinjat halutaan samansuuntaisesti vierekkäin, ilman rakoja tai päälleajoa aiemmin ajetuista kohdista. Yhden ajolinjan leveys on työkonen työskentelyleveys. Päädyissä varataan tila käänöksille. Parhaan ajosuunnan hakemiseen käytetään yksinkertaistettua algoritmia.

1. Ajomatka lasketaan kuudessa suunnassa, 0° , 30° , 60° , 90° , 120° ja 150°
2. Kolme edullisinta ajosuuntaa valitaan jatkokarsintaan
3. Puolitetaan haarukointikulman suuruus
4. Lisätään uudet etsintäsuunnat jatkokarsinnassa olevien suuntien molemmille puolille
5. Lasketaan ajomatkat suunnille, joita ei ole vielä laskettu
6. Jos tavoitetarkkuus saavutettiin, valitaan paras suunta. Muuten jatketaan kohdasta 2.

Viiden laskentakierroksen jälkeen ajosuunnan haun tarkkuus vastaa raskaalla optimointilaskennalla saatavia tuloksia. Käänöspaikkojen tilantarve syötetään laskentaohjelmalle osalohkoittain. Optimiajosuunta on yleensä osalohkon pisin sivun suunta. (Oksanen 2007, 61 – 63.)

3 SATELLIITTIPAIKANNUSTEKNIKKAA

3.1 Satelliittipaikannustekniikan perusteita

Satelliittipaikannukseen käytetään 20 kilometrin korkeudella kiertäviä satelliitteja, jotka lähettävät tarkkaa aikatieta ja tiedon omasta sijainnistaan. Paikannus onnistuu, jos vastaanotin saa paikannussignaalin vähintään neljästä

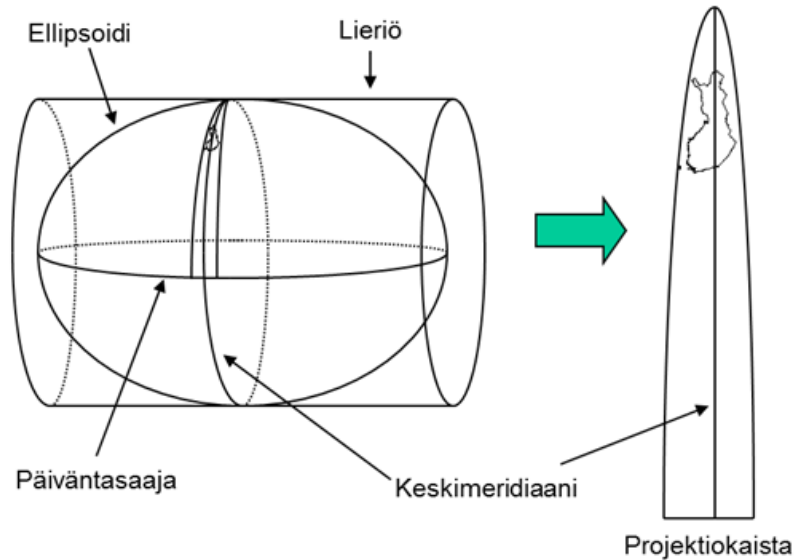
satelliitista. Yhdysvaltalaisista GPS-järjestelmää pidettiin aiemmin satelliittipaikannuksen synonyyminä, ja se esiintyy edelleen yleisenä esimerkiksi elektronikkakomponenttien nimissä. Nykyisin satelliittipaikannusjärjestelmää kutsutaan nimityksellä GNSS, global navigation satellite system, koska käytettävissä on useita satelliittiryhmiä. Venäläinen paikannusjärjestelmä on nimeltään GLONASS, Kiinan järjestelmä on nimeltään BeiDou ja eurooppalainen paikannusjärjestelmä on nimeltään Galileo. Kuluttajakäyttöön tarkoitetun GNSS-vastaanottimen paikannustarkkuus on noin viiden metrin luokkaa.

(Maanmittauslaitos 2020.)

Eurooppalainen Galileo on ensimmäinen siviilikäyttöön tarkoitettu satelliittipaikannusjärjestelmä, jolla taataan Euroopan riippumattomuus muista satelliittijärjestelmistä ja parannetaan Euroopan toimintavarmuutta. Eurooppalainen paikannustarkkuutta parantava palvelu on nimeltään EGNOS, ja se tuottaa paikannuksen korjaustietoja maa-asemien avulla. Suomen alueella on yksi korjaustietoa tarjoava maa-asema Virolahdella. Paikannussatelliitit näkyvät Suomessa matalilla korkeuskulmilla, mikä aiheuttaa ongelmia paikannuskorjauksen saatavuudessa. Riittävä määrä maa-asemia, joita kutsutaan nimityksellä RIMS, ei näe idästä nousevia satelliitteja, jolloin korjaus ei kata niitä. Lisää korjauslaskentaa tarjoavia maa-asemia on tulossa vuoteen 2025 mennessä. Galileon avoin palvelu (OS) on käyttäjille maksuton. Avoin palvelu varmistaa, että satelliittinavigointijärjestelmät toimivat maailmanlaajuisesti yksittäisen järjestelmän saatavuudesta riippumatta. Yhden taajuuden halvoissa laitteissa ennakoitavan saavutettavan vähintään 15 metrin tasosijainnin tarkkuus ja 35 metrin korkeustarkkuus. (Miettinen, Öörni & Lehtilä 2017, 11 – 13.)

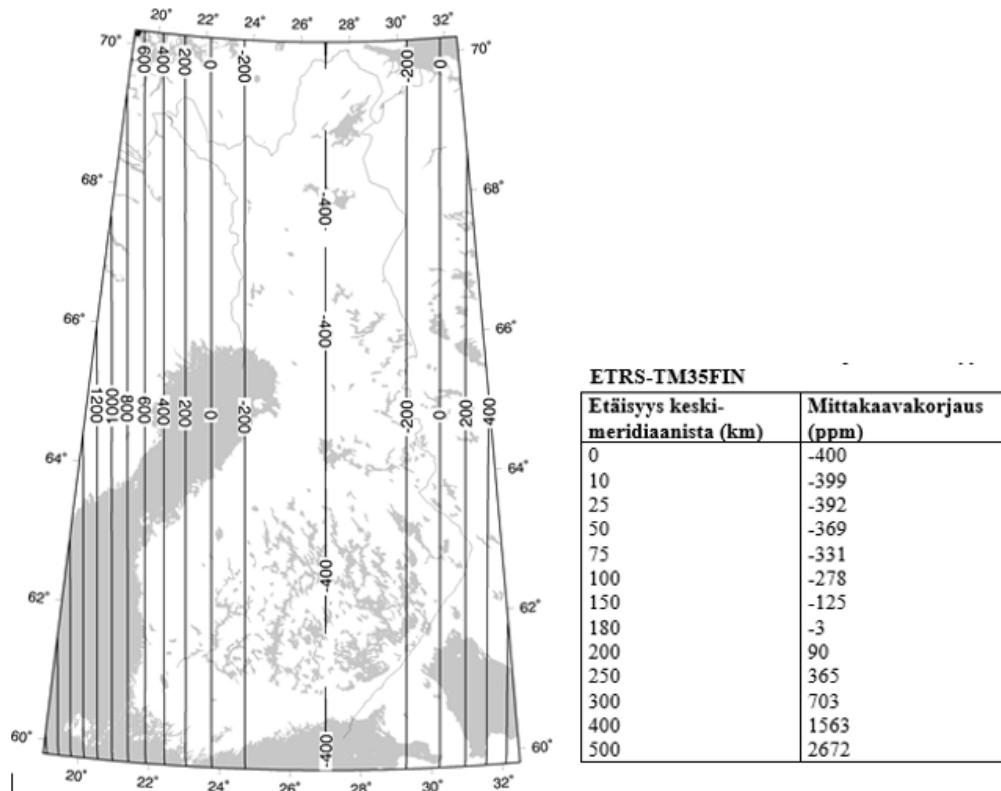
3.2 Maastokarttojen laadinnan perusteita

Suomessa vuoden 2005 jälkeen julkaistuissa maastokartoissa käytetään koordinaatistoa, jota nimitetään ETRS-TM35FIN tai EUREF-FIN -koordinaatistoksi. Paikannuslaitteiden asetuksissa se löytyy valinnasta UTM Grid. Suomen katetavan poikittaisen lieriöprojektion keskimeridiaani on 27 astetta itäistä pituutta. Keskimeridiaanilla projektion mittakaava on vakio. Suomen lieriöprojektion muotoa on esitetty kuvassa 2. (JUHTA 2016.)



Kuva 2. Poikittainen lieriöprojektiio keskimeridiaanilla 27 astetta (JUHTA 2016)

Ellipsoidista tasokuvaukseen siirryttäessä on pintaa venytettävä, jolloin syntyy mittakaava- ja suuntavirheitä. Näitä projektiovirheitä vähennetään tekemällä mittakaavakorjauksia. ETRS-TM35FIN -koordinaattijärjestelmän suurin korjaus on noin +1700 ppm Ahvenanmaalla, ja mantereella korjaukset ovat -400 ppm ja +700 ppm välillä. Projektiokorjauksia on havainnollistettu kuvassa 3. (JUHTA 2016.)



Kuva 3. Mittakaavakorjauksia ETRS-TM35FIN -koordinaattijärjestelmässä (JUHTA 2016)

GPS-satelliittien käyttämä koordinaattijärjestelmä on WGS84. WGS84-järjestelmässä koordinaatit ilmoitetaan asteina, minuutteina ja minuutin desimaaleina. Yksi leveysasteen minuutti on meripeninkulma eli 1852 metriä. Suomessa pituusasteen minuutin tuhannesosa on Pohjois-Lapissa noin 0.63 metriä ja eteläisimmässä Suomessa noin 0.93 metriä.

3.3 Paikannuslaitteita Arduinolle

NEO-6M GPS Module on yleisesti käytetty itsenäisesti toimiva GPS-vastaanotinyksikkö. Paikannuksen päivitystaajuus on 1–5 Hz, ja tiedonsiirron nopeudeksi on ilmoitettu 9600 baudia. NEO-6M:ssä on käytettävissä 50 kanavaa. Herkkyys on -161 dBm.

Grove-alusta on erilaisten antureiden kytkemiseen tarkoitettu piirikortti, johon anturit saa asennettua ilman juotosliitoksia, ja josta löytyy valmiita kytkentäsovelluksia Arduinon ja Raspberry Pi:n kanssa.

Grove GPS Module soveltuu nopeammin liikkuvien kohteiden paikannukseen, ja sen paikannuksen päivitystaajuus on 1–10 Hz. Tiedonsiirtonopeus on ohjelmallisesti säädettävissä välillä 9600–115200 baudia. Herkkyys on -160 dBm ja 66 kanavan avulla voidaan tehdä 22 satelliitin seuranta.

Grove – GPS (Air530) on erittäin matalan virrankulutuksen omaava paikannusmoduli. Se kykenee hyödyntämään yli kuutta satelliittia yhtä aikaa. Paikannuksessa Air530-version luvataan tukevan GPS, Beidou, Glonass, Galileo, QZSS ja SBAS –järjestelmiä. Usean satelliitin samanaikainen hyödyntäminen auttaa paikantamisessa paikoissa, joissa paikannussignaalit ovat heikkoja. Päivitystaajuuden, tiedonsiirtonopeuden ja herkkyiden arvoja ei Air530-versiolle ole annettu, mutta tekstin perusteella ominaisuudet vastaavat Grove GPS Modulea. (Shawn 2019.)

Parallax SIM33EAU tukee GPS-, Glonass- ja Galileo-satelliittijärjestelmiä. Seurantakanavia on 33 ja tiedonvastaanottokanavia 99.

Arduino LinkIT ONE -pakkaus sisältää piirikortin, johon voi yhdistää pakkauksen mukana tulevat GSM/GPRS-antennin, WiFi-antennin ja GPS-antennin. LinkIT ONE -korttia voidaan käyttää esimerkiksi liikkuvan kohteen reitin seurantaan, koska GPS-paikannuksella saatua tietoa voidaan lähettää eteenpäin matkapuhelinyhteyden avulla.

3.4 Kiinteä asema paikannuksen apuna

Differentiaalinen satelliittipaikannus, DGPS, sisältää sijainniltaan tunnetun GPS-tukiaseman laskemia korjaustietoja. Tukiasema tietää tarkasti oman sijaintinsa ja pystyy laskemaan virheen tiettyyn satelliittiin. Tukiasema tekee virhettä vastaavan korjauksen omaan sijaintiinsa, laskee koordinaatit ja lähettää ne paikannettavalle GPS-vastaanottimelle esim. yleisradiotaajuuksia pitkin. Tukiaseman havaitsemat virheet muuttuvat jatkuvasti, joten yhteyden liikkuvaan vastaanottimeen tulee olla jatkuvaa. (Airu 2009, 12-13.)

Svaton (2016) tutki diplomityössään differentiaalisen satelliittipaikannuksen toteuttamista Arduino-osien avulla. Tukiasema oli rakennettu Arduino Mega/Due -kortilla, ja siinä oli GPS-vastaanottimena uBlox NEO6M. Wi-Fi -piirien välityksellä tukiasema lähetti tiedot dronelle, johon oli sijoitettu kevyt Arduino NANO -piirikortti. Paikallaan olevan kohteen mittauksissa korjatun sijainnin tarkkuudeksi tuli keskimäärin 1.57 m, kun suora GPS-paikannus antoi sijaintitarkkuuden 2.47 metrin tarkkuudella. Liikkuvassa kohteessa dronen sijainti osui 1.51 m sisään todellisesta, ja suorissa liikkeissä tukiasema auttoi korjaamaan sijainnin 1.05 metrin tarkkuuteen. Dronen tehdessä käännöksiä paikannustarkkuus heikkeni 2.54 metrin lukemiin.

Vertailuna oli eurooppalaisen EGNOS-järjestelmän käyttö tukiaseman kanssa. Paikoillaan olevan kohteen mittauksessa EGNOS-järjestelmän kautta laskettu paikkatieto osui 1.18 m sisälle todellisesta sijainnista, eikä kiinteä tukiasema lisännyt tarkkuutta. Liikkuvassa kohteessa GPS-paikkatieto osui 0.45 metrin päähän, ja kiinteä tukiasema auttoi tarkentamaan etäisyyden 0.34 metriin. Mittaukset oli tehty Etelä-Ruotsissa Östergötlandissa. (Svaton 2016.)

EGNOS-järjestelmän tarjoama paikannustarkkuus olisi riittävä työkoneen ohjaamiseen Etelä-Ruotsissa. Tarkkuutta paransivat alueella näkyvät useammat

EGNOS-tukiasemat sekä se, että drone kulki maan pinnan yläpuolella. Yhtä tarkkaa sijaintitietoa ei luvata maan pinnalla kulkevalle kohteelle.

3.5 Vertailu ammattilaistason laitteeseen

Halpalaitteiden paikannustarkkuus osoittautui työn etenemisen kannalta ongelmaksi. Työkoneen työleveys on pienellä koneella luokkaa kaksi metriä. Jos paikannuksen virhe on yli metri, ei ole mahdollista saavuttaa järkevää työjälkeä. Pinta-alaa jää joko käsittelemättä tai ajetaan jatkuvasti aiemmin käsitellyn alueen päällä. Laitteiden rikkoutumisen estämiseksi työalueiden reunoille joudutaan jättämään kahden metrin levyiset käsittelemättömät alueet.

Ammattikäyttöön sopivia paikannuslaitteita valmistaa esimerkiksi Trimble, joka on ollut ensimmäisiä satelliittipaikannustekniikan kehittäjiä. Trimblen paikantimia näkee muun muassa maansiirtokoneiden ohjauksessa, ja tielinjojen suunnauksissa laitteille tarjotaan senttimetrin tarkkuuksia.

Satelliittivastaanotin Trimble AG-372 on maatalouskäytössä mm. traktorien ajolinjojen ohjauksessa. Laite on yhdistetty GNSS/DGNSS -vastaanotin ja antenni. Siinä on 220 GNSS -seurantakanavaa, jotka voivat seurata jopa 44 satelliittia. Vähintään viiden satelliitin näkyvyydellä laitteen luvataan pääsevän alle metrin tarkkuuteen, ja laite on yhteensopiva eurooppalaisen EGNOS-differentiaalikorjausjärjestelmän kanssa. (Trimble 2012.)

Trimble AG-372:n hinta verkkokauppojen listoilla on yli 2000 euroa. Kokonaisen ohjauspaketin hinta Trimblen NAV-500 -antennin jatkeeksi saa 6000 eurolla. Paketissa on ohjauspyörän ulkokehään nojaava rulla, jonka sähkömoottori pyörittää ohjauspyörää. Satelliittiantenni asennetaan työkoneen katolle, ja ohjaamon lattiatasolle asennetaan kallistuskompensaattori. Kallistuskompensaattorin avulla korjataan poikkeamaa, joka aiheutuu kaltevassa maastossa antennin sijainnin ja työkoneen ajolinjan välille. Laitetta ohjataan 7” kosketusnäytöllä Android-käyttöliittymällä, ja antennin paikannustarkkuudeksi väitetään +/- 30 cm. (Lantmännen Agro 2021.)

4 TURVALLISUUSVAATIMUKSET TYÖKONEEN OHJAUKSESSA

4.1 Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta 12.6.2008/400

Olennaiset terveys- ja turvallisuusvaatimukset, 1.1.2 a): Kone on suunniteltava ja rakennettava siten, että se ei vaaranna henkilöitä normaalikäytössä ja koh- tuudella ennakoitavissa olevassa väärinkäytössä.

Ohjausjärjestelmät, 1.2.1.: Ohjausjärjestelmät on rakennettava sellaisiksi, että ohjausjärjestelmän laitteisto- tai ohjelmistovika ei aiheuta vaaratilanteita. Ko- neen ominaisarvot eivät saa muuttua hallitsemattomasti, ja koneen pitää py- sähtyä pysäytyskäskystä. Langattomassa ohjauksessa on aikaansaatava au- tomaattinen pysäytys, jos oikeita ohjaussignaaleja ei saada tai jos yhteys me- netetään.

Ohjausjärjestelmät, 1.2.4.3.: Koneessa on oltava yksi tai useampia hätäpysäy- tyslaitteita, joiden avulla vaara voidaan torjua.

Ohjausjärjestelmät, 1.2.4.4.: Jos koneiden osat toimivat yhdessä, pitää pysäy- tyslaitteiden pysäyttää kaikki yhdistelmän vaaraa aiheuttavat laitteet.

Tiedot, 1.7.1.2.: Jos vika valvomattoman koneen toiminnassa saattaa vaaran- taa henkilöiden turvallisuuden, kone on varustettava siten, että se antaa asi- anmukaisen ääni- tai valomerkin varoituksena.

Torjunta-aineiden levityskoneet, 2.4.5.2.: Kone on rakennettava niin, että var- mistetaan torjunta-aineen päätyminen käsiteltäville alueille, minimoidaan hä- vikki muille alueille ja estetään torjunta-aineiden kulkeutuminen ympäristöön. Tarvittaessa on varmistettava torjunta-aineen tasainen levittäminen ja ho- mogeeninen jakautuminen.

Koneen liikkumisesta aiheutuvien vaarojen poistamista koskevat täydentävät olennaiset terveys ja turvallisuusvaatimukset, 3.1.1. b) Kuljettaja on koneen liikkumisesta vastaava käyttäjä, joka voi kulkea koneen mukana, jalan saat- taen konetta tai ohjata konetta kauko-ohjauksella.

Työskentelypaikat, 3.2.1.: Ohjauspaikasta on oltava näkyvyys turvalliseen ajamiseen, tai on käytettävä tarkoituksenmukaisia laitteita suoran näkyvyyden puutteesta aiheutuvien haittojen poistamiseksi.

Ohjausjärjestelmät 3.3.: Kauko-ohjausjärjestelmä on rakennettava siten, että se vaikuttaa vain kyseessä olevaan koneeseen ja sen toimintoihin.

Liite VI Osittain valmiin koneen kokoonpano-ohjeet: Ohjeissa on oltava kuvaus edellytyksistä, joiden täyttyessä osittain valmis kone voidaan liittää lopulliseen koneeseen niin ettei turvallisuutta vaaranneta.

Liite VII, A. Koneiden tekninen tiedosto, 1: Teknisessä tiedostossa on oltava koneen kuvaus, yleispiirustus, ohjauspiirien piirustukset ja selitykset koneen toiminnan ymmärtämiseksi. Yksityiskohtaisissa piirustuksissa on oltava tiedot, joita tarvitaan tarkastettaessa, onko kone olennaisten terveys- ja turvallisuusvaatimusten mukainen. Samat määräykset on lueteltu myös liite VII kohdan B Osittain valmista konetta koskevissa asiakirjoissa.

4.2 Euroopan parlamentin direktiivi 2009/66/EY, pyörillä varustettujen maatalous- ja metsätraktoreiden ohjauslaitteista

1.1.4. Erityislaitteilla tarkoitetaan ohjauslaitteiden osaa, joka tuottaa lisätehoa tai erillistä tehoa mekaanisella, hydraulisella, pneumaattisella tai sähköisellä järjestelmällä.

1.2.1.3. Servo-ohjauslaitteissa ohjausteho saadaan ainoastaan kohdan 1.1.4. mukaisista erityislaitteista.

2.2.2.1. Ohjauslaitteisiin ei saa kuulua sähkökäyttöistä eikä täysin pneumaattista ohjausvaihdetta.

2.2.4.1.2. Jos traktoriin on asennettu servo-ohjauslaite ja täysin hydraulinen ohjausvaihte, erityislaitteen tai moottorin lakatessa toimimasta on oltava mahdollista suorittaa kaksi ohjaustoimenpidettä painekaasusäiliön tai pyörien pyörittämisen pumpun tai kompressorin avulla. Viasta on annettava varoitus valo- tai äänimerkillä.

Jos erityislaite on pneumaattinen, siihen on lisättävä suuntaisventtiilin suojaama paineilmasäiliö. Paineilmasäiliön kapasiteetilla täytyy kyetä tekemään ainakin seitsemän täydellistä kääntöä, ennen kuin paine laskee puoleen toimintapaineestaan.

5 OHJAUKSEEN VALITUT KOMPONENTIT

Työn tekemisen aikaan korona-virus muuttui pandemiaksi, jonka seurauksena mikropiirien saatavuus heikkeni maailmanlaajuisesti. Lähtökohdaksi komponenttivalintaan otettiin saatavuus.

5.1 Ultraäänianturi HC-SR04

Ultraäänianturi HC-SR04 kuuluu Arduino-sarjojen vakio-osiin. Ultraäänianturin toimintaa testattiin maasto-olosuhteissa. Testaustuloksia on esitetty liitteessä 1. Anturi pystyy tunnistamaan äänen heijastumista heinäkasveista ja on siten käyttökelpoinen esimerkiksi aiemmin käsitellyn alueen tasaisen leikkuureunan seuraamiseen. Sen sijaan korkeammassa pensaikossa anturin antamat etäisyystiedot vaihtelevat huomattavasti, ja mittaustuloksia pitää seuloa järkevien ohjauskäskyjen antamiseksi.

Anturin tunnistusetäisyys on samaa luokkaa kuin isompien työkoneiden kääntösäde. Työkoneen järkevä työnopeus on kokoluokkaa 1 m/s. Jos edessä on este, ei anturin antaman tiedon perusteella saa isoa työkoneita väistämään kohdetta eteenpäin kaartamalla. Eteenpäin suunnattu ultraäänianturi voi toimia hätäpysäytyskäskyn ohjaajana.

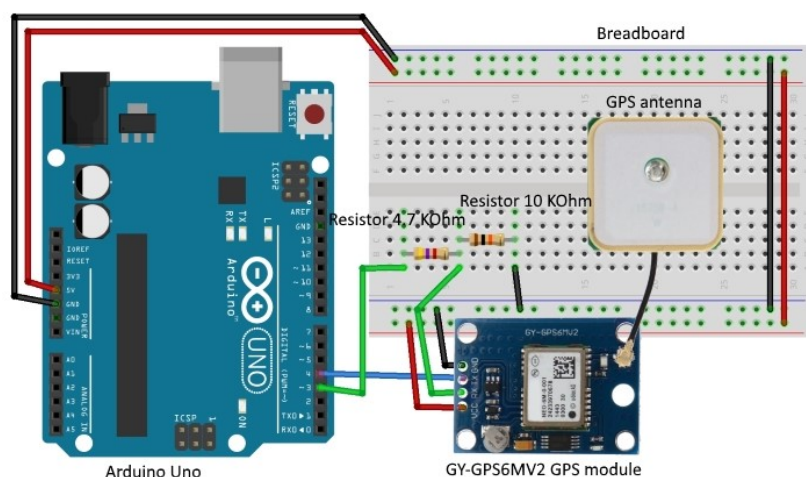
5.2 NEO-6M-GPS-vastaanotin

Helposti saatavana GPS-yksikkönä löytyi U-blox NEO-6M, piirikortilla GY-GPS6MV2. Arduinon projektitietokannasta löytyi kytkentäohje piirikortille Arduino UNO, joka hankittiin samaan aikaan GPS-yksiköiden kanssa. GPS-yksikköjä tilattiin kaksi kappaletta. Toinen niistä saapui sähköstaattinen suojaussi aukileikattuna. NEO-6M -piirikortilla on läpireiät liittimien juottamiseen, ja ensimmäiseen piirikorttiin juotettiin liitinpiikit.

Testattaessa GPS-yksikköä Arduino UNOn kanssa huomattiin, että malliprojektin mukaisella kytkennällä ei saada mitään eloa paikannuspiiriin. Ohjeen mukaan NEO-6M käyttää 3.3 voltin jännitettä, mutta kestää myös 5 voltin sisääntulojännitteen. Kumpikaan jännitelähtö Arduino UNOlta GPS-piiriin jännitteesisääntuloon syötettynä ei käynnistänyt GPS-piiriä. Arduinolle virtaa tarjosi kannettavan tietokoneen USB-liitäntä. Ohjeissa suositeltiin myös ulkoista jännitelähdettä GPS-piirikortille, joten korttia testattiin ohjaamalla 4.5 voltin jännite paristojen avulla. Samoin testattiin Arduino UNOn syöttämistä USB-liitännän lisäksi verkkovirtalaturin kautta Arduinon tasavirtaliittimeen. Arduino Mega-piirikortilla testattiin 3.3 ja 5 voltin syöttöjä GPS-piirille.

Avaamattomassa paketissa tullutta GPS-piiriä testattiin ilman liitinjuotoksia pujoittamalla johtojen päätteet piirikortin liitinpaikkoihin. Myöskään tähän korttiin ei saatu Arduino-verkkosivujen projektien peruskytkennöillä mitään eloa. Ohjeiden mukaan kortin toimintaa ilmaisee vihreä LED joko yhtenäisellä tai välkyvällä valolla. Millään testatuista kytkennöistä ei saatu GPS-piirien LED-valoja syttymään.

Acoptex (2018) esittelee NEO-6M GPS-piiriin käyttöönottoon kytkennän, jossa Arduino-projektisivuilta kytkennöistä poiketen on GPS-piiriin tiedonsiirtolinjaan lisätty vastuksilla toteutettu jännitteen alennus. Kytkentä on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. NEO-6M kytkentä Arduino UNOon (Acoptex 2018)

Acoptexin projektisivulta löytyi NEO-6M-piiriin ohjaukseen kirjastofunktiopaketti TinyGPS++ versiona 1.0.1. Kirjastofunktiopaketin mukana tulleella esimerkkiohjelmalla DeviceExample saatiin ehjässä paketissa tulleesta paikannuspiiristä jotain elonmerkkejä, kun Arduinon sarjamonitorin näyttöön alkoi tulla

NEO-6M:n välittämiä päiväyksiä ja kellonaikoja. Paikannuspiirin kello näytti käyvän Greenwichin aikaa, joka oli kolme tuntia Suomen kesäaikaa jäljessä.

NEO-6M-piirin tiedoissa kerrotaan kylmäkäynnistyksen kestävän 27 sekuntia. Sisällä peltikattoisessa rakennuksessa käynnistettynä paikkatietoa alkoi tulla vasta noin 20 minuutin käytön jälkeen. Paikannuspiirikortilla on ladattava paristo, joka lienee ollut tyhjä piiriä käynnistettäessä. Pienen tauon jälkeen uudelleenkäynnistettynä paikkatietoa alkoi tulla näkyviin noin 15 sekunnissa. Seuraavina päivinä samalla kytkennällä paikkatietoa alkoi tulla noin puolen tunnin odottelun jälkeen, eli käynnistykseen on varattava reilusti aikaa.

Käyttöohjeessa suositellaan GPS-antenni asennettavaksi ajoneuvon taka-akselin keskikohdalle. Paikantimen viestiliikenteessä on esitelty paikkatietoviesti, jossa on mukana kenttä "Course over ground" eli kulkusuunta ja jonka yksikönä ovat asteet. Kulkukohteen koordinaattien syöttö ja suunnan laskenta-esimerkki löytyy TinyGPS++ -kirjastofunktiopaketin esimerkkiohjelmasta FullExample. (U-blox 2011, 45, 67.)

Internet-palvelimille tallennettuja satelliittien rata- ja aikatietoja voidaan hyödyntää, jos paikanninpiiri on yhteydessä internet-verkkoon tai ratatietoja tallentavaan tietokoneeseen. Aputiedoilla tehostettua paikannusta kutsutaan nimityksellä A-GPS. Aputiedot välitetään paikanninpiirille sarjaliikenteellä, jossa yksittäinen viesti on korkeintaan 700 tavua ja jossa epäonnistunut tiedostonvälitys pitää aloittaa tiedoston alusta. TinyGPS -kirjastofunktiopaketista ei löytynyt esimerkkiä, jossa olisi välitetty paikanninpiirille valmiita ratatietoja. (U-blox 2011, 34 – 37.)

Satelliittien ratatietoa voidaan myös tallentaa paikanninpiirin RAM-muistille suoraan satelliiteista, jos otetaan käyttöön U-blox:n autonominen avustustoiminto. Autonomisessa avustuksessa paikannin ennakoii 20 satelliitin radat seuraavan kolmen päivän ajaksi ja hyödyntää tätä ennakkolaskelmaa silloin, kun satelliitti on näkyvässä. Näkyvässä satelliitti on neljä tuntia rata kierroksella. Huonoissa signaaliolosuhteissa paikannus ei välttämättä onnistu ollenkaan ilman A-GPS- tai autonominen avustus -lisätietoja. Autonominen avustus lisää paikanninpiirin virrankulutusta, ja perusasetuksissa sitä ei ole kytketty päälle. (U-blox 2011, 38 – 41.)

5.3 Sijainnin määrittäminen GPS-paikantimen avulla

Testiohjelmalla saatu paikkatieto on muodossa

”Location: 61.692713,27.316274 Date/Time: 9/15/2021 18:13:46.00”. Sijaintinumeroista ensimmäinen on pohjoista leveyttä päiväntasaajalta pohjoisnapaa kohti. Paikantimen toinen numero on itäistä pituutta Greenwichin meridiaanilta laskettuna.

Paikanninpiiriltä saatavan paikkatiedon muuttaminen Suomen kartaston mukaisiksi koordinaattipisteiksi on monivaiheinen laskentaoperaatio. Peruskartta on yhdistetty satelliittipaikannustietoon lukuisissa älypuhelinsovelluksissa. Jos kytkentään otettaisiin mukaan älypuhelin tai tietokone karttaohjelman kanssa, olisi mahdollista syöttää työalueen reunapisteet kartan avulla. Yksinkertaisempi tapa tallentaa tavoitepisteet on kulkea Arduino-GPS-kytkennän kanssa työalue läpi ja tallentaa halutut ohjauspisteet paikanninpiirin tarjoamassa muodossa.

5.4 Etäyhteys työkoneeseen

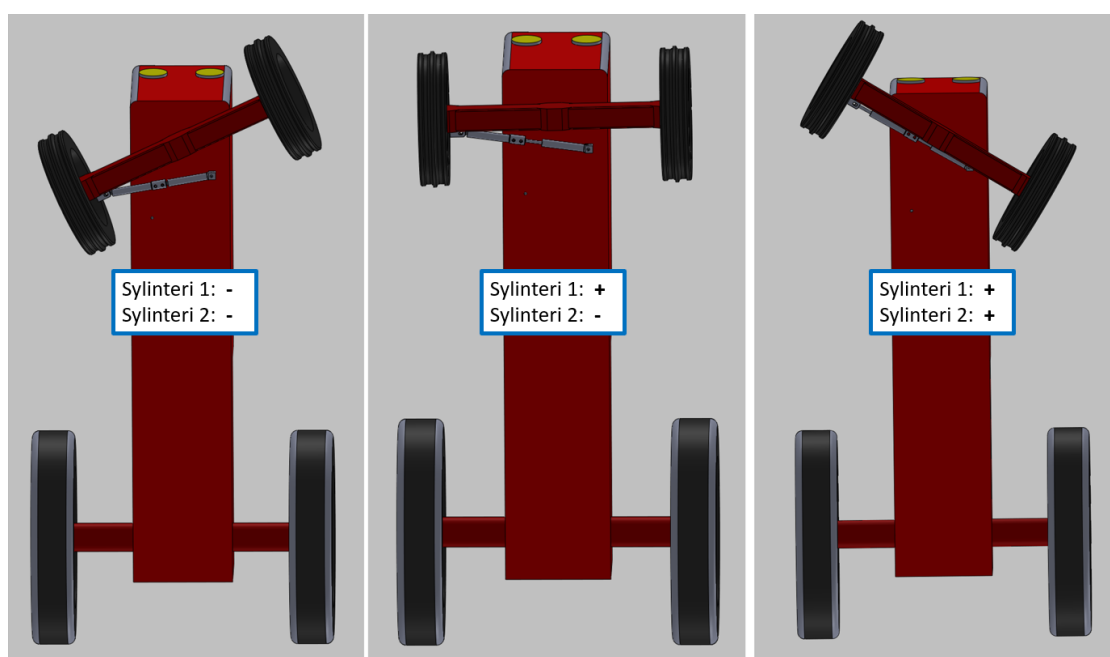
Valtioneuvoston asetus koneiden turvallisuudesta edellyttää hätäkatkaisijaa. Arduinolle on saatavana lyhyen kantaman Bluetooth-yhteyksiä, tekstiviestien välitystä matkapuhelinyhteyden avulla sekä langattoman WiFi-yhteyden ominaisuuksia. Piirikortti Arduino Uno WiFi Rev2 sisältää radiomodulin U-blox NINA-W102, jonka langattoman yhteyden kantama on parhaimmillaan jopa 400 metriä (U-blox AG 2019). Arduinon projektitietokannasta löytyy valmiita esimerkkejä Android-älypuhelimien yhdistämisestä WiFi-yhteydellä Arduinoon. Mikäli puhelimen WiFi-yhteyden lähetysvoimakkuus ei riitä tarvittavalle etäisyydelle, täytyy etäohjaus toteuttaa toisella Arduino Uno WiFi Rev2 -kytkennällä.

Etäyhteyteen tarvitaan hätäpysäytyspainike, jolla työkone pysäytetään tai sammutetaan. Jos työkoneen omat ultraäänianturit antavat hätäpysäytyksen, mutta käyttäjä näkee, että vaaraa ei ole tai hälytyksen aiheuttaja on jo poistunut edestä, etäyhteydellä olisi hyvä pystyä kuittaamaan pysähdystilanne ja jatkamaan työtä. Asetus koneiden turvallisuudesta edellyttää myös, että ohjaustoiminnot ohjataan vain tietyille laitteelle. Arduino Uno WiFi Rev2 -kortilla on asennettuna myös tietoliikenteen suojaamisominaisuuksia sisältävä

komponentti ATECC608A. Liikkeenohjausta ei ole tarkoitus tehdä etäohjauksella, mutta häiriöiden tai ilkivallan vaara langattomissa ohjauksissa pienenee suojatun yhteyden avulla.

5.5 Hydrauliikan komponentit

Useimmissa työkoneissa on paineistettua öljyä käytettävissä, joten se on luonteva valinta ohjauksen toteutukseen. Kytkemällä kaksi hydraulisylinteriä sarjaan voidaan tehdä kolme eri ohjausasentoa: suoraan, vasemmalle ja oikealle. Ohjauksen toimintatapaa on havainnollistettu kuvassa 5.



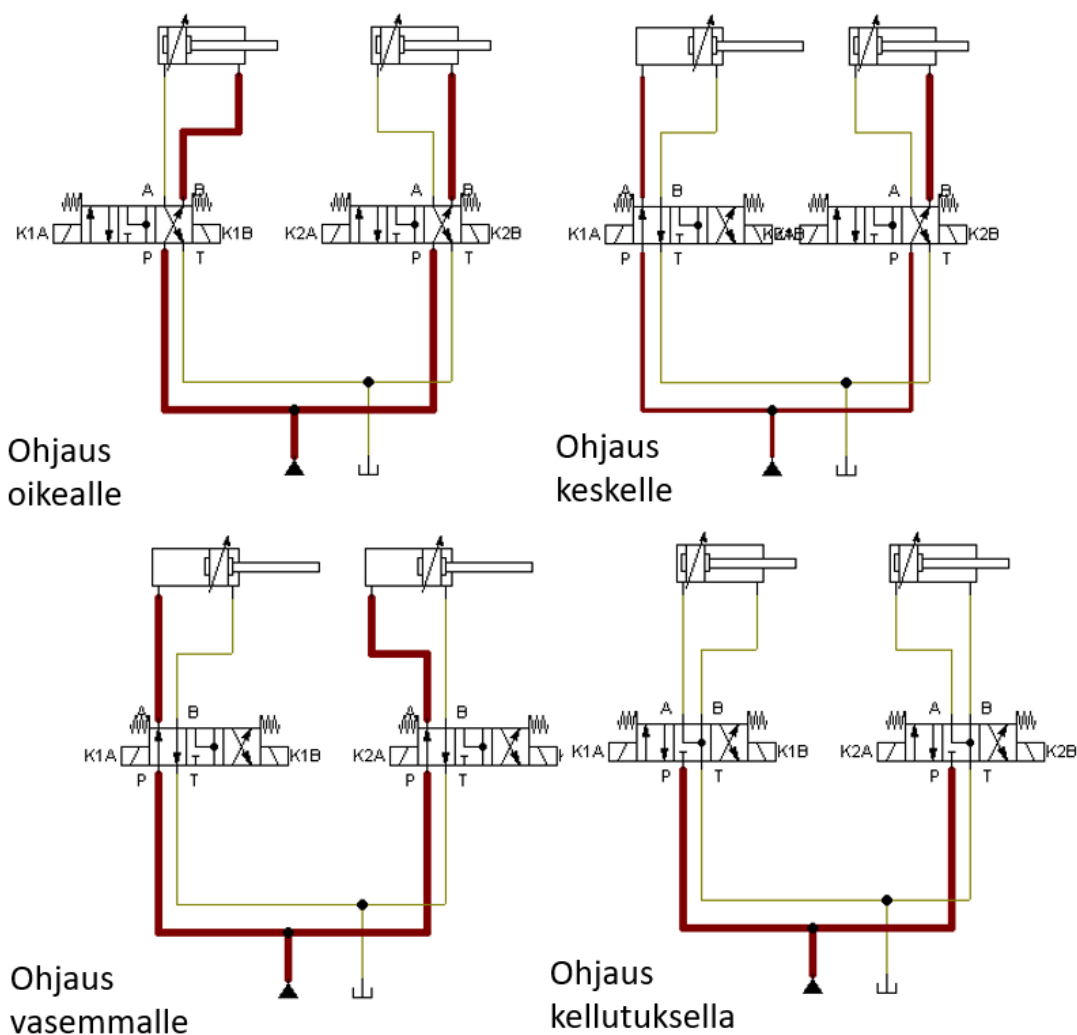
Kuva 5. Kolmiasentoinen ohjaus kahdella sylinterillä

Sylintereille tarvitaan sähköohjatut venttiilit. Arduinolta tuodaan digitaaliohjaus transistorin tai releen välityksellä hydrauliventtiin solenoidille. Jotta siirtymäajossa voidaan käyttää työkoneen normaalia ohjausta, pitää automaattiohjaus saada kelluvaksi silloin, kun automaattiohjausta ei käytetä. Sähköohjattuina löytyy 4/3-venttileitä, joissa on keskellä Y-kara. Työliikkeet ohjataan molempiin suuntiin sähköisesti, ja jousiohjattu keskiasento avaa nestekierron sylinterin molempiin päihin sekä paluuliitännän. Venttiilin piirikaaviomerkinä näkyy kuvassa 6.



Kuva 6. 4/3-venttiili Y-karalla

Ohjaussylinterien ohjausasennot on esitetty kuvassa 7. Kun ohjauksen lähdöt ovat jännitteettöminä, siirtyvät venttiilit kelluvaan asentoon. Näin työkone on ohjattavissa normaalilla ohjauksellaan esimerkiksi sähköhäiriötilanteessa. Kyt-kenttä on tarkoitettu kytkettäväksi vanhaan mekaanisella ohjauksella varustettuun koneeseen, joka ei vastusta liikaa automaattiohjauksylinterien toimintaa. Jos työkoneessa on jo hydraulinen ohjaussylinteri, on käytettävä jotain muuta ratkaisua, mikäli vakio-ohjausta ei saada kellumaan automaattiohjauksen käytön ajaksi.



Kuva 7. Ohjausasennot kaksisylinteriohjauksessa, solenoidiohjatut 4/3 venttiilit Y-karalla

Venttiileiksi sopivat esimerkiksi NG6 4/3 Y-kara A-B -venttiilit, joiden hinta 12 voltin solenoideilla on noin 260 euroa. Sylinteriksi kelpaa perusmallinen kaksitoimisylinteri 40/20x100, joita saa esimerkiksi hintaan 95 euroa/kpl. Kuvassa 8 esitetyssä sylintereissä ei ole mahdollisuutta sylinterin asennontunnistukseen. Letkun metrihinta on noin 10 euroa, ja liittimiä löytyy esimerkiksi hintaluokassa 30 euroa.



Kuva 8. Kaksitoimisylinteri 40x20x100 (IKH)

5.6 Siirtyminen automaattiohjaukseen

Työkone ajetaan normaalilla ohjauksellaan työn aloituspisteeseen. Automaattiohjauksen hydraulikkaa varten liitetään letkut työkoneen hydraulilähtöön. Vanhoissa työkoneissa paineen saaminen pysyvästi ulkoiseen hydraulikkaan voi vaatia käsiohjausventtiilin käyttövipun kiilaamista esimerkiksi vipua vasten painetun lovetun laudan avulla. Käyttäjä kytkee sopivan vaihteen päälle ja säätää käsikaasusta moottorin kierrosnopeuden. Tämän jälkeen kuljettajan on päästävä pois ajoneuvosta ennen koneen liikkeellelähtöä. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi vetämällä lisäsylintereillä kytkin- ja jarrupolkimet pohjaan.

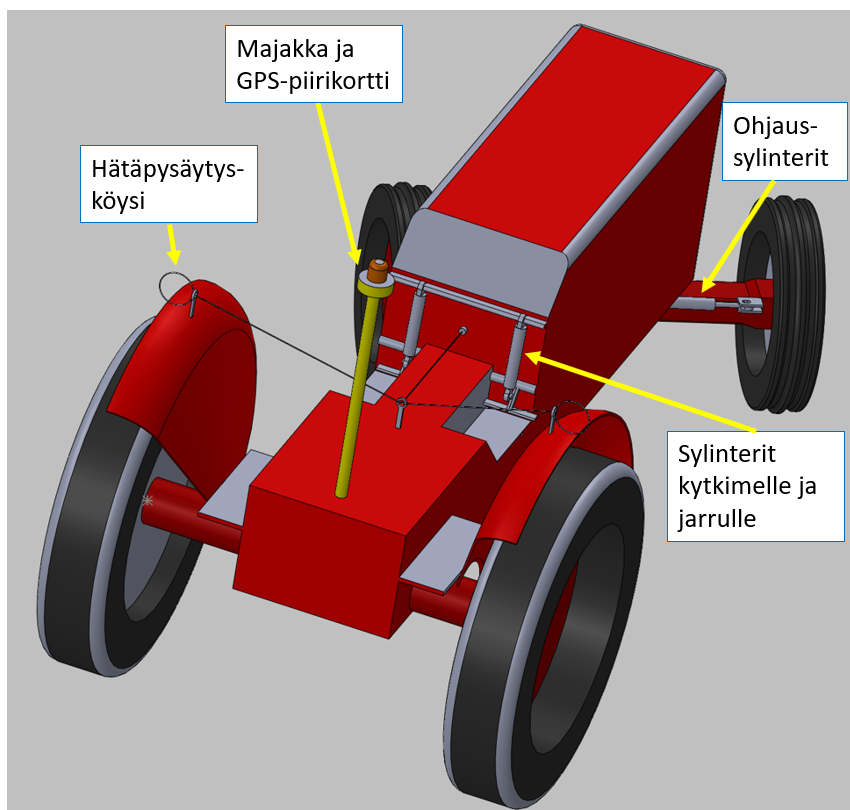
Jotta työkoneita voi ajaa normaalisti siirtymäajoissa, on kytkin- ja jarrupolkimien apusylinterit varustettava myös kelluvalla kytkennällä tai irrotettava ne mekaanisesti polkimista, kun automaattiohjausta ei käytetä. Kytkin- ja jarrupoljinta ohjaavia sylintereitä voidaan käyttää koneen hätäpysäyttämiseen silloin, kun eteen sijoitetut ultraäänianturit havaitsevat esteen.

Jos Arduino ohjaa jarrun ja kytkimen pohjaan kuljettajan poistumisen ajaksi, tarvitaan ohjelmaan jokin liikkeellelähtökäsky. Tämä voi olla jonkinlainen painonappi tai käyttövipu takarenkain sivulla, jotta kuljettaja pääsee turvallisesti pois koneen liikealueelta. On mahdollista käyttää myös aikaviivettä kuljettajan poistumiseen.

5.7 Hätäpysäytys

Työkoneen ulkopuolelle tarvitaan jokin käyttölaite, esimerkiksi naru tai teräsköysi, josta vetämällä työkone pysähtyy. Koneen työnopeuden pitää olla riittävän hidas, jotta sen saa juoksemalla kiinni. Sammutuskatkaisija pitää olla turvallisessa kohdassa saavutettavissa. Köysisilmukka voi olla esimerkiksi takarenkaan yläpuolella siten, että siihen voi tarttua varrellisella koukulla pysyen itse yli metrin päässä koneesta.

Hätäkatkaisimesta voisi ohjata jarrua ja kytkintä. Turvallisempaa on kuitenkin sammuttaa työkone vaihde päällä, jolloin se pysähtyy paikoilleen, vaikka siinä olisi häiriöitä sähköissä tai hydraulikassa. Vanhoissa koneissa sammutukseen käytetään yleisesti vedettävää tai työnnettävää vipua. Mikäli sammutusvipua saadaan käytettyä narusta tai köydestä vetämällä, on se yksinkertaisin tapa pysäyttää kone. Muuten tarvitaan jokin toimilaite myös sammutukseen. Hätäpysäytysköyden sijaintia on havainnollistettu kuvassa 9.



Kuva 9. Ohjausosien sijoittelua

Etäohjauksen hätäpysäytys voi ohjata jarrun ja kytkimen pohjaan, mikäli sähkö ja hydraulikka toimivat. Mikäli sähköissä on häiriöitä, on epävarmaa, toimiiko etäohjaus ollenkaan. Jos etäohjauksen hätäpysäytys ei toimi, on kuljettajan juostava kone kiinni ja sammutettava se sammutusnarusta. Pienikokoinen kone pysähtyy törmätessään ojaan tai maavalliin.

6 SÄHKÖKYTKENTÄ

Käyttöjännitteet otetaan työkoneen sähköjärjestelmästä, joka on yleisesti 12 V akku ja sitä lataava laturi. Arduino Uno WiFi Rev2 -kortin ohjeissa suositellaan käyttöjännitteeksi 7 - 12 voltia. Vanhassa työkoneessa voi olettaa olevan vioittuneita sähköjohtoja, jotka voivat aiheuttaa jännitehäiriöitä. Alennetaan jännite regulaattorilla LM7808 kahdeksaan volttiin. Regulaattorille suositellaan häiriösuodatukseen tulojännitteen puolelle 0.33 μ F ja lähtöjännitteelle 0.1 μ F kondensattoreita. LM7808 antaa virtaa yhden ampeerin verran.

Paikannuspiirin GY-GPS6MV2 jännitesyöttö otetaan omalta regulaattorilta LM7805. Myös 3.3 voltin regulaattoreita löytyy vakiotavarana, mutta käytetään viittä voltia, koska siihen onnistuttiin löytämään toimiva tiedonsiirtokytkentä.

Hydrauliventtiilien solenoideille tuodaan ohjaus Arduinon digitaalilähdöistä transistorien IRL540N välityksellä.

Työkoneen päälle sijoitetaan vilkkuva majakkavallo. Majakalle otetaan 8 voltin jännite LM7808 -piiriltä, jolloin majakka vilkkuu aina, kun Arduinolle on kytketty virta katkaisijasta S1. Sähkökytkentä on esitetty liitteessä 3.

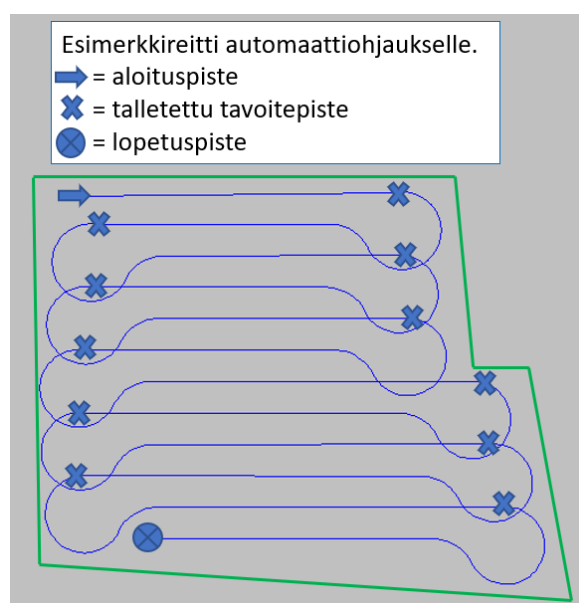
7 OHJELMAKOODI

Yksinkertainen tapa välittää paikannuspisteet ohjelmalle on kirjoittaa ne ohjelmakoodin sisään. Työreitti kuljetaan läpi paikannuslaitteen kanssa, ja tallennetaan halutut kohdepisteet taulukoksi. Taulukko kirjoitetaan osaksi ohjelmakoodia.

Paikannuspiiriltä saadaan tieto nykyisestä kulkusuunnasta kulma-asteina 0° - 360°. Asteikko alkaa pohjoissuunnasta 0°, kiertää myötäpäivään, ja pohjoinen saavutetaan uudestaan suuntakulmassa 360°. Koska suunnan vaihtelu

pohjoissuunnan molemmin puolin aiheuttaa asteluvulle lähes 360 asteen hyp-päyksiä, voi kahden suuntakulman suuruuksien vertailu johtaa väärään ohjauksikäskyyn. Tämä voidaan välttää esimerkiksi lisäämällä koillisalueen suuntakulmiin 360 astetta, jos niitä verrataan luoteisalueen suuntakulmiin. Ohjausta ei kannata korjata jokaisen uuden paikkatiedon perusteella, jotta yksittäiset poikkeamat paikkatiedossa eivät johtaisi koneen ohjautumiseen jyrkästi pois työlinjalta. Ohjaukskulman korjaus voisi toimia kolmen viimeisen kulku-suuntakulman keskiarvon vertaamisella kohteen sijaintikulmaan, ja oikaisuliikettä voisi tavoitella linjavirheen puolittamiseen, jotta ei käännetä liikaa.

Käännös työalueen päädyissä tehdään ohjaamalla sylinterit ääriasennossa. Käännösohjausta jatketaan kokeilemalla haetun aikamäärän verran. Tämän jälkeen ohjaus oikaistaan ja aletaan hakea linjaa kohti seuraavaa tavoitepistettä. Korjaavat ohjausliikkeet linja-ajossa tehdään nopeina sylinteriliikkeinä, joissa ohjausta poikkeutetaan keskiasennosta lyhyen ajan. Poikkeutusaika pienillä kulmakorjauksilla voi olla niin lyhyt, ettei ohjaava sylinteri ehdi käydä ääriasennossaan ennen ohjauksen palautusta keskelle. Ohjausaika suhteessa korjattavaan ohjaukskulmaan täytyy määrittää kokeilemalla, sillä siihen vaikuttaa muun muassa hydrauliiikan paine ja venttiilien toimintanopeus. Ajoreitin muodostamista on havainnollistettu kuvassa 10.



Kuva 10. Esimerkkireitti automaattiohjaukselle tavoitepisteiden kautta

Ohjelmasilmukassa tarkistetaan kaukohallinnan hätäkatkaisu ja ultraääniantu-rien antama vapaa etäisyys koneen edessä. Ajoreitin tavoitepiste poimitaan

taulukosta. Kun on saavuttu halutulle etäisyydelle tavoitepisteestä, käynnistään käännös kohti seuraavaa tavoitepistettä. Käännöksen jälkeen tehdään linjankorjausohjausta. Kun kaikki ohjelmoidut pisteet on käyty läpi, pysäytetään kone vetämällä kytkin ja jarru pohjaan. Kytkin ja jarru vedetään pohjaan myös tilanteessa, jossa ultraäänianturit havaitsevat esteen.

Kytkimen ja jarrun vapautus voidaan tehdä etähallintalaitteen painikkeella. Tämä tarjoaa mahdollisuuden työn käynnistämiseen etähallintalaitteen kanssa siten, että kuljettaja ajaa koneen lähtöpisteeseen ja painaa etähallintalaitteen hätäpysäytyspainiketta. Hätäpysäytys ohjaa kytkimen ja jarrun pohjaan, jolloin kuljettaja voi kytkeä vaihteen ja käsikaasun työasentoon ja nousta pois ohjaamosta. Kun etähallintalaitteella kuitataan hätäpysäytystilanne, lähtee kone liikkeelle.

8 KUSTANNUKSET

Koska tavoitteena on omatoiminen rakentelu, otetaan kustannusten laskennassa huomioon vain ostettavat osat. Sylintereiden kiinnitykset voi hitsailla romuraudasta ja hätäkatkaisijan köysikiinnikkeitä kannattaa sommitella kierrätysosista. Etäohjauslaitteena oletetaan käytettävän vanhaa älypuhelinia. Jos tarvitaan pitempää kantamaa langattomalle yhteydelle, saa toisen Arduino Uno WiFi Rev2 -kortin käyntiin noin sadalla eurolla. Ostososten hintoja on listattu taulukossa 1.

Taulukko 1 . Automaattiohjauksen ostososten kustannuksia

Ostososten kustannuksia		
Arduino-osat, transistorit, sulakkeet, sähköjohdot	200	€
Majakka ja katkaisijat	60	€
Hydraulisylinterit	400	€
Hydrauliventtiilit	1040	€
Hydrauliliittimet ja letkut	400	€
Yhteensä	2100	€

Yksinkertainen järjestelmä on mahdollista rakentaa reilusti edullisemmin kuin ammattitason järjestelmä, joka pyörittää rattia kuljettajan ollessa ohjaamossa mukana. Suurin kustannus tulee sähköisesti ohjattavista

hydrauliikkaventtiileistä, joita ei todennäköisesti löydä käytettyinä. Muita hydrauliikkaosia on saatavilla myös purkuosina.

9 POHDINTA

Harraste-elektroniikan komponentit ovat helpoimmillaan kytkettävissä käyntiin muutamassa minuutissa valmiiden kytkentäohjeiden ja ohjelmaesimerkkien avulla. Ongelmatilanteissa komponentteihin ja ohjelmiin joutuu tutustumaan huomattavasti perusteellisemmin. Kytkentöjen rakentamista ei voi vielä pitää jokamiestason harrastuksena, ainakaan samalla tavalla kuin vanhojen työkoneneiden korjailua. Automaattisen ohjauksen rakentaminen vanhalle työkoneelle taloudellisesti kannattavasti edellyttäisi, että rakentamisen pystyisi tekemään omatoimisesti.

Valituilla peruskomponenteilla on mahdollisuus rakentaa ohjelmoitua reittiä seuraava automaattinen kone. Suomen korkeudella paikannussatelliittien lentoradat näkyvät matalassa kulmassa eteläiseltä taivaalta, ja paikannuksen tarkkuus heikkenee nopeasti, ellei näkyvyys etelään ole täysin avoin. Valitulla kytkentätavalla ei kannata mennä ruokakasveja talleamaan, mutta se voisi soveltua esimerkiksi energiakasvien korjuuseen tai maanmuokkaukseen. Kuljettaja voi antaa koneen tehdä työtä paikannustarkkuutensa rajoissa ja kiivetä lopuksi kuljettajan paikalle viimeistelemään työn jäljen.

Itsekseen liikkuva kone on turvallisuusriski. Varsinkin jos se rakennetaan vanhan, sähköosiltaan kuluneen työkoneneen rungosta ja laadultaan kirjavista harraste-elektroniikan osista. Jos ohjaus menee vikatilaan, ei hitaankaan koneen pysäyttämisen yrittäminen ole turvallista. Työalueen ympäröiminen koneen pysäyttävillä ojilla tai maavalleilla sekä alueen aitaaminen varoituskylttien kanssa antavat mahdollisuuden pitää mahdolliset vahingot pieninä.

Omana tavoitteena oli saada rakennettua toimiva ohjausjärjestelmä esimerkiksi ruohonleikkurille ja testata ohjausta käytännössä. Paikoituspiirien käyttöönotto-ongelmien vuoksi päätettiin luopua kytkennän rakentamisesta. Tältä osin ei saavutettu tavoitteita, mutta opittiin paljon paikannustekniikasta ja automaattiohjauksesta.

Jatkokehityksessä tärkeä osa olisi paikoitustarkkuuden parantaminen.

Paikoitustarkkuuden parantamiseen voisi käyttää ultraääniantureita kohdistettuna ajolinjan suuntaiseen maastokohteeseen. Kameroita voisi hyödyntää sijoittamalla ympäristön värityksestä erottuvia tukipisteitä työalueen reunoihin.

Älypuhelinien valmiita paikannussovelluksia voisi hyödyntää esimerkiksi tekemällä ohjausohjelman älypuhelinsovelluksena ja välittämällä puhelimesta ohjauskäskyt mekaniikalle.

LÄHTEET

Acoptex. 2018. Project 053b NEO-6M GY-GPS6MV2 GPS module. Arduino projektiesittely. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://acoptex.com/project/258/basics-project-053b-neo-6m-gy-gps6mv2-gps-module-at-lex-c/> [viitattu 14.9.2021].

Airu, V. 2009. Paikannus GPS- ja GSM-järjestelmissä. Opinnäytetyö, Tietotekniikan koulutusohjelma, Tampereen ammattikorkeakoulu.

Alcala, E., Puig, V., Quevedo, J., Escobet, T. & Comasolivas, R. 2018. Autonomous vehicle control using a kinematic Lyapunov-based technique with LQR-LMI tuning. *Control Engineering Practice* 73 (2018), 1-12

Aritra_B. 2017. How to Make a Smart RC Car with Steering Wheeling Remote. Arduino projektiesittely. WWW-dokumentti. Saatavissa <https://create.arduino.cc/> [viitattu 07.04.2020].

Cui, Q., Ding, R., Zhou, B. & Wu, X. 2018. Path-tracking of an autonomous vehicle via model predictive control and nonlinear filtering. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol 232(9), 1237-1252.*

Dadhich, A. 2018. Practical Computer Vision. E-kirja. Englanti: Packt Publishing. Saatavissa: <https://kaakkuri.finna.fi/> [viitattu 9.4.2020].

Dahal, A. 2020. Line Follower Using LM3424N with Backup Arduino Nano. Arduino projektiesittely. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://create.arduino.cc/projecthub> .[viitattu 07.04.2020].

Danny_003. 2019. Bluetooth Controlled Car with Arduino Mega. Arduino projektiesittely. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://create.arduino.cc/projecthub/> [viitattu 07.04.2020].

Electropeak. 2018. The Beginner's Guide To Control Motors by Arduino and L293D. Arduino projektiesittely. Saatavissa: <https://create.arduino.cc/>.[viitattu 07.04.2020].

JUHTA. 2016. JHS 197 EUREF-FIN -koordinaattijärjestelmät, niihin liittyvät muutokset ja karttalehtijako. Julkisen hallinnon tietohallinnon neuvottelukunta, julkisen hallinnon suositus 197. Saatavissa <https://www.suomidigi.fi/ohjeet-jatuki/jhs-suositukset/jhs-197-euref-fin-koordinaattijarjestelmat-niihin-liittyvat-muunnokset-ja-karttalehtijako> [viitattu 19.9.2021].

Lantmännen Agro. 2021. Trimble GFX-350 ja Trimble EZ-Steer automaattiohjauspaketti. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.lantmannen-agro.fi/tuotteet/konetarvikkeet/ajo-opastimet/trimble-gfx-350-ja-trimble-ez-steer-automaattiohjauspaketti/> [viitattu 7.2.2021].

Maanmittauslaitos. 2020. Satelliittipaikannus. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.maanmittauslaitos.fi/tutkimus/teematieto/satelliittipaikannus> [viitattu 5.1.2021].

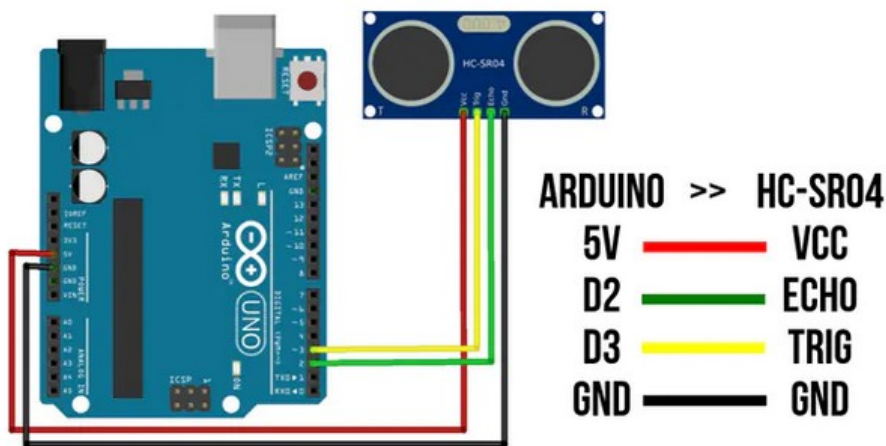
- Miettinen, S., Öörni, S. & Lehtilä, O. 2017. Satelliittinavigointijärjestelmien tehokas hyödyntäminen Suomessa, toimenpideohjelma 2017-2020. Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 14/2017.
- Oksanen, T. 2007. Path Planning Algorithms for Agricultural Field Machines. Espoo. Helsinki University of Technology, Automation Technology Laboratory, Series A: Research Reports No. 31
- Rintoul, J. 2020. Farming for the future: why the Netherlands is the 2nd largest food exporter in the world. *Dutchreview* 20.8.2020. Verkkolehti. Saatavissa: <https://dutchreview.com/news/innovation/second-largest-agriculture-exporter/> [viitattu 7.1.2021].
- Shawn 2019. Arduino GPS Modules – Which one to use? Comparison and Arduino Tutorial. WWW-dokumentti. Saatavissa: <https://www.seeedstudio.com/blog/2019/11/06/arduino-gps-modules-which-one-to-use-guide-and-comparisons/>. [viitattu 7.1.2021].
- Su, J., Wu, J., Cheng, P. & Chen, J. 2018. Autonomous Vehicle Control Through the Dynamics and Controller Learning. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*. Vol.67(7), 5650-5657.
- Svaton, M. 2016. Low-cost implementation of Differential GPS using Arduino. Master thesis, Linköping University, Institution of Technology – Intelligent Transport Systems and Logistics. Linköping/Praha
- Trimble. 2012. Trimble AG-372 GNSS Receiver, User Guide. WWW-dokumentti. Saatavissa: https://www.newhollandplm.com/upload/6f706cea-2732-45ae-ab8d-2239101ef5e6AG-372_UserGuide1A.pdf [viitattu 5.2.2021].
- U-blox AG. 2011. Ublox-6-GPS-Receiver-and-Protocol-Description. Käyttöohje. PDF-dokumentti. Saatavissa [https://www.openimpulse.com/blog/wp-content/uploads/wpsc/downloadables/Ublox-6-GPS-Receiver-and-Protocol-Description.pdf](https://www.openimpulse.com/blog/wp-content/uploads/wp-content/uploads/wpsc/downloadables/Ublox-6-GPS-Receiver-and-Protocol-Description.pdf) [viitattu 14.9.2021].
- U-blox AG 2019 NINA-W10 series Stand-alone Multiradio modules. Pintaliitospiirin datalehti. PDF-dokumentti. Saatavissa https://content.arduino.cc/assets/Arduino_NINA-W10_DataSheet_%28UBX-17065507%29.pdf [viitattu 21.9.2021].
- Uikkanen, E. 2021. Suomessa käytössä olevat vaakakoordinaatistot. WWW-dokumentti. Saatavissa <http://www.kolumbus.fi/eino.uikkanen/geo-docs/kkjgps.htm> [viitattu 17.9.2021].

Liite 1: Ultraäänianturin testausta maastossa

Etäisyysmittaukseen soveltuvaa ultraäänianturia HC-SR04 testattiin Arduinon projektisivuilta löytyneellä valmisohjelmalla “Ultrasonic Sensor HC-SR04 with Arduino Tutorial”, joka löytyy osoitteesta

<https://create.arduino.cc/projecthub/abdularbi17/ultrasonic-sensor-hc-sr04-with-arduino-tutorial-327ff6>

Ultraäänianturi kytkettiin Arduino-korttiin, ja tuloksia vastaanotettiin kannettavaan tietokoneeseen USB-väylän kautta.



Kuva 11: Ultraäänianturin kytkentä

Anturi kiinnitettiin pahvilevyyn. Testaus tehtiin pitämällä kytkentää puutarhatuolin päällä testikohteen edessä, ja kiertämällä anturia vaakatasossa noin 30 asteen verran edestakaisin. Tarkoituksena oli nähdä mittausten vaihtelun kokuokka, jonka perusteella voidaan arvioida anturin soveltumista ajoneuvon ohjaamiseen maastossa.

Testikohde 1: Heinikko

Timotei-heinätesti

18:45:58.912 -> Ultrasonic Sensor HC-SR04 Test

18:45:58.966 -> with Arduino UNO R3

18:45:58.966 -> Distance: 57 cm

18:45:59.968 -> Distance: 69 cm

18:46:00.971 -> Distance: 61 cm

18:46:01.973 -> Distance: 59 cm

18:46:02.976 -> Distance: 60 cm

18:46:03.978 -> Distance: 64 cm

18:46:04.981 -> Distance: 60 cm

18:46:05.983 -> Distance: 57 cm

18:46:06.986 -> Distance: 57 cm

18:46:07.989 -> Distance: 59 cm

18:46:08.991 -> Distance: 59 cm

18:46:09.994 -> Distance: 58 cm

18:46:10.957 -> Distance: 73 cm

18:46:11.960 -> Distance: 53 cm

18:46:12.962 -> Distance: 60 cm

18:46:13.965 -> Distance: 68 cm

18:46:14.967 -> Distance: 60 cm

18:46:15.970 -> Distance: 66 cm

18:46:16.972 -> Distance: 58 cm

18:46:17.975 -> Distance: 56 cm

18:46:18.968 -> Distance: 57 cm

18:46:19.982 -> Distance: 59 cm

18:46:20.931 -> Distance: 63 cm

18:46:21.987 -> Distance: 59 cm

18:46:22.989 -> Distance: 59 cm

18:46:23.992 -> Distance: 64 cm

18:46:24.994 -> Distance: 60 cm

18:46:25.997 -> Distance: 59 cm

18:46:26.946 -> Distance: 59 cm



Kuva 12. Ultraäänianturikytkentä maastotestissä

Ei mittaushäiriöitä, tulokset vastaavat todellisia etäisyyksiä.

Testikohde 2: Vatukko

Vatukko

18:52:52.981 -> Ultrasonic Sensor HC-SR04 Test

18:52:52.981 -> with Arduino UNO R3

18:52:53.651 -> Distance: 85 cm

18:52:54.685 -> Distance: 82 cm

18:52:55.656 -> Distance: 76 cm

18:52:56.690 -> Distance: 88 cm

18:52:57.676 -> Distance: 84 cm

18:52:58.679 -> Distance: 87 cm

18:52:59.681 -> Distance: 89 cm

18:53:00.684 -> Distance: 77 cm

18:53:01.686 -> Distance: 81 cm

18:53:02.689 -> Distance: 82 cm

18:53:03.692 -> Distance: 81 cm

18:53:04.694 -> Distance: 81 cm

18:53:05.696 -> Distance: 80 cm

18:53:06.699 -> Distance: 80 cm

18:53:07.694 -> Distance: 97 cm

18:53:08.681 -> Distance: 105 cm

18:53:09.699 -> Distance: 110 cm

18:53:10.686 -> Distance: 97 cm

18:53:11.704 -> Distance: 98 cm

18:53:12.692 -> Distance: 83 cm

18:53:13.710 -> Distance: 81 cm

18:53:14.697 -> Distance: 84 cm

18:53:15.715 -> Distance: 92 cm

18:53:16.702 -> Distance: 93 cm

18:53:17.720 -> Distance: 85 cm

18:53:18.707 -> Distance: 81 cm

18:53:19.708 -> Distance: 81 cm



Kuva 14. Ultraäänianturin testausta maastossa

Ei mittaushäiriöitä, tulokset vastaavat todellisia etäisyyksiä.

Testikohde 3: Pensaikko

Pajukko

18:58:45.892 -> ?Ultrasonic Sensor HC-SR04 Test
 18:58:47.311 -> with Arduino UNO R3
 18:58:47.311 -> Distance: 46 cm
 18:58:48.314 -> Distance: 47 cm
 18:58:49.333 -> Distance: 47 cm
 18:58:50.319 -> Distance: 47 cm
 18:58:51.322 -> Distance: 60 cm
 18:58:52.324 -> Distance: 76 cm
 18:58:53.327 -> Distance: 77 cm
 18:58:54.330 -> Distance: 78 cm
 18:58:55.332 -> Distance: 68 cm
 18:58:56.335 -> Distance: 76 cm
 18:58:57.332 -> Distance: 96 cm
 18:58:58.337 -> Distance: 49 cm
 18:58:59.339 -> Distance: 46 cm
 18:59:00.342 -> Distance: 46 cm
 18:59:01.345 -> Distance: 46 cm
 18:59:02.300 -> Distance: 47 cm
 18:59:03.303 -> Distance: 49 cm
 18:59:04.306 -> Distance: 55 cm
 18:59:05.308 -> Distance: 61 cm
 18:59:06.310 -> Distance: 71 cm
 18:59:07.313 -> Distance: 72 cm
 18:59:08.315 -> Distance: 76 cm
 18:59:09.301 -> Distance: 73 cm
 18:59:10.341 -> Distance: 74 cm
 18:59:10.842 -> Distance: 111 cm
 18:59:10.842 -> Distance: 111 cm
 18:59:10.889 -> Distance: 111 cm
 18:59:10.889 -> Distance: 111 cm
 18:59:10.943 -> Distance: **1187 cm**
 18:59:10.943 -> Distance: 161 cm
 18:59:10.989 -> Distance: **1193 cm**
 18:59:11.090 -> Distance: **1194 cm**
 18:59:11.090 -> Distance: 161 cm
 18:59:11.143 -> Distance: 162 cm
 18:59:11.143 -> Distance: 161 cm
 18:59:11.243 -> Distance: **1193 cm**
 18:59:11.290 -> Distance: **1193 cm**
 18:59:11.390 -> Distance: **1193 cm**
 18:59:11.390 -> Distance: 155 cm
 18:59:11.791 -> Distance: 172 cm
 18:59:11.791 -> Distance: 155 cm
 18:59:11.845 -> Distance: **1188 cm**
 18:59:11.945 -> Distance: **1194 cm**
 18:59:11.945 -> Distance: 154 cm
 18:59:11.945 -> Distance: 154 cm
 18:59:12.045 -> Distance: **1193 cm**
 18:59:12.045 -> Distance: 117 cm
 18:59:12.092 -> Distance: 118 cm
 18:59:12.092 -> Distance: 117 cm
 18:59:12.092 -> Distance: 160 cm
 18:59:12.092 -> Distance: 158 cm
 18:59:12.146 -> Distance: 116 cm
 18:59:12.146 -> Distance: 133 cm
 18:59:12.192 -> Distance: 117 cm
 18:59:12.192 -> Distance: 134 cm
 18:59:12.192 -> Distance: 137 cm
 18:59:12.246 -> Distance: 136 cm
 18:59:12.246 -> Distance: 135 cm
 18:59:12.293 -> Distance: 137 cm
 18:59:12.293 -> Distance: 75 cm
 18:59:12.293 -> Distance: 105 cm
 18:59:12.346 -> Distance: 75 cm
 18:59:12.346 -> Distance: 104 cm



Kuva 15. Ultraäänianturitestausta pensaikossa

Mittaukset vastaavat pääosin todellisia etäisyyksiä. Punaisella on korostettu mittaustuloksia, joissa anturi ei ole havainnut pensaikkoa.

Liite 2: Paikannuspiirikortti GY-GPS6MV2:n testausta

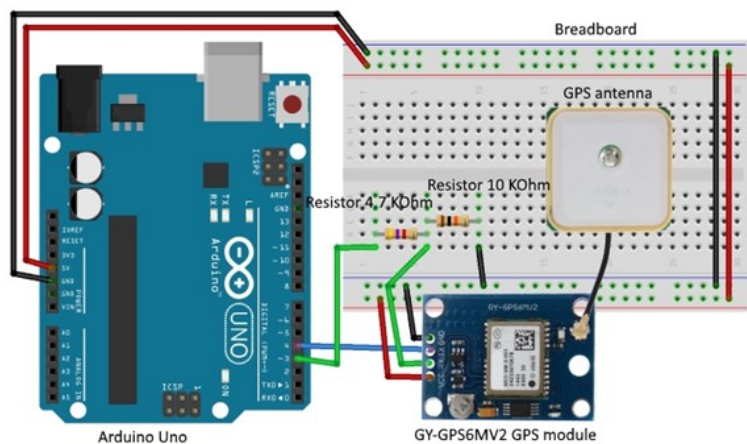
Testi 1: Toistettavuus avoimessa maastossa, anturi paikoillaan

Satelliittipaikannuslaitteen toimintaa kokeiltiin avoimella peltoalueella, joka kallistuu etelään päin. Tällaisella kohteella voidaan olettaa paikannuksen toimivan häiriöttömästi ja paikannustarkkuuden olevan paras mitä laitteistolla voi saavuttaa.

Arduino sai virtansa kannettavan tietokoneen akusta USB-kaapelilla, ja paikannuspiirille syötettiin viiden voltin jännite Arduino Unon jännitelähdöstä. Kuvissa 16 ja 17 näkyy työssä aiemmin esitelty kytkentätapa Arduinin ja GPS-piirin välillä. Maaston avoimuutta havainnollistetaan kuvassa 18.



Kuva 16. GPS-testausta maastossa



Kuva 17. Maastotestissä käytetty GPS-piirin kytkentä Arduino Unoon



Kuva 18. Avoin etelärinne paikannustestauskohteena

Häiriöisessä ympäristössä saadaan paikoillaan oleva paikannuspiiri antamaan tuloksia, joiden mukaan anturi olisi nopeassa liikkeessä, jopa 2 km/h, vaihteleviin suuntiin. Avoimessa maastossa anturin antamaksi liikenopeudeksi paikoillaan olevalle anturille saatiin suurimmillaan 0.2 km/h, mikä vastaa $0.2\text{km/h} \cdot (1000\text{m/km}) / (3600\text{s/h}) = 0.06\text{ m/s}$. Kun mittauksia saadaan sekunnin välein, toisti paikannuslaite omia mittauksiaan 6 senttimetrin tarkkuudella. Parhaimmillaan paikannuspiiri vastaanotti tietoa 11 satelliitilta. Tuloksia on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. GPS-mittaustuloksia, kun anturia ei liikuteta

FullExample.ino

An extensive example of many interesting TinyGPS++ features

Testing TinyGPS++ library v. 1.0.1

by Mikal Hart

NEO-6M -piirin ilmoittama liikenopeus
paikoillaan olevalle paikannuslaitteelle [m/s]

Sats	HDOP	Latitude (deg)	Longitude (deg)	Fix	Date Age	Time Age (m)	Date Alt --- from GPS	Speed	Card	Distance	Course	Card	Chars	Sentences	Checksum
*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****	*****
11	81	61.693508	27.324811	201	10/02/2021	14:25:14	329	89.10	0.00	0.09	N	2003	248.14	WSW	853 2 1
10	87	61.693511	27.324813	338	10/02/2021	14:25:15	452	89.10	0.00	0.11	N	2003	248.14	WSW	1380 4 1
9	94	61.693511	27.324817	411	10/02/2021	14:25:16	526	89.00	0.00	0.07	N	2003	248.14	WSW	1875 6 1
9	94	61.693511	27.324821	487	10/02/2021	14:25:17	601	88.90	0.00	0.15	N	2003	248.14	WSW	2370 8 1
10	112	61.693511	27.324823	562	10/02/2021	14:25:18	677	88.90	0.00	0.17	N	2003	248.14	WSW	2869 10 1
10	94	61.693515	27.324827	636	10/02/2021	14:25:19	750	88.90	0.00	0.00	N	2003	248.14	WSW	3368 12 1
10	94	61.693515	27.324831	711	10/02/2021	14:25:20	826	88.90	0.00	0.00	N	2003	248.14	WSW	3867 14 1
9	94	61.693515	27.324834	790	10/02/2021	14:25:21	904	88.80	0.00	0.06	N	2003	248.14	WSW	4417 16 1
9	94	61.693515	27.324842	49	10/02/2021	14:25:23	64	88.70	0.00	0.02	N	2003	248.14	WSW	5091 20 1
9	94	61.693515	27.324846	118	10/02/2021	14:25:24	248	88.50	0.00	0.02	N	2003	248.14	WSW	5749 22 1
9	94	61.693515	27.324850	290	10/02/2021	14:25:25	419	88.40	0.00	0.04	N	2003	248.14	WSW	6342 24 1
9	94	61.693515	27.324853	335	10/02/2021	14:25:26	449	88.30	0.00	0.09	N	2003	248.14	WSW	6837 26 1
9	94	61.693515	27.324855	413	10/02/2021	14:25:27	528	88.20	0.00	0.04	N	2003	248.14	WSW	7332 28 1
9	94	61.693515	27.324859	486	10/02/2021	14:25:28	600	88.30	0.00	0.17	N	2003	248.14	WSW	7827 30 1
9	94	61.693515	27.324859	561	10/02/2021	14:25:29	676	88.30	0.00	0.13	N	2003	248.14	WSW	8322 32 1
9	94	61.693515	27.324861	639	10/02/2021	14:25:30	752	88.30	0.00	0.07	N	2003	248.14	WSW	8817 34 1
9	94	61.693515	27.324863	708	10/02/2021	14:25:31	822	88.30	0.00	0.04	N	2003	248.14	WSW	9312 36 1
9	94	61.693515	27.324867	791	10/02/2021	14:25:32	906	88.20	0.00	0.09	N	2003	248.14	WSW	9860 38 1
9	94	61.693515	27.324867	47	10/02/2021	14:25:34	63	88.10	0.00	0.00	N	2003	248.14	WSW	10534 42 1
9	94	61.693515	27.324869	118	10/02/2021	14:25:35	246	87.90	0.00	0.13	N	2003	248.14	WSW	11223 44 1
9	94	61.693515	27.324867	287	10/02/2021	14:25:36	417	87.80	0.00	0.02	N	2003	248.14	WSW	11880 46 1
9	94	61.693515	27.324867	368	10/02/2021	14:25:37	481	87.80	0.00	0.02	N	2003	248.14	WSW	12406 48 1
9	94	61.693515	27.324867	443	10/02/2021	14:25:38	557	87.80	0.00	0.00	N	2003	248.14	WSW	12932 50 1
10	94	61.693515	27.324867	519	10/02/2021	14:25:39	632	87.80	0.00	0.06	N	2003	248.14	WSW	13462 52 1
9	94	61.693515	27.324865	595	10/02/2021	14:25:40	710	87.70	0.00	0.06	N	2003	248.14	WSW	13988 54 1
11	94	61.693515	27.324865	669	10/02/2021	14:25:41	782	87.70	0.00	0.04	N	2003	248.14	WSW	14522 56 1
9	94	61.693515	27.324863	746	10/02/2021	14:25:42	860	87.70	0.00	0.19	N	2003	248.14	WSW	15048 58 1
9	94	61.693515	27.324863	882	10/02/2021	14:25:43	1011	87.50	0.00	0.11	N	2003	248.14	WSW	15758 62 1
9	94	61.693515	27.324861	71	10/02/2021	14:25:45	199	87.30	0.00	0.07	N	2003	248.14	WSW	16450 64 1
8	113	61.693515	27.324861	240	10/02/2021	14:25:46	369	87.20	0.00	0.06	N	2003	248.14	WSW	17139 66 1
9	113	61.693515	27.324861	366	10/02/2021	14:25:47	480	87.10	0.00	0.02	N	2003	248.14	WSW	17674 68 1

Testi 2: Liikkuminen suorilla linjoilla

Testikykentä vietiin puoliavoimen maaston reunaan. Kohdepisteeksi valittiin koivupuu alueen pohjoisreunassa. Paikannustestausohjelmaa FullExample.ino muutettiin kirjoittamalla valmisohjelman kurssihakukohteen tilalle koivupuun luona mitatut leveys- ja pituusmittalukemat. Muutos on kommentoitu alle liitettyyn ohjelmakoodin alkuosaan:

```

/*
  Project: NEO-6M GY-GPS6MV2 GPS module
  Function: This sample code demonstrates the normal use of a TinyGPS++ (TinyGPSPlus) object.

  The module GND pin is connected to Arduino GND pin
  The module RX pin is connected to Arduino pin 3
  The module TX pin is connected to Arduino pin 4
  The module VCC pin is connected to Arduino 5V pin
  */
  /*******
  #include <TinyGPS++.h> //include the library code
  #include <SoftwareSerial.h> //include the library code
  /*******
  TinyGPSPlus gps; // The TinyGPS++ object
  SoftwareSerial ss(4, 3); // The serial connection to the GPS device
  void setup()
  {
    Serial.begin(9600);
    ss.begin(9600);

    Serial.println(F("FullExample.ino"));
    Serial.println(F("An extensive example of many interesting TinyGPS++ features"));
    Serial.print(F("Testing TinyGPS++ library v. ")); Serial.println(TinyGPSPlus::libraryVersion());
    Serial.println(F("by Mikal Hart"));
    Serial.println();
    Serial.println(F("Sats HDOP Latitude Longitude Fix Date Time Date Alt Course Speed Card Distance
    Course Card Chars Sentences Checksum"));
    Serial.println(F("      (deg) (deg) Age          Age (m) --- from GPS ---- ---- to point ---- RX  RX
    Fail"));
    Serial.println(F("-----"));
    --");
  }

  void loop()
  {
    static const double LONDON_LAT = 61.695594, LONDON_LON = 27.335300;
    /* TÄHÄN KOHTAAN SYÖTETÄÄN MITATUT KOORDINAATIT JA KÄÄNNETÄÄN OHJELMA UUDESTAAN */

    printInt(gps.satellites.value(), gps.satellites.isValid(), 5);
    printInt(gps.hdop.value(), gps.hdop.isValid(), 5);
    printFloat(gps.location.lat(), gps.location.isValid(), 11, 6);
    printFloat(gps.location.lng(), gps.location.isValid(), 12, 6);
    printInt(gps.location.age(), gps.location.isValid(), 5);
    printDateTime(gps.date, gps.time);
    printFloat(gps.altitude.meters(), gps.altitude.isValid(), 7, 2);
    printFloat(gps.course.deg(), gps.course.isValid(), 7, 2);
    printFloat(gps.speed.kmph(), gps.speed.isValid(), 6, 2);
    printStr(gps.course.isValid() ? TinyGPSPlus::cardinal(gps.course.deg()) : "**** ", 6);

    unsigned long distanceKmToLondon =
      (unsigned long)TinyGPSPlus::distanceBetween( gps.location.lat(), gps.location.lng(), LONDON_LAT, LON-
      DON_LON) / 1000;
    /* JOS POISTETAAN JAKO TUHANNELLA, SAADAAN ETÄISYYS KOHTEESEEN METREINÄ */

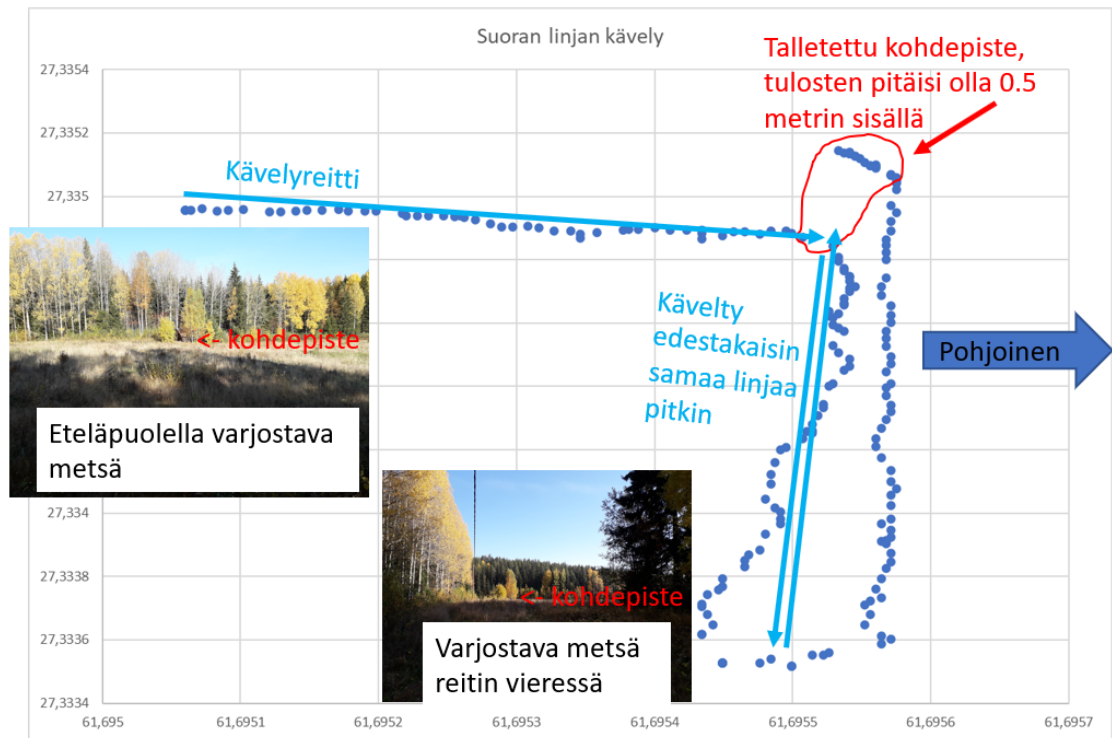
    printInt(distanceKmToLondon, gps.location.isValid(), 9);

    double courseToLondon =
      TinyGPSPlus::courseTo( gps.location.lat(), gps.location.lng(), LONDON_LAT, LONDON_LON);

    printFloat(courseToLondon, gps.location.isValid(), 7, 2);
    const char *cardinalToLondon = TinyGPSPlus::cardinal(courseToLondon);
    printStr(gps.location.isValid() ? cardinalToLondon : "**** ", 6);
    printInt(gps.charsProcessed(), true, 6);...
  }

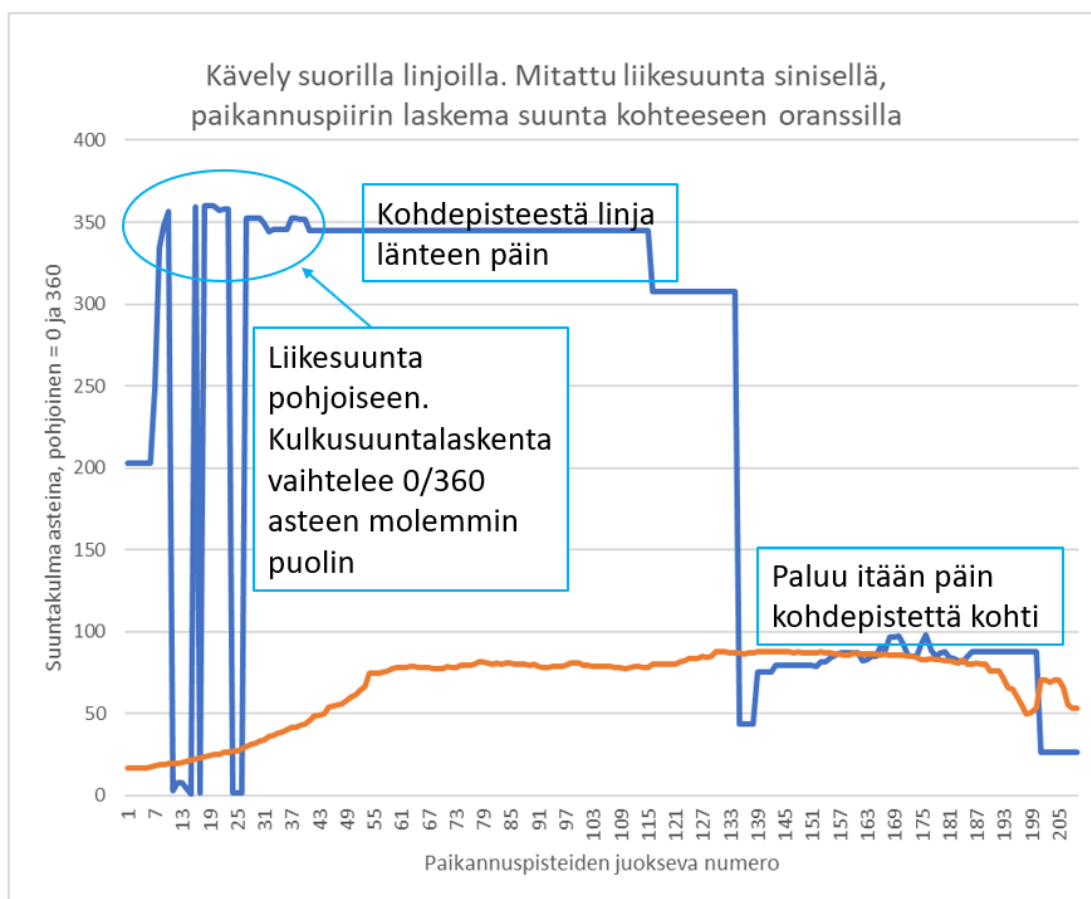
```

Paikannuksen käynnistyminen ohjelmakäynnöksen jälkeen vei yli 15 minuuttia. Paikannuksen käynnistyttyä käveltiin suora linja eteläpuoleisen reunametsän katveesta kohti kohdepistettä. Kohdepisteeltä otettiin suora linja alueen reunassa olevan sähköpylvään luokse, ja käveltiin samaa reittiä takaisin kohdepisteelle. Saatuja mittaustuloksia on koottu kuvaan 19.



Kuva 19. Mittauspisteitä suorista linjoista puoliavoimessa maastossa

Paikannuspiirin laskemat suuntakulmat on esitetty kuvassa 18. Kulma-asteikoissa 0° ja 360° vastaavat ilmansuuntana pohjoista. Ensimmäinen liike suuntautui pohjoista kohti, ja paikannuspiirin laskemat kulkusuuntalukemat vaihtelevat vähän alle 360 astetta ja vähän yli 0 astetta -lukemissa. Jos kulkusuuntalukemia käytetään automaattiohjauksessa, on tämä lukemien epäjatkuvuus pohjoissuunnan molemmin puolin otettava huomioon laskennassa.



Kuva 20. Paikannuspiirin laskemat suuntakulmat kulkusuunnalle ja kohdepisteen sijainnille

Paikannuspiirin laskemassa suunnassa kohdepisteeseen, mikä näkyy kuvassa oranssina viivana, on outoa asteluvun muuttuminen ensimmäisessä lähestymisessä. Oranssin viivan mukaan tavoitepistettä lähestyttäisiin kaarevaa linjaa pitkin ja suuntakulma muuttuisi koko ajan, vaikka pistettä kohti käveltiin jatkuvalla katsetähtäyksellä ja suuntakulman olisi pitänyt pysyä vakiona. Sekä oman kulkusuunnan lasketun arvon vaihtelu että tavoitekulkusuunnan kaareutumisen johtunevat metsän aiheuttamista varjostuksista ja sen aiheuttamista virheistä paikkatietoon.

Edettäessä kohdepisteestä pois päin ja takaisin suuntakulmat pysyvät yllättävän tasaisina, vaikka kuvan 19 paikkatietopisteet vaeltavat. Huomionarvoista suuntalinjoissa on se, että voimakkaat heilahtelut suuntakulmissa aiheuttavat suuria häiriöitä koneen ohjauksessa. Yksittäistä mittaustulosta ei kannata käyttää ohjausohjeena, vaan paikkatietoja on otettava useampi peräkkäin ennen ohjauksikäskyn antamista.

Liite 4: Hydraulikkakytettä

