

Jukka Koivisto

Satelliittipaikannus koneohjauksessa

Työkoneen automaattiohjaus

Opinnäytetyö

Syksy 2010

Tekniikan yksikkö

Auto- ja kuljetustekniikan koulutusohjelma

Auto- ja työkonetekniikka



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖN TIIVISTELMÄ

Koulutusyksikkö: Tekniikan yksikkö

Koulutusohjelma: Auto- ja kuljetustekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Auto- ja työkonetekniikka

Tekijä: Jukka Koivisto

Työn nimi: Satelliittipaikannus koneohjauksessa - Työkoneen automaattiohjaus

Ohjaaja: Hannu Ylinen

Vuosi: 2010

Sivumäärä: 39

Liitteiden lukumäärä: -

Satelliittipaikannus koneohjauksessa on yleistynyt nopeasti. Tekniikkaa voidaan soveltaa lähes mihin tahansa liikkuvaan koneeseen riippumatta koneen käyttötarkoituksesta. Satelliittipaikannuksen avulla koneen sijainti maastossa voidaan määrittää olosuhteista riippumatta. Kustannussäästöjä saadaan aikaan työtehon ja työlaadun parantumisen ansiosta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää satelliittipohjaisten koneohjausjärjestelmien toimintaa. Työ on toteutettu tutustumalla kirjallisuuteen, eri satelliittipaikannusmenetelmiin ja laitteiden teknisiin tiedonantoihin. Tavoitteena oli löytää Seinäjoen ammattikorkeakoulun Avant 520 -pienkuormaajaan sopiva laitteisto työkonetekniikan opetuskäyttöön.

Selvitystyön pohjalta laitteistoksi valikoitui GPS-tekniikkaa hyödyntävä ajouraopastin varustettuna automaattiohjauksella. Tällä laitteistolla tärkeimmät kriteerit, eli laitteen käytettävyyden, monipuolisuuden ja laajennettavuuden toteutuivat. Ajouraopastin soveltuu juuri monipuolisuutensa ja laajennettavuutensa vuoksi hyvin opetuskäyttöön, joka on tässä tapauksessa laitteiston keskeinen tehtävä tulevaisuudessa.

Asiasanat: Automaattiohjaus, satelliittipaikannus, työkoneet

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Thesis abstract

Faculty: School of Technology

Degree programme: Automotive and Transportation Engineering

Specialisation: Automotive and Work Machine Engineering

Author: Jukka Koivisto

Title of the thesis: Satellite positioning of the work machine control-
Automated guidance of the work machine

Supervisor: Hannu Ylinen

Year: 2010

Number of pages: 39

Number of appendices: -

The uses of the satellite positioning devices have become more common. The technology can be applied to almost any rolling machinery regardless of the intended use of the machine. The satellite positioning allows the machine to determine the location of the terrain whatever the circumstances are. The cost savings are expected due to the improvement of work efficiency and quality.

The purpose of this thesis is to clarify the functioning of the satellite based machine control. The thesis has been done getting acquainted with the literature, various positioning methods and equipment technical data. The aim was to find a suitable satellite positioning control system to a compact multipurpose loader called Avant 520 for the educational use at School of Technology of Seinäjoki University of Applied Sciences.

Based on this thesis a device system with a guidance system of the automated guidance was selected. This system uses the GPS technology. This device system has all the important criteria which are usability, versatility and expandability. The guidance system is compatible just because of its versatility and expandability for educational purpose, which is the key role in the future in this case.

Keywords: automated guidance, satellite positioning, work machinery

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

SISÄLLYS

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

1 JOHDANTO	7
2 SATELLIITTIPAIKANNUS	9
2.1 Historia.....	9
2.2 Periaatteet.....	12
2.3 Mittaustarkkuus ja virhelähteet	14
2.4 Mittaustarkkuuden parantaminen.....	16
3 SATELLIITTIPAIKANNUS JÄRJESTELMÄT	19
3.1 GPS	19
3.2 GLONASS.....	21
3.3 Galileo.....	22
4 SATELLIITTIPAIKANNUS KONEOHJAUKSESSA.....	25
4.1 Koneohjauksen vaatimukset	25
4.2 Opastavat järjestelmät	26
4.3 Ohjaavat järjestelmät	27
5 KOHTEENA OLEVA TYÖKONE	29
5.1 Laitteiston valinta	29
5.2 Laitteiston asennus	31
5.3 Laitteiston toiminta	32
6 KONEOHJAUKSEN KEHITYSNÄKYMÄT	34
7 YHTEENVETO	36
LÄHTEET.....	38

KÄYTETYT TERMIT JA LYHENTEET

DGPS	Differentiaalinen GPS
DOP	Dilution of Precision, paikannuksen hyvyysluku
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service, geostationäärisen satelliitin lähettämiin korjaussignaaleihin perustuva differentiaalikorjausjärjestelmä
Inklinaatio	Satelliitin kaltevuus kulma päiväntasaajaan nähden
Kantoaalto	Tietyn taajuinen, säännöllinen signaali, jota moduloimalla se saadaan kuljettamaan informaatiota
Konstellaatio	Tähdistö, tähtikuvio; taivaankappaleiden sijainti toisiinsa nähden
Päiste	Pellon pääty tai muu pellon reuna-alue
RTK	Real Time Kinematic, Reaaliaikainen kinemaattinen mitaus
Segmentti	Tietyn kokonaisuuden osa
VRS	Virtual Reference Station, virtuaalinen tukiasema

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

KUVIO 1. Satelliittipaikannusjärjestelmien kehittyminen	12
KUVIO 2. Satelliittipaikannusjärjestelmän segmentit	13
KUVIO 3. Satelliittipaikannukseen virheitä aiheuttavia tekijöitä.....	16
KUVIO 4. Differentiaalikorjauksen toimintaperiaate	17
KUVIO 5. RTK-mittauksen periaate	18
KUVIO 6. GPS-satelliitit	20
KUVIO 7. GLONASS-satelliitit.....	22
KUVIO 8. GALILEO-satelliitit.....	24
KUVIO 9. Senttimetrin tarkkaa työtä	27
KUVIO 10. Trimble fmx-ajouraopastin	31
KUVIO 11. Servomoottori asennettuna ohjauspyörään	32
KUVIO 12. Tulevaisuuden traktori?.....	35

1 JOHDANTO

Alun perin satelliittipaikannus on syntynyt sotilaallisten tarpeiden pohjalta. Suunnitelmat globaalista navigointijärjestelmästä ovat olleet jo 1940-luvulta ja ensimmäiset satelliitin avulla tapahtuvat paikanmääritykset suoritettiin 1960-luvun alkupuolella.

Nykyään on käytössä amerikkalainen navigointi- ja paikannusjärjestelmä NAVSTAR GPS, joka on saanut alkunsa vuonna 1973. Järjestelmä on saavuttanut täydellisen kokoonpanonsa vuonna 1994. Tällä hetkellä käytössä olevista paikannusjärjestelmistä käytetyin ja laajin on GPS-järjestelmä. Toisena ja globaalisti vähemmän käytettynä satelliittipaikannusjärjestelmänä on venäläinen GLONASS-järjestelmä, joka on käynnistynyt vuonna 1982 ja saavuttanut lopullisen laajuutensa vuonna 1996. Lisäksi kehitteillä on eurooppalainen Galileo-järjestelmä, jonka on tarkoitus tulla käyttöön lähivuosien aikana.

Tässä opinnäytetyössä keskitytään lähinnä maataloudessa käytettäviin satelliittipaikannusperustaisiin opastaviin ja ohjaaviin järjestelmiin. Aihe rajautui näihin käytännön syistä, koska haluttiin toteuttaa automaattiohjaus laitteistolla, joka olisi helppo asentaa ilman muutoksia koneen tekniikkaan tai rakenteeseen. Lisäksi olisi hyvä, että laite olisi helposti siirrettävissä koneesta toiseen. Ainoaksi vaihtoehdoksi muodostui maatalouden työkoneissa käytettävä ajouraopastin.

Kaikkien satelliittipaikannusjärjestelmien toimintaperiaate on samanlainen, eli järjestelmään kuuluu kolme eri segmenttiä (avaruus-, hallinta- ja käyttäjäsegmentti). Avaruussegmenttiin kuuluvat maapalloa kiertävät satelliitit, hallintasegmenttiin kuuluvat maanpäälliset valvonta-asemat ja käyttäjäsegmenttiin kuuluvat paikannusvastaanottimet. Satelliittipaikannusjärjestelmän toimintaperiaate konkreettisesti ajatellen on seuraava: Paikannusvastaanotin vastaanottaa signaaleja satelliiteilta, joiden avulla vastaanotin määrittää tarkan paikkansa. Satelliitit ovat yhteydessä maanpäällisiin valvonta-asemiin, jotka

tarvittaessa korjaavat satelliittien lentoratoja sekä satelliittien signaalien avulla lähettämiä tietoja.

Tässä opinnäytetyössä on tarkoituksena antaa perustelut sopivimman satelliittipohjaisen automaattiohjausjärjestelmän hankintaan Seinäjoen ammattikorkeakoulun Avant 520 -pienkuormaajaan konetekniikan opetuskäyttöön. Perustelun pohjana käytetään kirjallisuuslähteitä, joissa tarkastellaan nykyään käytössä olevia eri satelliittipaikannusjärjestelmiä sekä edellä mainittua satelliittipohjaisen automaattiohjausjärjestelmän toimintaa.

2 SATELLIITTIPAIKANNUS

2.1 Historia

Ihmisellä on ollut tarve kautta aikojen tietää sijaintinsa suhde paikkaan. Nykyajan ihmisen paikkatiedolle on harvoin tärkeää merkitystä, mutta sen sijaan luonnossa ja vesillä liikkujalle paikkatiedolle on tarvetta eksymisen ehkäisemiseksi. Ihminen on kautta aikojen käyttänyt lähiympäristössään erilaisia paikannuskonsteja päästäkseen tiettyyn paikkaan uudelleen sekä vieraammasta paikasta takaisin lähtöpisteeseen. Paikannuksen apuna on käytetty muun muassa luonnossa olevia maamerkkejä, kuljetun reitin varrella puista on taiteltu oksia tai kasattu kiviä eli tehty omia maamerkkejä. Elinpiirin laajennuttua paikantamiseen käytettiin taivaankappaleita, aurinkoa ja tähtiä. (Miettinen 1998, 14.)

1900-luvun alkupuolella paikantamisessa käytettiin muun muassa auringonpimenyksiä ja kuun aiheuttamia tähtipeittoja. Tällä menetelmällä on päästy jopa 140 metrin tarkkuuksiin. Akateemikko Yrjö Väisälän 1940-luvulla kehittämä tähtikolmiomittaus oli käytössä 1970-luvulle saakka. Vastaavaa kolmiomittausta käytettiin ensimmäisten satelliittien myötä myös 60-luvulla ja 70-luvun alussa suurempien kolmioiden mittaukseen. Valonlähteenä oli satelliitti, jonka aurinko valaisi. Satelliitin paikat kuvattiin tähtien suhteen. Optisen satelliitin (Pageos) avulla on mitattu globaalinen verkko, joka käsittää 45 asemaa. Tällä päästiin 20 metrin absoluuttiseen ja 5 metrin suhteelliseen tarkkuuteen. Nämä menetelmät olivat työläitä ja säiden armolla, joten nämä ovat jääneet historiaan. (Poutanen 1998, 14.)

Ensimmäiset kokeet lasersatelliitilla (SLR) tehtiin 1960-luvun puolivälissä. Satelliitit olivat varustettu kulmaprismoilla, joihin lähetettiin laserpulsseja. Laserpulssin kulkuajasta voitiin laskea satelliitin etäisyys. Kun satelliitin rata tiedettiin, sen avulla voitiin määrittää paikka. (Poutanen 1998, 15.)

Läheistä sukua satelliittilasertekniikalle oli kuulaser, jossa kuuhun oli sijoitettu viisi kulmaprismaheijastinta. Nämä on viety 1970-luvun alussa kuuhun suuntautuneilla Apollo- ja Luna-lennoilla. (Poutanen 1998, 15.)

Yleensä ajatellaan satelliittipaikannuksen olevan suhteellisen uutta tekniikkaa, mutta jo 1940-luvulla oli ideoitu globaalia navigointijärjestelmää. 1950-luvulla käynnistetyt hankkeet saivat Vietnamin sodasta vauhtia toteutumiselle. Esteenä suunnitelmille oli avaruus- ja tietotekniikan kehittymättömyys. (Miettinen 2002, 18.)

Satelliittien aikakausi avaruudessa alkoi 4.10.1957, kun Neuvostoliitto laukaisi maailman ensimmäisen satelliitin, Sputnik 1, avaruuteen. Tämän seurauksena satelliittipaikannusjärjestelmien kehitys ja toteutus alkoi edetä (Kuvio 1). (Avaruustekniikka-maailman ensimmäiset satelliitit 28.1.2010.)

Amerikkalaiset käynnistivät vuonna 1964 Transit-järjestelmän, joka oli kehitetty laivaston ja erityisesti ydinsukellusveneiden ohjaamiseen. Transit-järjestelmän käyttö sallittiin siviileille kolme vuotta myöhemmin. Järjestelmään kuului kuusi satelliittia, joiden korkeus oli vain 1000 kilometriä. Järjestelmä toimi lyhyinä jaksoina osassa maapalloa eikä sitä voitu käyttää reaaliaikaiseen paikannukseen. Tarkkuus oli 35–100 metriä. Järjestelmä poistui käytöstä vuonna 1996. (Miettinen 2002, 18.) Venäläinen PARUS on sotilaallinen paikannusjärjestelmä, joka on ollut laivaston käytössä. Hanke käynnistyi vuonna 1967 (Parus, [Viitattu 3.6.2010]).

Amerikkalainen navigointi- ja paikannusjärjestelmä NAVSTAR GPS sai alkunsa vuonna 1973, kun Yhdysvaltojen 1960-luvulla käynnistetyt laivaston Timation ja ilmavoimien 621B-navigointijärjestelmät yhdistettiin. Järjestelmä valmistui viivästysten takia suunniteltuun kokoonpanoonsa vasta vuonna 1994. (Poutanen 1998, 19.)

Neuvostoliitto käynnisti vuonna 1979 Tsikada-järjestelmän armeijan tarpeisiin, toimintaperiaate ja toteutus olivat tärkeimmiltä osiltaan yhdysvaltalaisen Transit-järjestelmän kaltaisia. (Miettinen 2002, 19.)

Argos on ranskalais-amerikkalainen tiedonkeruu- ja paikannusjärjestelmä, joka aloitti toimintansa vuonna 1979. Argosta käytetään maailmanlaajuiseen tieteellisen tiedon keräämiseen sekä paikantamiseen. Paikannustarkkuus on parhaimmillaan 500 metriä. Satelliitit keräävät tietoa mittausasemilta ja antureilta, jotka sijaitsevat ympäri maapalloa. Satelliitit lähettävät kerätyt tiedot maa-asemille, jolloin voidaan tehdä laajapohjaisia sääennusteita nopeasti eri puolella maailmaa tehtyjen sääha-

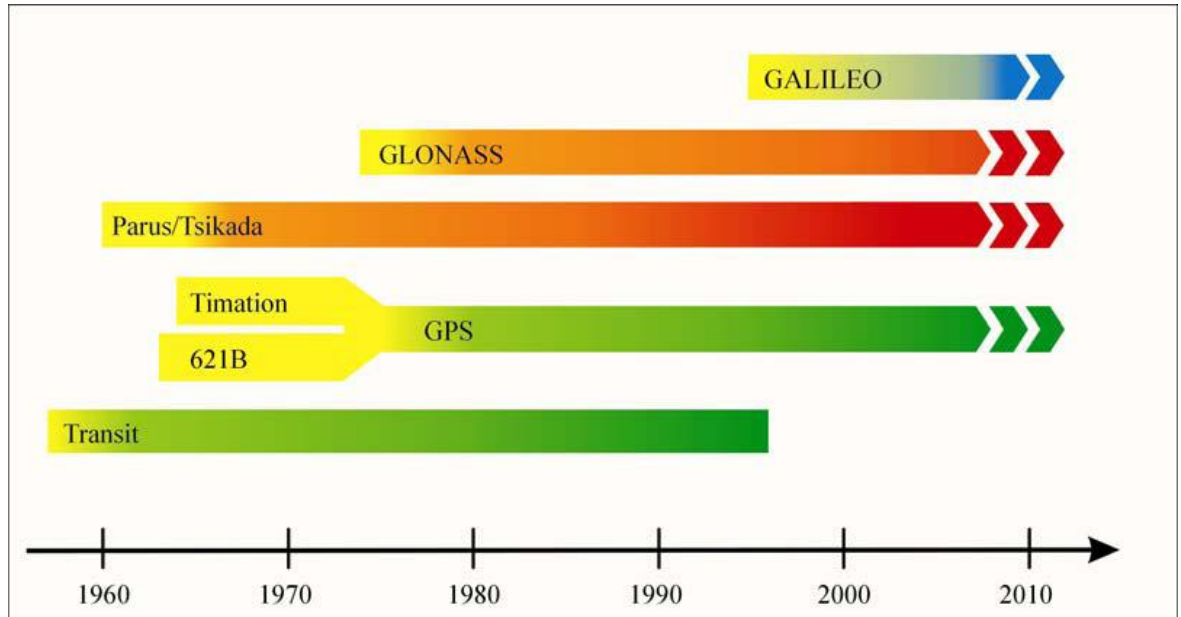
vaintojen perusteella. Argosta käytetään ilmakehätutkimuksen ohella myös maaperän ja meren tutkimiseen. Paikannusjärjestelmää käytetään muun muassa säähavaintopallojen sekä jäävuorten liikkeiden ja merivirtojen tutkimuksessa. (Miettinen 1998, 22.)

Sarsat-cospas on globaali pelastusjärjestelmä, joka käynnistyi 1980-luvun alkupuolella. Järjestelmän kehittämisessä on ollut mukana neljä maata: Yhdysvallat, Neuvostoliitto, Ranska ja Kanada. Järjestelmään kuuluu amerikkalaisia ja venäläisiä satelliitteja. Käyttäjillä olevat EPIRB-hätälähettimet käynnistyvät automaattisesti vedenpaineesta, kovasta tärähdyksestä tai käyttäjien itse aktivoimina. Lähettämiä on laivoissa ja lentokoneissa sekä yksittäisillä käyttäjillä, kuten ääriolosuhteissa retkeilevillä retkikunnilla. Lähettämiä on kahdenlaisia ylempää taajuutta lähettäviä, joilla päästään paikannuksessa noin 13 kilometrin tarkkuuteen sekä alemmaa taajuutta lähettäviä, joilla paikannustarkkuus on noin 2 kilometriä. Lähettimen lauetessa se lähettää avaruuteen digitaalisen viestin, joka sisältää laitteen tunnuksen ja tietoja hätätilanteesta. Hätäviesti ja paikannustieto tallennetaan satelliittiin, joka lähettää viestin edelleen lähimmälle maa-asemalle. Maa-asemalta tieto lähetetään edelleen asianomaiselle hätäkeskukselle. Suomea lähinnä oleva maa-asema on Norjassa. (Miettinen 2002, 19.)

Neuvostoliittolainen GLONASS-järjestelmä käynnistyi vuonna 1982 ja lopullisessa laajuudessa se oli vuonna 1996. Järjestelmä on suunniteltu alun perin sotilaskäyttöön, mutta nykyään se on yleisessä käytössä. (Poutanen 1998, 25.)

Beidou (Otava) on Kiinan tasavallan oma navigointi ja paikannusjärjestelmä, jonka suunnittelu käynnistyi vuonna 1983, mutta virallisesti hanke käynnistyi vuonna 1993. Tarkoitus on saada järjestelmä vuoteen 2012 mennessä kattamaan Kiina ja Aasia. Globaali järjestelmä tulisi käyttöön 2020. (China to set, [Viitattu 3.6.2010].)

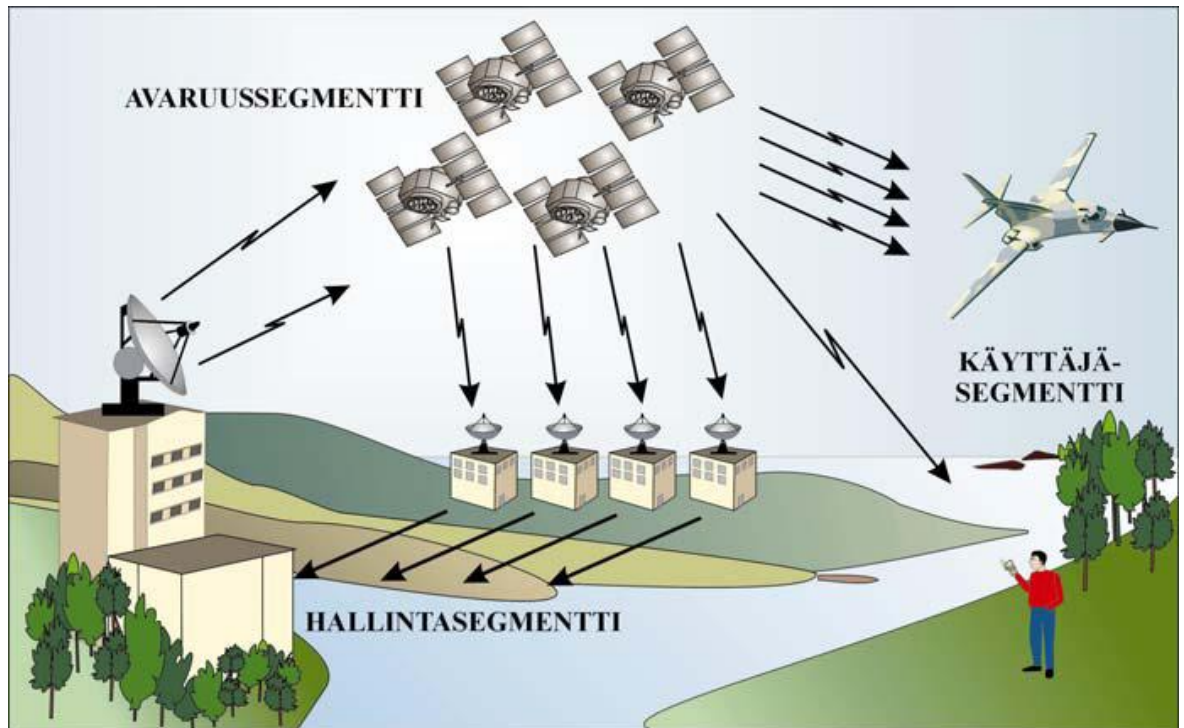
Eurooppalainen GALILEO sai alkunsa vuonna 1999, kun EU halusi irtautua poliittisesti, taloudellisesti ja sotilaallisesti Yhdysvalloista. Järjestelmä on suunniteltu pääasiassa siviilien käyttöön. Järjestelmä on vielä kesken, mutta lopulliseen kokoonpanoon se saadaan lähitulevaisuudessa. (Miettinen 2002, 23-25.)



Kuvio 1. Satelliittipaikannusjärjestelmien kehittyminen. (Airos, Korhonen & Pulkinen 2007.)

2.2 Periaatteet

Navigointi- ja paikannusjärjestelmät sisältävät kolme eri segmenttiä (Kuvio 2), jotka ovat hallinta, avaruus ja käyttäjät. Hallintasegmentti ylläpitää ja valvoo järjestelmää. Satelliittien tiloja ja ratoja valvotaan sekä päivitetään käyttäjille lähetettäviä tietoja valvonta-aseista. Järjestelmän muita kelloja verrataan hallintasegmentissä sijaitsevaan pääkelloon. Järjestelmän muiden osien kiintopisteenä toimivat hallintasegmentin asemat, joiden koordinaatit tunnetaan tarkasti. Avaruussegmentti koostuu satelliiteista. Satelliittien radat ja määrät on suunniteltu niin, että aina on käytettävissä neljä satelliittia, joten 3D-paikannus on mahdollista halutussa paikassa. Käyttäjäsegmentti ovat käyttäjät ja järjestelmät paikantimiseen. Paikannin sisältää monikanavaisen radiovastaanottimen ja laskentayksikön, joiden avulla laite pystyy määrittämään paikkansa satelliitin lähettämän signaalin ja tiedon perusteella. (Airos ym. 2007.)



Kuvio 2. Satelliittipaikannusjärjestelmän segmentit. (Airos, ym. 2007.)

Paikannusjärjestelmä perustuu tietyissä koordinaateissa olevien paikantimen ja satelliittien välisen etäisyyden mittaamiseen. Signaalin kulkuajan perusteella voidaan laskea signaalin kulkema matka, kun tiedetään signaalin kulkevan valonnopeudella. Mittaaminen tapahtuu satelliitin lähettämien koodien tai signaalien kantoaallon vaiheen perusteella. (Airos ym. 2007.)

Satelliittipaikannus perustuu todella pienien aikaerojen mittaukseen, mikä on järjestelmän toimintaedellytys. Ajan mittauksessa millisekunnin virhe vastaa 300 kilometrin virhettä etäisyydessä. Hallinta- ja avaruussegmentissä on käytössä atomikellot, joiden tarkkuus on huippuluokkaa. Paikantimissa käytetään kelloa, joka perustuu kvartsikiteeseen. Paikantimen kellon epätarkkuutta korjataan PRN-koodin avulla, joka saadaan satelliiteilta. Koodi sisältää jonon ykkösiä ja nollia ja se on tarkasti määritelty matemaattisella algoritmilla. Aikaero paikantimen ja satelliitin välillä voidaan havaita, kun paikantimen ja satelliitin yhtä aikaa muodostamaa samanlaista koodia verrataan satelliitista vastaanotettuun koodiin. Paikantimet, jotka käyttävät koodimenetelmää, ovat toteutukseltaan yksinkertaisia ja halpoja, joten tästä syystä ne ovat hyvin yleisiä. Kantoaaltoa apuna käyttäen voidaan paikannusta vielä tarkentaa, mutta se vaatii järjestelmän tuottamien virheiden ku-

moamista tarkkailuasemilta saatujen mittausten perusteella. Tällainen paikannin on toteutukseltaan kallis ja monimutkainen. (Airos ym. 2007.)

2.3 Mittaustarkkuus ja virhelähteet

Mittaustarkkuuteen aiheuttaa virheitä (kuvio 3) erinäiset tekijät, muun muassa tahallinen häirintä, vastaanotin, käyttäjä, ilmakehä, kello- ja ratavirheet sekä monitieheijastus.

Tahallinen häirintä (SA) on ollut voimakkain virhelähde GPS-järjestelmässä, mutta se poistettiin käytöstä vuonna 2000. SA:n ollessa käytössä mittaustarkkuus on ollut luokkaa 30–50 metriä, mutta sen poistamisen jälkeen päästään 5-10 metrin tarkkuuteen. GPS-tekniikan laajennuksella DGPS:llä päästään noin metrin tarkkuuteen. (Miettinen 2002, 42–44.)

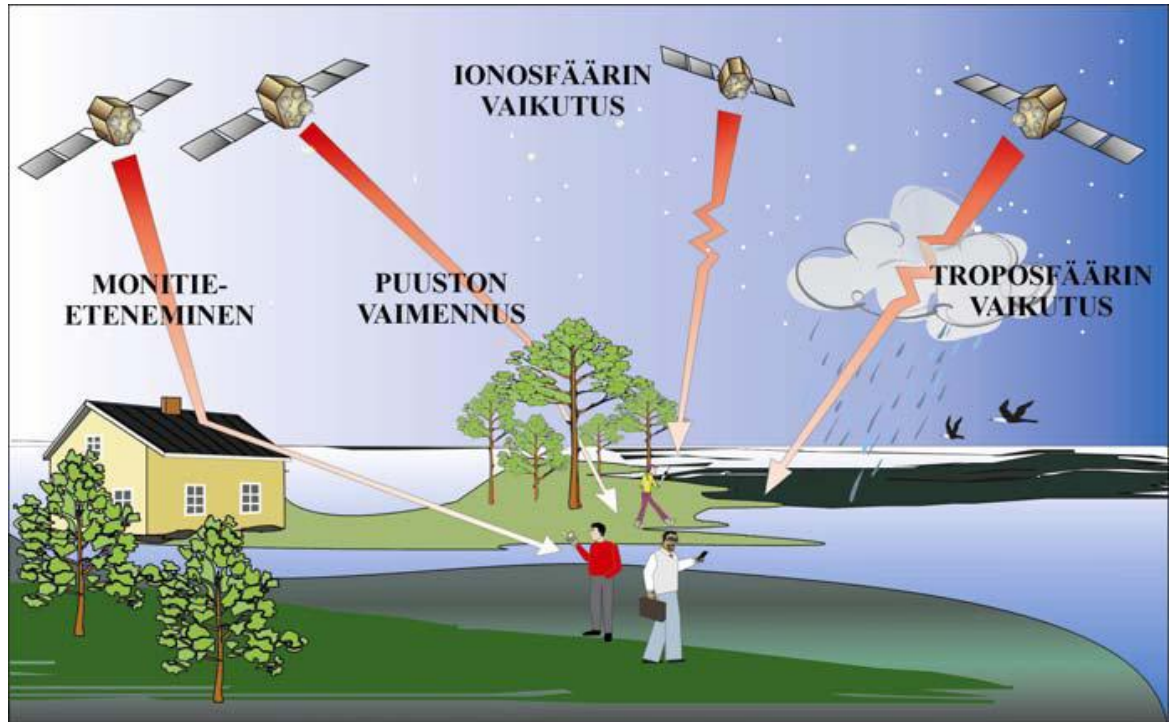
Ilmakehässä on kaksi signaalia hidastavaa tekijää, 400 kilometrin korkeudessa oleva ionosfääri ja noin 50 kilometrin korkeudelle ulottuva troposfääri. Ionosfäärisä signaali taittuu ja heijastuu ionosfäärin useissa kerroksissa. Vaikutus korostuu, jos satelliitti on lähellä horisonttia. Ionosfäärin vaikutusta on poistettu sillä, että vastaanotin ei huomioi satelliitteja, jotka ovat matalalla horisontissa. Troposfäärisä signaalia häiritsevät muun muassa vesihöyry ja ilman epäpuhtaudet, joiden määrät vaihtelevat suuresti. Tämän vuoksi näiden aiheuttamaa virhettä on vaikea ennustaa ja poistaa. Ilmakehän vaikutus on suhteellisen pieni, vain keskimäärin 4 metriä. (Miettinen 2002, 46–47.)

Kello- ja ratavirheet on pyritty poistamaan mahdollisimman täydellisesti. Kaikesta huolimatta kelloihin jääneet pienet virheet vaikuttavat mittaustarkkuuteen noin yhden metrin verran. Satelliittien kiertoradat on suunniteltu tarkoin, mutta avaruudessa vaikuttavat planeettojen vetovoimat sekä aurinkotuulet aiheuttavat muutoksia kiertoratoihin. Yhden vuorokauden aikana satelliitti saattaa siirtyä jopa tuhansia metrejä laskennallisesta paikastaan ja tämän vuoksi niiden kiertoratoja on korjattava. Edellinen vaikuttaa paikannustarkkuuteen noin yhden metrin verran yhdellä satelliitin ratakerroksella. (Miettinen 2002, 47–49.)

Paikannustarkkuuteen vaikuttaa satelliittien keskinäinen geometria. Satelliittien ollessa lähellä toisiaan paikannustarkkuus on huonompi kuin niiden ollessa tasaisemmin jakautuneena taivaalla. DOP-luku, joka saadaan satelliittien välisestä tilavuudesta ja sen käänteisarvosta, kuvaa satelliittigeometrian vaikutusta paikannukseen. (Airos ym. 2007.)

Monitieheijastumisessa signaali ei tule suoraan vastaanottimen antenniin, vaan heijastuu jonkin pinnan kautta. Tyypillisesti signaali heijastuu rakennuksista, maastosta, vesistöistä tai muista tasaisista pinnoista. Signaalin tullessa kovin matalalta riski heijastumiseen korostuu. Vastaanottimien antennirakenteella on pyritty vähentämään monitieheijastuksen vaikutuksia. Signaalin heijastuminen aiheuttaa virhettä paikannukseen 10–20 metrin verran tai paikannin voi kadottaa signaalin kokonaan. (Poutanen 1998, 137.)

Vastaanotin itsessään aiheuttaa virhettä, joka johtuu laitteen muodostamasta kohinasta. Kohinaa syntyy, kun laite tekee satoja laskutoimituksia sekunnissa. Virhettä muodostaa PRN-koodin virheellinen vastaavuus, joka aiheutuu radioaaltojen poikkeuksellisesta taustakohinasta. Paikannukseen nämä aiheuttavat noin kahden metrin virheen etäisyydessä. (Miettinen 2002, 49.)



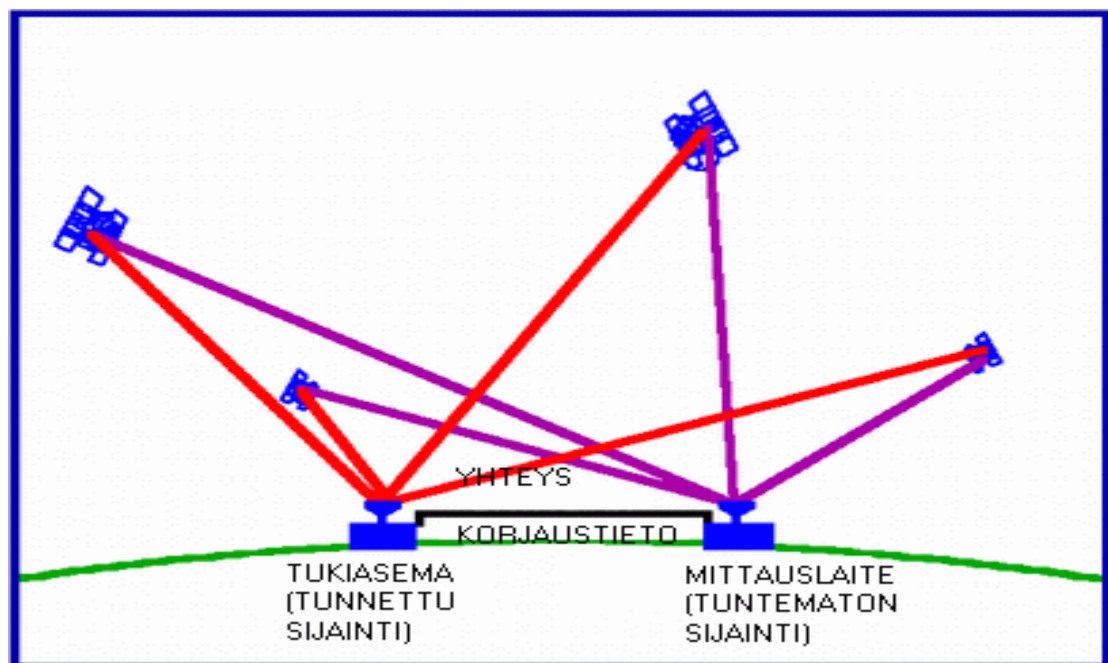
Kuvio 3. Satelliittipaikannukseen virheitä aiheuttavia tekijöitä. (Airos ym. 2007.)

2.4 Mittaustarkkuuden parantaminen

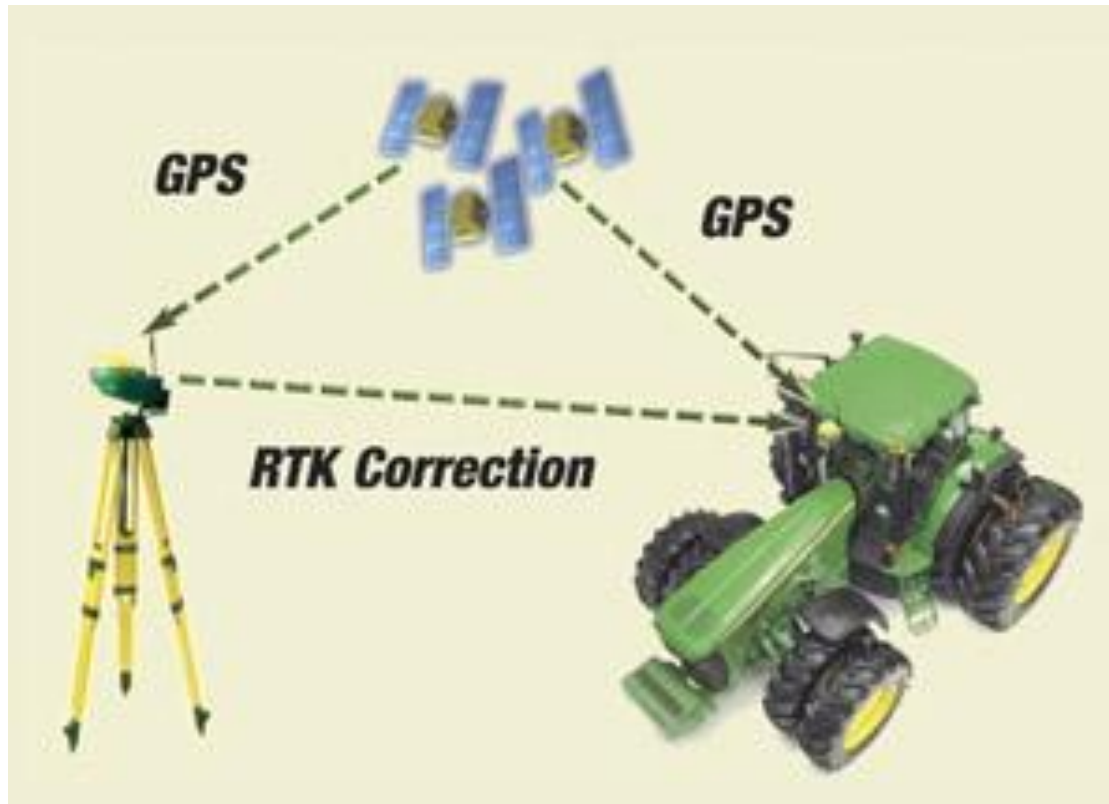
Satelliittipaikannus voidaan jakaa kolmeen ryhmään paikannustarkkuuden perusteella: absoluuttiseen, differentiaaliseen ja suhteelliseen paikanmääritykseen. Absoluuttinen paikanmääritys tehdään satelliittien signaalien C/A-koodin avulla yhdellä vastaanottimella. Paikannustarkkuus on 10 metrin luokkaa. Differentiaalisessa paikannusmäärityksessä (DGPS) (Kuvio 4) tunnetun pisteen koordinaattien avulla määritetään satelliittien etäisyyksiin korjaukset, jotka lähetetään vastaanottimelle radion tai GSM:n avulla. Tällä päästään 0,5-5 metrin tarkkuuksiin. Suhteellinen paikanmääritys perustuu koordinaattierojen mittaukseen vähintään kahden vastaanottimen avulla, jotka käyttävät hyväksi kantoaaltoa satelliittien signaalista. Toinen vastaanottimista sijaitsee tunnetulla pisteellä. Tärkeimpiä suhteellisen paikanmäärityksen sovelluksia ovat staattinen GPS-mittaus, RTK-mittaus ja verkko-RTK-menetelmä. Staattinen mittaus soveltuu tarkkojen kiintopisteiden mittaukseen, koska se tapahtuu jälkilaskentana. RTK-mittaus (kuvio 5) tapahtuu reaaliajassa ja siihen tarvitaan tunnetussa pisteessä oleva vastaanotin ja kartoitusvas-

taanotin. Verkko-RTK-menetelmistä Suomessa on käytössä VRS-menetelmä (Virtual Reference Station), jossa kartoituvasta vastaanottimen lähelle luodaan virtuaalinen tukiasema. Laskentakeskuksen, kiinteän tukiasemaverkon ja virhelähteiden mallinnuksen avulla kartoituvasta vastaanotin saa tarvittavat korjaukset. Suhteellisella paikannäärityksellä päästään alle viiden sentin tarkkuuksiin. (GPS-mittaus, [Viitattu 22.6.2010].)

GPS-korjausjärjestelmillä WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN, GPS-C JA StarFire on mahdollista parantaa tarkkuutta. Korjausdata lähetetään tähän tarkoitettuille satelliiteille. Järjestelmät toimivat eri maanosissa: WAAS Amerikassa, EGNOS Euroopassa, MSAS Aasiassa, GAGAN Intiassa, GPS-C Kanadassa ja StarFire kattaa koko maapallon ja on erittäin tarkka. StarFiren tarkkuusluokka on 4,5 cm, mutta toimiakseen se tarvitsee erityisen vastaanottimen. (SBAS ja GBAS: GPS-korjauksia, [Viitattu 3.8.2010].)



Kuvio 4. Differentiaalikorjauksen toimintaperiaate. (Huhtinen, Riikonen, Trast & Viitala 3.11.2003.)



Kuvio 5. RTK-mittauksen periaate. (John Deere 2010.)

3 SATELLIITTIPAIKANNUSJÄRJESTELMÄT

Satelliittipaikannusjärjestelmiä on monia, mutta globaaleja toimivia järjestelmiä on kaksi, amerikkalainen GPS ja venäläinen GLONASS. Tulevaisuudessa toimintakuntoon saatava Galileo on eurooppalaisten vastine GPS:lle ja GLONASS:lle. Järjestelmät muistuttavat pääpiirteissään toisiaan.

3.1 GPS

Global Positioning System (GPS) on globaali järjestelmä, joka on kehitetty sotilaskäyttöön, mutta tarjoaa myös siviileille paikannuspalvelun. Käytössä on kaksi palvelua; sotilas- ja viranomaiskäyttöön PPS-palvelu (Precise Positioning Service) ja siviilikäyttöön SPS-palvelu (Standard Positioning Service). SPS-palvelun tarkkuutta on tahallisesti huononnettu SA (Selective Availability) ominaisuudella aina vuoden 2000 saakka. PPS-palvelu on salattu siviilikäyttäjiltä. (Airos ym. 2007.)

Yhdysvaltojen puolustusministeriö on kehittänyt GPS-järjestelmän ja ilmavoimien avaruushallinto vastaa järjestelmän käytöstä. Järjestelmään kuuluvat satelliitit, kontrolliverkko ja käyttäjät. Järjestelmän komentokeskus on Colorado Springissä ja maa-asemia on Diego Garciasissa, Ascensionissa, Kwajaleinissa ja Havajilla. (Poutanen 1998, 19–21.)

GPS-järjestelmässä on kolme segmenttiä, jotka ovat avaruus-, hallinta- ja käyttäjäsegmentit. Avaruussegmentti koostuu kuudella eri ratatasolla sijaitsevista 24 satelliitista ja varasatelliiteista. Ratatasojen inkliinaatio on 55° päiväntasaajaan nähden. Satelliittien kiertoaika on noin 12 tuntia ja ne kiertävät maata MEO-radalla (Medium Earth Orbit) noin 20200 kilometrin korkeudessa (Kuvio 6). Vuorokauden aikana sama satelliitti on näkyvissä kaksi kertaa. Konstellaatio on siten valittu, että aina on näkyvissä vähintään neljä satelliittia. Satelliittien valvonnasta, ylläpidosta sekä päivityksestä huolehtii hallintasegmentti, joka koostuu komentokeskuksesta, valvonta-asemista ja antenniasemista. Paikannusvastaanottimet kuuluvat käyttäjäsegmenttiin. (Airos ym. 2007.)

Satelliitit lähettävät kantaalloa kahdella eri taajuudella. Taajuudet L1(1575.42 MHz) ja L2(1227.6 MHz) sisältävät kaksi pseudosatunnaista signaalia, C/A- ja P-koodit, sekä ratatiedot. Satelliitin atomikellon avulla varmistetaan signaalin stabiilius ja kantaallon taajuus. Vastaanottimet vastaanottavat kantaallon vaihetta, C/A-koodia, P-koodia sekä signaalin Doppler-siirtymää. (Poutanen 1998, 19.)



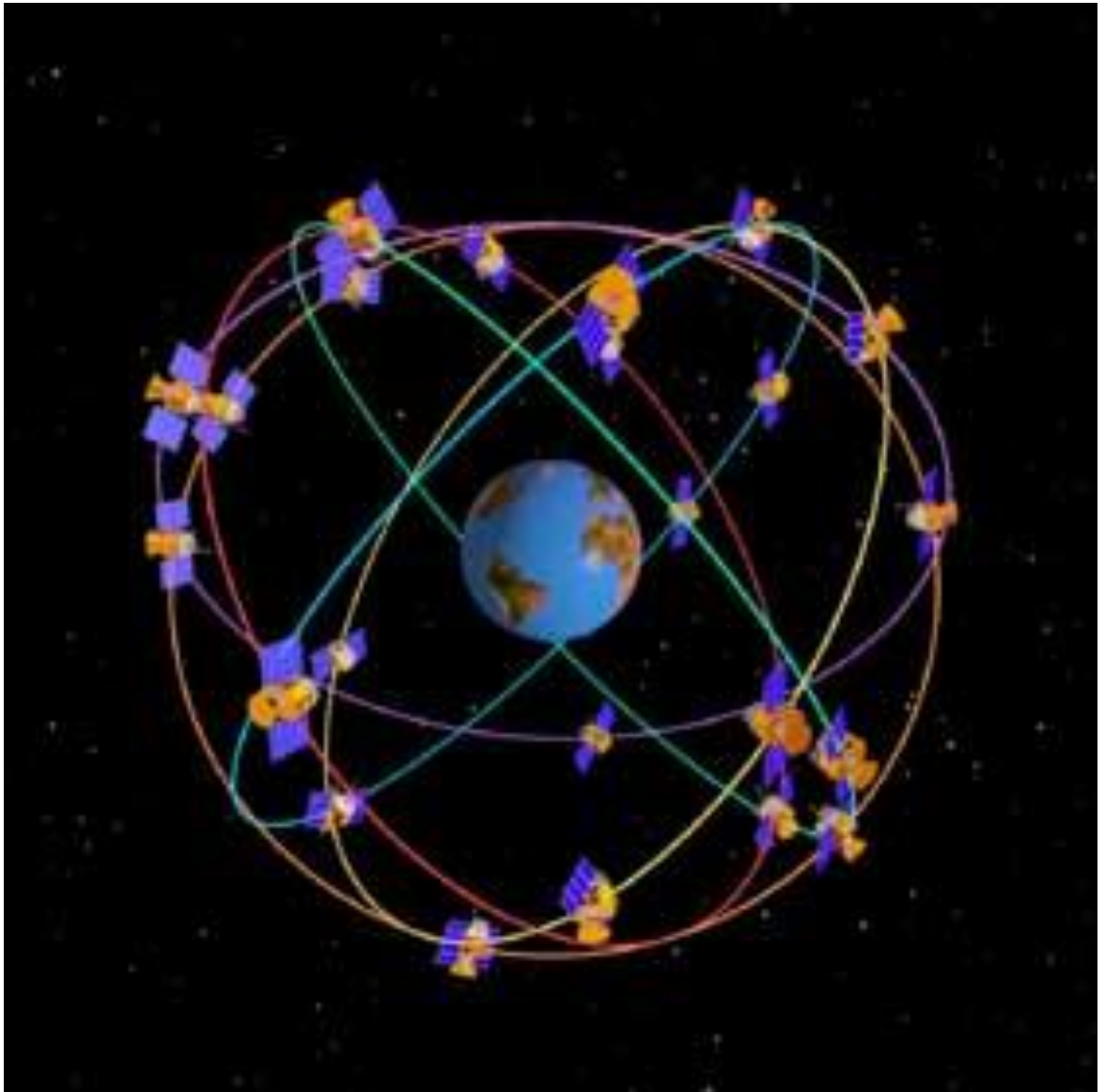
Kuvio 6. GPS-satelliitit. (Heads on fire, [Viitattu 15.7.2010].)

3.2 GLONASS

GLONASS on venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka on käynnistynyt neuvostoliiton aikana vuonna 1982. Sen tavoitteet ja toteutus muistuttavat GPS-järjestelmää. Järjestelmä on suunniteltu alun perin sotilaalliseen käyttöön. (Poutanen 1998, 25.)

GLONASS-järjestelmässä on kolme eri segmenttiä, avaruus-, hallinta- ja käyttäjäsegmentit. Avaruussegmentti sisältää 19100 kilometrin korkeudessa olevia satelliitteja kolmella eri ratatasolla, joiden inkliinaatio on 64.8° ja kiertoaika 11 tuntia 15 minuuttia 44 sekuntia (Kuvio 7). Hallintasegmentissä on ohjauskeskus sekä neljä valvonta- ja ohjausasemaa, jotka sijaitsevat Venäjällä. Käyttäjäsegmentti koostuu paikannusvastaanottimista. (Airos ym. 2007.)

Järjestelmässä signaalien erottelu perustuu lähetystaajuuteen. Lähetystaajuudet riippuvat satelliittien kanavanumeroista (k), jotka ovat välillä 1-12 siten että, $L1$ on $1602 \text{ MHz} + k * 562.5 \text{ kHz}$ ja $L2$ on $1246 \text{ MHz} + k * 437.5 \text{ kHz}$. Käytännössä kaksi satelliittia lähettää samaa taajuutta, mutta niitä ei näe yhtä aikaa, koska ne ovat aina eri puolilla maapalloa. (Airos ym. 2007.)



Kuvio 7. GLONASS-satelliitit. (gmat, [Viitattu 15.7.2010].)

3.3 GALILEO

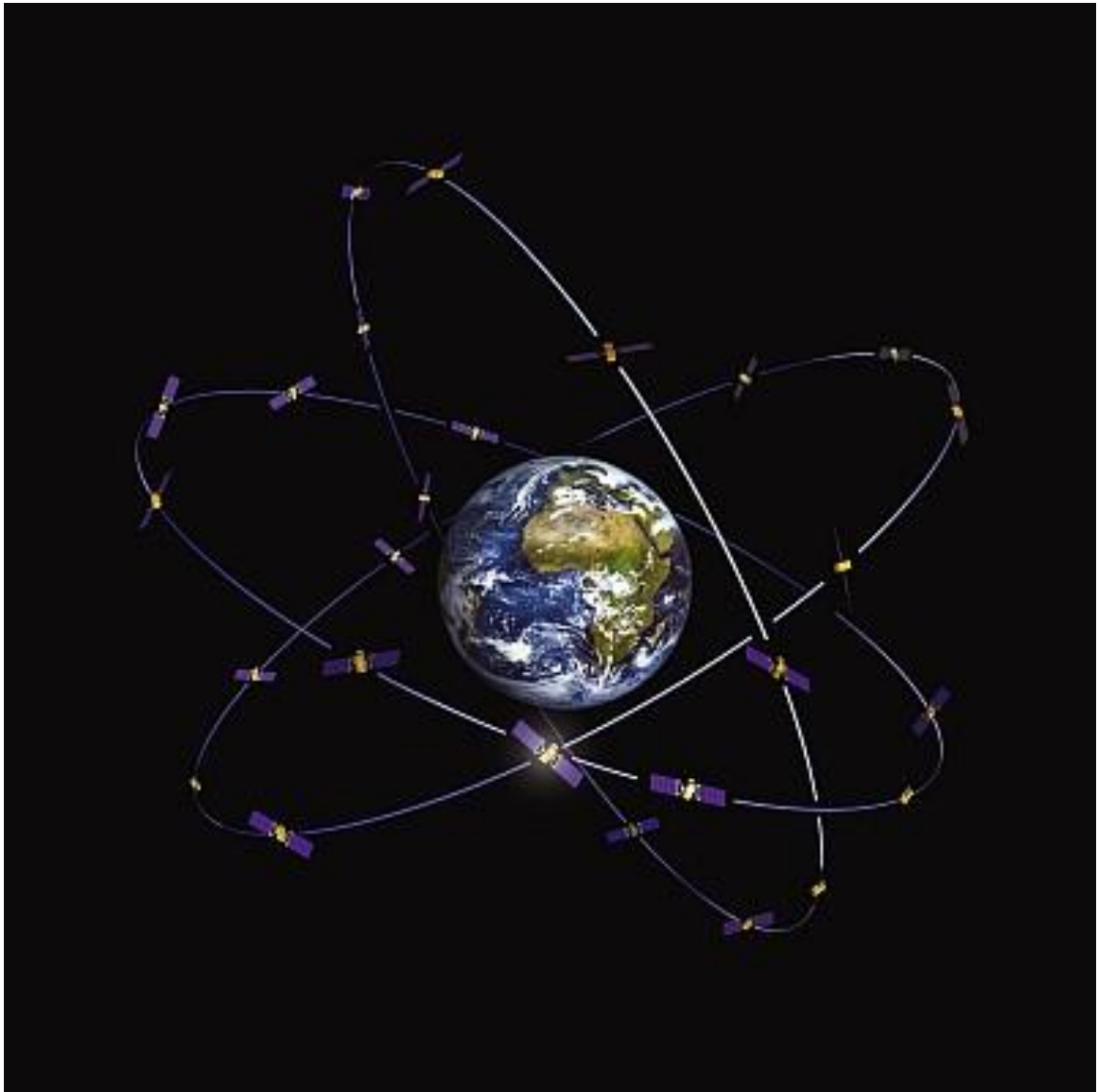
Eurooppaan haluttiin oma, ensisijaisesti siviilien tarpeita palveleva satelliittipaikannusjärjestelmä. Näin voitaisiin olla riippumattomia nykyisistä sotilasviranomaisten hallinnassa olevista, hallinnollisesti Euroopan ulkopuolisista GPS- ja GLONASS-järjestelmistä. (Airos ym. 2007.)

GALILEO rakentuu vaiheittain lopulliseen kokoonpanoon. Kaksi yksittäistä GIOVE-koesatelliittia laukaistiin vuosina 2006 ja 2008. Vuoden 2011 alussa laukaistaan

kiertoradalleen neljä IOV-satelliittia (in-Orbit Verification), joka on vähimmäismäärä, jotta voidaan testata tarkkaa paikannusta. (Galileon toteutus etenee 20.5.2010.)

Täydellisessä kokoonpanossaan Galileo sisältää 30 satelliittia, joista 27 on toiminnallisia ja 3 varasatelliitteja. Satelliitit sijaitsevat ympyrän muotoisilla radoilla 23 222 kilometrin korkeudella maanpinnasta ja niiden inkliinaatio on 56° (kuvio 8). Kaksi valvontakeskusta (GCCc) (Galileo Control Centres) huolehtivat satelliittien ja järjestelmän toiminnasta. Satelliitteja seurataan kahdellakymmenellä maapallon ympäri sijoitetuilla valvonta-asemilla (GSSs) (Galileo Sensor Stations), joista valvontakeskus saa tietoa satelliiteista ja korjaa niitä tarvittaessa. (What is Galileo? 11.5.2010.)

Galileo-järjestelmässä on kolme eri palvelua: avoin (Open Service, OS), kaupallinen (Commercial Service, CS) ja rajoitettu (Public Regulated Service, PRS). Satelliiteissa on lisäksi ihmishengen turvaava palvelu (Safety Of Life, SoL), jonka avulla ne pystyvät vastaanottamaan ja paikantamaan hätäsanomia maailmanlaajuisesti. (Airos ym. 2007.)



Kuvio 8. GALILEO-satelliitit. (GICLA, [Viitattu 15.7.2010].)

4 SATELLIITTIPAIKANNUS KONEOHJAUKSESSA

Satelliittipaikannuksen käyttö koneohjauksessa on yleistynyt ja varmasti yleistyy edelleen. Tekniikkaa voidaan soveltaa lähes mihin tahansa koneeseen riippumatta koneen käyttötarkoituksesta. Tässä opinnäytetyössä keskitytään lähinnä maataloutta koskeviin järjestelmiin.

Satelliittipaikannuksen avulla koneen sijainti maastossa voidaan määrittää olosuhteista riippumatta. Työlaitteisiin sijoitettujen sensoreiden avulla voidaan ohjata työkoneneen hydraulikkaa, jolloin järjestelmää voidaan käyttää täysin automaattisena tai pelkästään opastavana. Erilaisten häiriöiden ja virhetekijöiden takia joita GPS-järjestelmään syntyy, tarkkuus ei ole kovin hyvä. Tarkkuutta voidaan parantaa RTK-mittauksella (Real Time Kinematic). (Mitä koneohjaus on?, [Viitattu 22.6.2010].)

4.1 Koneohjauksen vaatimukset

Satelliittipaikannuksen avulla suoritettava koneohjaus sisältää liikkuvan vastaanottimen, jonka paikka määritetään satelliittien avulla suhteessa yhteen tai useampaan kiinteään tai virtuaaliseen tukiasemaan. (Salmenperä 2004.)

Koneohjauksessa saadaan kustannussäästöjä käyttämällä satelliittipaikannusta. Kustannussäästöä saadaan, kun työteho ja työn laatu paranevat sekä maastomittaukset vähentyvät, ja näiden ansiosta myös aikataulu lyhenee. (Geotrim 2009.)

Maataloudessa tilojen koko on suurentunut ja tuotannon maksimointi on saanut aikaan tarpeen täsmäviljelylle. Täsmäviljely on ollut ennen GPS:n yleistymistä vaikea ja vaativa toteuttaa. Aikaisemmin peltojen kunto ja lannoitusmäärät on kartoitettu pelkästään ilmakuvien ja maanäytteiden avulla, jolloin viljelijän on ollut vaikea määrittää sijaintinsa tarkasti pellolla. (Avaruudesta apua maanviljelyksen haasteisiin 18.9.2006.)

Paremmen kannattavuuden tavoittelu on aikaansaanut sen, että töitä on tehtävä olosuhteista riippumatta entistä tarkemmin. Opastavien ja ohjaavien järjestelmien avulla voidaan ajaa tarkemmin, nopeammin ja pidempään. Järjestelmät mahdollistavat työskentelyn huonossa näkyvyydessä. Ajolinjat pystytään pitämään tarkasti, jolloin päällekkäisyydeltä tai käsittelemättömiltä alueilta vältytään. (Avaruudesta apua maanviljelyksen haasteisiin 18.9.2006.)

Tavallisen GPS-laitteen tarkkuus ei ole riittävä maatalouden vaatimuksiin. Maataloudessa käytettävät laitteet ovat tarkempia, koska ne toimivat noin viisi kertaa nopeammin kuin tavalliset laitteet. Tämäkään ei yksinään aina riitä, vaan tarvitaan korjausta GPS-signaaliin tarkkuuden parantamiseksi. (Avaruudesta apua maanviljelyksen haasteisiin 18.9.2006.)

4.2 Opastavat järjestelmät

Maataloudessa käytettävät opastavat laitteet muistuttavat hieman autonavigaattoreita. Laitteet opastavat näytöllä tai led-valopalkilla, mihin suuntaan tulisi ohjata pysyäkseen halutulla reitillä. Laitteeseen ohjelmoidaan koko pellon kattavat ajolinjat, jotka voivat olla tarpeen mukaan suorina, kaarevia tai mutkikkaita (kuvio 9). (Avaruudesta apua maanviljelyksen haasteisiin 18.9.2006.)

Ajouraopastin yksinkertaisuudessaan sisältää laitteen ja antennin. Kertaalleen ajettut pellot tai alueet sekä konekohtaiset asetukset voidaan tallentaa laitteelle, josta ne ovat helposti saatavissa vaikka seuraavana vuonna. Kalliimmat laitteet sisältävät niin sanotun tiedonkeruujärjestelmän, josta tiedot voidaan siirtää tietokoneelle tarkastelua varten. Kehittyneimmät laitteet ovat laajennettavissa myös ohjaaviksi. Perustarkkuus laitteissa on +/- 60cm ja tarkkuutta voidaan parantaa EGNOS, DGPS tai RTK menetelmillä aina +/- 2,5cm tarkkuuteen asti. (Geotrim 2009.)



Kuvio 9. Senttimetrin tarkkaa työtä. (Autoguide automaattiohjaus, [Viitattu 20.7.2010].)

4.3 Ohjaavat järjestelmät

Ohjaava järjestelmä keventää ja tehostaa työtä, koska kuljettajan ei tarvitse keskittyä traktorin pitämiseen halutulla linjalla. Järjestelmä hoitaa ohjauksen ohjelmoidun reitin mukaisesti pellolla. Täysin automaattinen järjestelmä ei ole, vaan kuljettajan on käännettävä traktori päisteessä sekä jos kulkulinjalla on este, ohjattava sen ohi. (Avaruudesta apua maanviljelyksen haasteisiin 18.9.2006.)

Työlaiteautomaatio säättää sijainnin, ajonopeuden ja kartoitustiedon perusteella esimerkiksi lannoitusta, ruiskutusta tai viljan syöttöä. Kalleimmissa laitteissa on

myös valmius korkeuserojen kartoitukseen, jonka avulla hyötyä saadaan peltojen tasauksessa ja salaojituksessa. (Geotrim 2009.)

Traktorivalmistajat tarjoavat lisävarusteena automaattiohjausta tai valmiutta sellaiselle. Esimerkiksi Valtraan tehtaalla asennetaan tarvittaessa valmiiksi automaattiohjauksen vaatimat komponentit, kuten ohjausventtiili traktorin omaan hydrauliseen ohjausjärjestelmään sekä johdotukset ja anturit. Automaattiohjauksen käyttöönotto myöhemmin vaatii vain ohjausyksikön ja näytön. (Autoguide automaattiohjaus, [Viitattu 20.7.2010].)

5 KOHTEENA OLEVA TYÖKONE

Kohteena on Seinäjoen ammattikorkeakoulun Avant 520 -pienkuormaaja, johon asennetaan GPS-pohjainen ohjausjärjestelmä.

Avant on Suomessa valmistettu monipuolinen kompaktin kokoinen kuormaaja, joka soveltuu moniin erilaisiin töihin monipuolisen lisälaittevalikoiman ansiosta. Saatavana on kymmeniä erilaisia lisälaitteita muun muassa rakentamiseen, viheralueiden hoitoon sekä rakentamiseen, kiinteistön huoltoon, maatalouteen ja teollisuuteen. (Avant, [Viitattu 23.6.2010].)

5.1 Laitteiston valinta

Kohteena olevaan työkoneeseen asennetaan maataloudessa käytetty ajouraopastin automaattiohjauksella. Laitteistossa tulisi olla erillinen servomoottori, joka asennetaan ohjauspyörälle. Kyseinen kokoonpano mahdollistaa helpon asennuksen ja siirrettävyys toiseen koneeseen olisi helppoa. Lisäksi laitteisto palvelisi työkoneopetusta parhaiten, koska se olisi helppo ja nopea käyttää sekä tutustuttaisi opiskelijat tulevaisuuden tekniikkaan eli automatisoituun koneohjaukseen. Laitteistossa tulisi olla myös valmiudet laajennettavuuteen tulevaisuuden kannalta. Laitteistoa valittaessa tärkeimmiksi kriteereiksi muodostui laitteen käytettävyys, laajennettavuus ja monipuolisuus.

Laitteistolle asetettiin seuraavat vaatimukset:

- kaksi sisäänrakennettua satelliitivastaanotinta
- GPS-satelliittipaikannus ja valmiudet Glonass- ja Galileo-järjestelmille
- valmius Egnos-korjaussignaaliille ja RTK-korjaukselle, joko VRS-mittauksella tai omalla tukiasemalla
- värillinen kosketusnäyttö
- vähintään USB-, CAN-, COM-liitännät

- ulkoisen kameran liitännämahdollisuus
- valmius työlaitteiden toimintojen ohjaukseen.

Laitteistoksi valikoitui Trimblen valmistama fmx-ajouraopastin (Kuvio 10) ja EZ-Steerin automaattiohjaus. Ajouraopastinta käytetään lähinnä maataloustraktoreissa, mutta se soveltuu monipuolisuutensa ja laajennettavuutensa vuoksi hyvin myös opetuskäyttöön. Laitteisto sisältää kosketusnäytöllisen ajouraopastimen, antennin, johtosarjat, yleismalliset kiinnikkeet ajouraopastimelle ja servomootorille sekä lisävarusteena saatavat automaattiohjauksen servomootorin ja ohjausyksikön, Ag-15-lisäantennin sekä kaksi AgGam-digitaalikameraa.

Ajouraopastin on värillisellä 12,1 tuuman kosketusnäytöllä varustettu. Näytössä on päivä- ja yötilatoiminto kirkkauden säädöllä. Kuvakulmaksi voidaan valita taso- tai perspektiivinäkymä. Laite sisältää kaksi sisäänrakennettua kaksitaajuusvastaanotinta, joiden avulla voidaan paikantaa tarkasti työkone sekä perässä vedettävä työlaite. Vastaanottimessa on 15 satelliittikanavaa. Vastaanottimet pystyvät vastaanottamaan GPS-signaalin lisäksi GLONASS-signaaleja sekä tulevaisuudessa toimintaan tulevan Galileon signaaleja. Laitteella voidaan vastaanottaa maksullinen RTK GNSS-korjaussignaali matkapuhelinverkon avulla. Linjantoistotarkkuus on +-30 cm peruskokoonpanolla, mutta 2,5 cm:n tarkkuuteen päästään RTK-korjauksella. Laitteessa on valmius oman tukiaseman käyttöönottoon. Lisäksi laitteeseen voidaan asentaa neljä digitaalista videokameraa. Laitteessa on monipuoliset liitännät tiedonsiirtoon ja lisälaitteille, muun muassa USB, Deutsch, CAN ja COM. Sisäinen muisti sisältää yli 2500 tuntia tallennusaikaa. Laitteen runko on alumiinia ja suojausluokitus on IP54, eli pölyltä ja loiskevedeltä suojattu. Automaattiohjaus sisältää servomootorin ohjauspyörälle sekä ohjausyksikön, joka sisältää kaltevuuskompensaattorin. Lisäantennin avulla voidaan tarvittaessa toteuttaa automaattiohjaus perustuen työkoneen takana tai perässä vedettävän työlaitteen paikkatietoon. Digitaalikameran avulla voidaan seurata työlaitteiden toimintaa ajo-opastimen näytöltä. Digitaalinen kamera on varustettu täysin veden- ja pölynpitävällä rungolla (Luokitus IP69). Digitaalikamera on varustettu pimeänäkötoimin-

nolla sekä automaattisella aurinkosuojalla, jotka mahdollistavat kuvan näkymisen yöllä sekä auringon paisteessa. (Geotrim 2009.)



Kuvio 10. Trimble fmx-ajouraopastin. (Geotrim 2009.)

5.2 Laitteiston asennus

Laitteiston asennus on suhteellisen helppoa. Näytöllinen keskusyksikkö asennetaan koneeseen haluttuun paikkaan, josta sitä voidaan käyttää vaivattomasti kosketusnäytön avulla. Kiinnitys tapahtuu laitteen mukana tulevalla kiinnitysjalalla. Erillinen antenni asennetaan näkyvälle paikalle, yleensä koneen katolle. Kiinnitys tapahtuu antennin mukana tulevalla magneettisella kiinnitysalustalla tai mekaanisesti pulttaamalla antenniin integroidun kierteen avulla. Antenni liitetään johdolla keskusyksikköön. Automaattiohjauksen servomoottori asennetaan ohjauspyörän sivulle tukevasti konekohtaisen valmiin asennussarjan avulla. Avant-pienkuormaajaan ei ole saatavilla asennussarjaa, joten kiinnitys täytyy tehdä yleismallisella kiinnikkeellä. Servomoottorin rulla pyörittää ohjauspyörää ohjauspyörän ulkokehältä (Kuvio 12). Automaattiohjauksen ohjauskeskus, joka sisältää kaltevuuskompensaattorin, asennetaan tukevasti hytiin lattiaan tai takaseinään tarroilla tai ruuveilla. Ohjauskeskuksesta ja servomoottorista asennetaan johdot kes-

kusyksikköön. Digitaalinen kamera asennetaan yleensä työkoneen sivulle tai taakse magneettikiinnitteisellä säädettävällä kiinnitystelineellä. Kaikki johdot on varustettu liittimillä, joten johdot vain painetaan paikalleen. Laitteiston asennuksen jälkeen suoritetaan kenttäkalibrointi, jonka jälkeen laitteisto on toimintavalmis. (Geotrim 2009.)



Kuvio 11. Servomoottori asennettuna ohjauspyörään. (Geotrim 2009.)

5.3 Laitteiston toiminta

Suuren ja selkeän kosketusnäytön avulla erilaisten sovellusten hallinta on vaivatonta. Fmx-ajouraopastin toimii normaalisti opastavana sekä ohjaavana Ez-steerin lisäjärjestelmän avulla. Näyttöön on simuloitu 31 kappaletta opastusvaloja, joiden avulla voidaan tarkkailla ajouralla pysymistä itse ohjattaessa. Näytön kuvakulma voidaan valita taso- tai perspektiivinäkymän (2D tai 3D) väliltä. Ajonopeus näkyy näytöltä 0,1 km/h:n tarkkuudella sekä ajolinjan etäisyys 1 cm:n tarkkuudella. Näytöltä voi seurata videokuvaa työlaitteen toiminnasta lisävarusteena saatavan kamerasivun avulla. Ajetut ajourat tallentuvat ajouraopastimen muistiin, josta ne voidaan

ottaa käyttöön ja ajaa myöhemmin uudelleen. Erilaisten lisäjärjestelmien avulla, voidaan esimerkiksi säätää lannoitusta, ruiskutusta tai viljansyöttöä sijainnin, ajonopeuden ja kartoitustiedon perusteella. Fmx-ajouraopastimessa on myös valmius korkeuserojen kartoitukseen. Ez-steer automaattiohjauksen avulla työkone ohjautuu tarkasti ja nopeasti ajouraopastimen tuottamia ajouria pitkin täysin automaattisesti. Ajouraopastimen tuottama suuntatieto välittyy ohjauskeskukseen jossa se kaltevuuskorjataan kaltevuuskompensaattorin avulla. Kaltevuuskompensaattori korjaa työkoneen kallistumisesta johtuvan paikannusvirheen. Kaltevuuskorjattu suuntatieto välitetään ohjauskeskukselta rattia pyörittävälle servomoottorille. Automaattiohjaus kytketään ajouraopastimen näytöltä, jonka jälkeen työkone ohjautuu lähimälle ajouralle. Automaattiohjaus kytkeytyy pois päältä näytöltä tai ohjauspyörää käännettäessä. Ohjauspyörää pyörittävä servomoottori voi olla kiinteästi ohjauspyörää vasten, koska automaattiohjauksen olessa pois kytkettynä servomoottori pyörii vastuksetta. (Geotrim 2009.)

6 KONEOHJAUKSEN KEHITYSNÄKYMÄT

Tekniikan kehittyessä traktoreissa ei ehkä tarvita kuljettajaa, vaan ohjaaminen voidaan suorittaa lähes mistä vain. Miehittämättömät traktorit voidaan suunnitella keveämmiksi, joten ne kuormittavat vähemmän maaperää (Kuvio 11). Tulevaisuuden maatilalla miehittämättömiä traktoreita voi olla useita ja ne voivat työskennellä jopa vuorokauden ympäri, jolloin tuottavuus ja tilojen koko voi kasvaa erittäin suuriksi. (MTT, [Viitattu 20.7.2010].)

Maataloudessa viljelyrobotit tulevat ehkä tulevaisuudessa korvaamaan traktorit, mutta viljelyrobottien kehitysvaihe on samassa pisteessä kuin traktori sata vuotta sitten. Tälläkin hetkellä teknisesti olisi mahdollista täysautomaattinen viljely, mutta se olisi liian kallis toteuttaa, joten kehitys etenee robottien ja automaattisten koneiden osalta hitaasti. Maataloudessa täsmäviljelyn automatisoinnin kehitys etenee huimasti. Kehitteillä on täysin automaattisia järjestelmiä traktorin, työkoneen ja paikkatiedon välille. Tulevaisuudessa työkone joko korjaa tai ilmoittaa koneeseen tulleen vian. Täysautomaatio tulee toteutumaan aluksi töissä, joissa ei siirrellä materiaaleja, kuten kynnössä ja äestyksessä. Lähitulevaisuudessa materiaalien purku- ja lastaustyöt, kuten viljan tankkaus kylvökoneeseen, automatisoituvat. Automatisoidun viljelyn kehityksen ratkaiseva tekijä on turvallisuus, eli kuinka saadaan täysin estettyä onnettomuudet ihmishenkien, eläinten ja koneiden osalta. (Rantanen 11.8.2009.)



Kuvio 12. Tulevaisuuden traktori? (Agrimarket 2009.)

Tulevaisuudessa koneohjausohjelmistot kehittyvät luotettavuudeltaan, tarkkuudeltaan ja älylliseltä puoleltaan. Paikannusjärjestelmät tulevat laajentumaan ja monipuolistumaan Galileon käyttöönoton myötä. Maanrakennuspuolella erilaiset anturit kehittyvät ja toiminnot sekä käyttökohteet laajentuvat. Lisäksi koneiden langaton seuranta ja hallinta tulevat kehittymään. (Paitsola 6.2.2009.)

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli sopivan satelliittipohjaisen automaattiohjausjärjestelmän löytyminen Seinäjoen ammattikorkeakoulun Avant 520 -pienkuormaajaan. Perustelun pohjana käytettiin kirjallisuuslähteitä, joissa tarkasteltiin nykyään käytössä olevia eri satelliittipaikannusjärjestelmiä ja niiden käyttöä koneohjauksessa.

Opinnäytetyön aihe on ollut mielenkiintoinen ja ajankohtainen, motivaation lisänä on toiminut myös konkreettinen tavoite: sopivan laitteiston löytyminen pienkuormaajaan eli aihe on tärkeä Seinäjoen ammattikorkeakoulun kannalta tulevaa kone-tekniikan opetusta ajatellen. Laitteistolle asetettiin selvitystyön pohjalta hankintakriteereitä, joiden perusteella laitteistoksi valikoitui Trimblen fmx-ajouraopastin ja EZ-Steerin automaattiohjaus. Tämä laitteisto täytti tärkeimmät hankintakriteerit eli laitteen käytettävyyden, monipuolisuuden ja laajennettavuuden. Hyvien ominaisuuksiensa ansiosta laitteella tulee varmasti olemaan pitkä käyttöarvo opetuksessa.

Opiskelijat pääsevät tutustumaan käytännössä automaattiohjaukseen, mikä on tärkeää, koska automaatiotekniikka tulee lisääntymään tulevaisuudessa voimakkaasti tekniikan alalla. Opiskelijat saavat konkreettisesti tutustua, siihen miten automaattiohjaus toimii ja miten se toteuttaa valitut ajolinjat; suorat, ympyrät, spiraalikaaret jne.

Aiheeseen löytyi riittävästi lähdemateriaalia ja luotettavien päivitettyjen nettilähteiden käyttö oli perusteltua, koska niiden avulla sai uusinta tietoa aiheesta. Aiheen rajaaminen oli suhteellisen helppoa. Apuna toimi mind-map-tyylinen ajatuskartta, joka auttoi pysymään keskeisen asian sisällä.

Jatkotutkimusideaksi nousi laitteiston toiminnan testaus käytännössä. Osallistuminen laitteen asennukseen on minulle tärkeää, koska olen tutustunut aiheeseen tämän opinnäytetyön kautta ja haluan nähdä, kuinka laite toimii käytännössä.

Teknisen kehityksen myötä toiminnallisuus ja luotettavuus ovat lisääntyneet laitteissa. Voisi ajatella, että nyky-yhteiskunnassa ihmisten suhtautuminen uuteen tekniikkaan on myönteistä.

Automaattiohjaus on nykypäivää maataloudessa ja tulee yleistymään nopeasti, koska laitteet monipuolistuvat ja hinnat halpenevat kysynnän lisääntyessä. Muutamien tuhannen euron sijoitus maksaa itsensä takaisin laitteen avulla saatavalla säästöllä. Säästöä saadaan mm. ajassa, polttoainekuluissa ja viljan, lannoitteen sekä torjunta-aineiden määrissä, koska ajolinjojen päällekkäisyys vähenee. Aukopaikat pellolla vähenevät, minkä ansiosta saadaan enemmän satoa.

Lopuksi voidaan todeta, että täysautomaattiseen koneenohjaukseen on vielä pitkä matka. Koneet eivät tule koskaan korvaamaan kuljettajaa täysin. Tilanteessa, jossa traktoriin tai traktorin perässä olevaan työkoneeseen tulee vikaa, automatisoitu järjestelmä lakkaa toimimasta. Turvallisuuskysymys on myös oleellinen, eli kuinka kone saadaan huomaamaan, jos tiellä on este kuten ihminen, eläin tai toinen kone. Tämäkin on nykytekniikalla varmasti mahdollista, mutta tekniikan kalleus on esteenä.

LÄHTEET

- Airos, E., Korhonen, R. & Pulkkinen, T. 2007. Satelliittipaikannusjärjestelmät. [Verkkojulkaisu]. Riihimäki: Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos. [Viitattu 4.6.2010]. Saatavana: <http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/658d1080428c8d79900bd2e60feb2862/PVTTJulkaisu12.pdf?MOD=AJPERES>
- Agrimarket. 2009. Tulevaisuuden John Deere -traktori? [Kuva]. Hyvinkää: Hankkija- maatalous Oy. [Viitattu 20.7.2010]. Saatavana: http://www.agrimarket.fi/Koneet/Huolto_ ja_ varaosat/Alkuperaisvaraosat/Tulevaisuuden_John_Deere_-traktori/
- Autoguide automaattiohjaus. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Suolahti: Valtra Oy Ab. [Viitattu 20.7.2010]. Saatavana: http://www.valtra.fi/products/documents/Valtra_Autoguide_FI.pdf
- Avant. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Ylöjärvi: Avant tecno Oy. [Viitattu 23.6.2010]. Saatavissa: <http://www.avanttecno.com>
- Avaruudesta apua maanviljelyksen haasteisiin. 18.9.2006. [WWW-dokumentti]. Suolahti: Valtra Oy Ab. [Viitattu 20.7.2010]. Saatavana: <http://www.valtra.fi/news/2006/814.asp>
- Avaruustekniikka-maailman ensimmäiset satelliitit. 28.1.2010. [WWW-dokumentti] Helsinki: Tähtitieteellinen yhdistys Ursa Ry. [Viitattu 3.6.2010] Saatavana: <http://www.ursa.fi/ursa/jaostot/tekokuut/data/sputnik.html>
- China to set up independent satellite navigation system. 24.5.2010. [WWW-dokumentti]. Beijing: GPS Daily. [Viitattu 3.6.2010]. Saatavana: http://www.gpsdaily.com/reports/China_To_Set_Up_Independent_Satellite_Navigation_System_999.html
- Galileon toteutus etenee testien kautta. 20.5.2010. [WWW-dokumentti]. European Space Agency. [Viitattu 18.6.2010]. Saatavana: http://www.esa.int/esaCP/SEM RK2U889G_Finland_0.html
- Geotrim. 2009. [Verkkosivu]. Vantaa: Geotrim Oy. [Viitattu 23.6.2010]. Saatavana: <http://www.geotrim.fi>
- GICLA. Ei päiväystä. [Kuva]. Galileo information center for Latin America. [Viitattu 15.7.2010]. Saatavana: http://www.galileoic.org/la/files/Galileo_constellation_400x400.jpg
- gmat. Ei päiväystä. [Kuva]. [Viitattu 15.7.2010]. Saatavana: <http://www.gmat.unsw.edu.au/currentstudents/ug/projects/Meyers/gps-constellation-lg%20%28thumbnail%29.jpg>
- GPS-mittaus. Ei päiväystä. [WWW-dokumentti]. Helsinki: Maanmittauslaitos. [Viitattu 22.6.2010] Saatavana: <http://www.maanmittauslaitos.fi/default.asp?id=929>

Heads on fire. Ei päiväystä. [Kuva]. [Viitattu 15.7.2010]. Saatavana: <http://headsonfire.org/community/sites/default/files/u41/satellites.jpg>

Huhtinen, M., Riikonen, T., Trast, I. & Viitala, R. 3.11.2003. Global positioning system. [WWW-dokumentti]. Joensuu: Virtuaali AMK. Saatavana: <http://www.ncp.fi/koulutusohjelmat/metsa/Paikkatietowww/paikannus/gps6.html> [viitattu 15.7.2010].

John Deere. 2010. [Kuva]. Illinois: Deere & Company. [viitattu 15.7.2010]. Saatavana: http://www.deere.com/region_ii/media/images/equipment/agriculture/ams/starfire_itc/rtk%20signal/rtk_graphic_296x215.jpg

Miettinen, S. (toim.) 2002 GPS Käsikirja. Karisto.

Miettinen, S. (toim.) 1998 GPS vie vaivatta perille. Jyväskylä.

Mitä koneohjaus on?. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Vantaa: Topgeo Oy. [Viitattu 22.6.2010] Saatavana: http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=121&Itemid=126

MTT. Ei päiväystä. Tulevaisuuden viljelytyöt miehittämättömällä traktorilla. [WWW-dokumentti]. Jokioinen: Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. [Viitattu 20.7.2010]. Saatavana: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/mtt/mtt/puistot/elonkierto/tietolaari/tulevaisuudenmaatalous>

Paitsola, J. 6.2.2009. Työkoneiden 3D-ohjaus – nykytilanne ja seuraavia haasteita. [Verkkojulkaisu]. Infra Ry. Saatavana: http://www.infrary.fi/files/2764_Tykoneiden3DohjausPaitsola.pdf

Parus. Ei päiväystä. [WWW-dokumentti]. [Viitattu 3.6.2010]. Saatavana: <http://www.astronautix.com/craft/parus.htm>

Poutanen, M. (toim.) 1998 GPS-paikanmääritys. Hämeenlinna.

Rantanen, K. 11.8.2009. Tulevaisuuden viljelijä komentaa robottijoukkojaan. [WWW-dokumentti]. Helsinki: Tieteen tiedotus Ry. [Viitattu 30.7.2010]. Saatavana: http://www.tiede.fi/artikkeli/1083/tulevaisuuden_viljelijä_komentaa_robottijoukkojaan

Salmenperä, H. 2004. Paikannus ja työkoneohjaus. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Maanmittaustieteiden seura Ry. [Viitattu 22.6.2010] Saatavana: http://mts.fgi.fi/maanmittaus/numerot/2004/2004_12_salmenpera.pdf

SBAS ja GBAS: GPS-korjauksia. Ei päiväystä. [Verkkosivu] [Viitattu 3.8.2010] Saatavana: http://www.elisanet.fi/master.navigator/Fi_InfoEGNOS_WAAS.htm

What is Galileo? 11.5.2010. [WWW-dokumentti]. European Space Agency. [Viitattu 18.6.2010] Saatavana: http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html