

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Rakennustekniikka
Maa- ja kalliorakentaminen

Juha-Matti Nieminen

KONEOHJAUS MAANRAKENNUSTYÖSSÄ

Opinnäytetyö 2011

TIIVISTELMÄ

Juha-Matti Nieminen

Koneohjaus maanrakennustyössä, 40 sivua, 3 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Rakennustekniikka

Maa- ja kalliorakentaminen

Opinnäytetyö

Ohjaajat: Dipl.ins, Pekka Saikko, Saimaan ammattikorkeakoulu, Osastonjohtaja
(maanrakennus) Esa Martonen JAKK

Koneohjauksen käyttö maanrakentamisessa on yleistynyt muutamassa vuodessa. Tässä opinnäytetyössä selvitän tällä hetkellä yleisimpien koneohjausjärjestelmien toimintaa ja käyttösovelluksia. Työssä tehdään myös yhteenveto merkittävimmistä laitevalmistajista.

Opinnäytetyössä esitellään koneohjauksen käyttöä Destian vt6 työmaalla Lappeenrannassa. Tältä ja muilta maanrakennustyömailta saatujen kokemusten perusteella koneohjausjärjestelmät ovat tulleet pysyvästi osaksi rakennustyötä. Maanrakennusalan konetyötä tekeville henkilöillä tulee siten olla riittävä osaaminen koneohjauksen ja mittaustekniikan perusteista. Koneohjauksen käyttö tulee olemaan haaste alan oppilaitoksille jo lähitulevaisuudessa.

Opinnäytetyössä tehdään ehdotus maanrakennusalan ammattitutkintoon sisältyvän koneohjauksen koulutuksen sisällöksi. Aiheen työlle antoi Jalasjärven aikuiskoulutuskeskus (JAKK), jossa myös koneenkuljettajien koulutusta aktiivisesti kehitetään vastaamaan nykyisten työmaiden vaatimuksia.

Avainsanat: koneohjaus, maanrakennus, aikuiskoulutus

ABSTRACT

Juha-Matti Nieminen

Work machine automation in civil construction , 40 pages, 3 appendices

Saimaa University Of Applied Sciences , Lappeenranta

Civil Engineering

Thesis 2011

Instructors: Master of Science in Technology, Pekka Saikko, Saimaa University Of Applied Sciences, Department manager Esa Martonen, JAKK

The use of work machine automation has increased rapidly on the construction sites. The aim of this thesis was to study the most common system policies and user applications. The work also intended to prepare a summary of the major equipment manufacturers and products.

The applications of work machine automation on construction site were demonstrated with Destia vt6 project in Lappeenranta. It was found out that work machine automation systems are included into the civil engineering sites. The construction workers shall have sufficient knowledge of know-how with systems in use and principles. The use of work machine automation will be a future challenge for educational institutions and construction workers.

The result of this thesis has been discussed regarding the content of education. The supervisor of this thesis is adult education center JAKK. JAKK is continuously developing their skills with adult education.

Keywords: work machine automation, civil construction, adult education

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	AUTOMAATIO RAKENTAMISEN OHJAUKSESSA	7
2.1	Työkoneautomaatio	7
2.2	Koneohjaus.....	7
2.2.1	1D-koneohjaus	9
2.2.2	2D-koneohjaus	9
2.2.3	3D-koneohjaus	10
2.3	Takymetriseurantaan perustuva koneohjaus	11
2.4	Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus	14
2.4.1	Satelliittimittaus	15
2.4.2	GPS-järjestelmän periaate	16
3	AIKUISKOULUTUS	18
3.1	Koneenkuljettajien koulutus	18
3.2	JAKK.....	19
3.2.1	Koulutukset	19
4	MITTALAITTEIDEN JA KONEOHJAUSJÄRJESTELMIEN VALMISTAJIA	20
4.1	Leica	20
4.1.1	Leica PowerDigger 3D	20
4.1.2	Micro Crade CB16.....	20
4.1.3	PowerBlade 3D	21
4.1.4	Power Snap.....	22
4.2	Novatron	22
4.2.1	Easy Dig.....	23
4.2.2	Vision link ja vision 3D.....	23
4.2.3	Moba GS-506.....	24
4.3	Trimble.....	24
4.3.1	Järjestelmät.....	25
4.3.2	VRS-Palvelu	25
4.4	Topcon.....	26
4.5	Yhteenveto mittalaitteista.....	28
5	KONEEN KULJETTAJIEN TYÖKONEOHJAUKSEN KOULUTUSSUUNNITELMA.....	29
5.1	Perustutkinnossa käsiteltävät asiat.....	29
5.2	Koulutuksen sisältö.....	29

5.2.1	Koneohjaus	30
5.2.2	Takymetrimittaus	30
5.2.3	GPS-mittaus	30
5.2.4	3D-maastomalli	31
6	KONEOHJAUS KÄYTÖSSÄ TYÖMAALLA	31
6.1	Koneohjaus vt6 työmaalla.....	31
6.2	Koneohjauksen käytön edellytykset.....	32
6.3	Satelliittipaikannus työmaalla.....	32
6.4	Suunnitelmatietojen käsittely	35
6.5	Esimerkki koneohjauksen käytöstä.....	35
7	YHTEENVETO	37
7.1	Koneohjaus.....	37
7.2	Koulutus.....	38
8	LÄHTEET.....	40

LIITTEET

Liite 1. Ammattitaitovaatimukset- ja osoittamistavat rakennusalan perustutkin-
nossa 3D koneohjauksen osalta.

Liite 2. Osaamisen arvioinnissa käytettävät lomakkeet

Liite 3. Koneohjausjärjestelmän rakenne

1 JOHDANTO

Maansiirtokoneissa käytettävät mittalaitteet ovat kehittyneet viime vuosina nopeasti. Ensimmäiset mittalaitteet olivat työkoneisiin asennettuja syvyys- ja kaltevuusmittareita. Nyt niitä käytetään mm. kaivinkoneissa, puskuetraktoreissa, tiivistyskoneissa, poravaunuissa, tiehöylissä, asfaltinlevittimissä ja jyrsimissä. Esimerkiksi tiehöylän terän sijaintia voidaan reaaliaikaisesti verrata tietokoneen näytöllä suunnitelman mukaiseen valmiiseen pintaan tai haluttuun linjaan työmaalla. Koneiden mittalaitteet ovat kehittyneet kuljettajaa opastaviksi koneohjauslaitteiksi tai automaattisesti konetta ja sen hydraulikka suunnitelman mukaan ohjaaviksi sovelluksiksi.

Koneohjausjärjestelmien käyttöä työmailla rajoittaa epätietoisuus asiasta sekä mittaus- ja paikannusteknologian puutteellinen osaaminen. Tässä opinnäytetyössä selvitetään, mitä koneohjauksella tarkoitetaan sekä esitellään yleisimpien koneohjausjärjestelmien toimintoja. Kokoan myös listan merkittävimmistä laitevalmistajista sekä esittelen järjestelmien toimintaa. Työni tarkoituksena on ensisijassa antaa yleiskuvaus koneohjauksesta ja sen koulutustarpeista maanrakennuksessa, joten järjestelmien tarkkoja teknisiä yksityiskohtia ei käydä läpi.

Koneohjaukseen liittyvällä koulutuksella on kysyntää jo nyt, koska laitteiden käyttö on osa koneenkuljettajan ammattitaitoa. Opinnäytetyöni toimeksiantajana on maanrakennusalan ammattikoulutusta tarjoava Jalasjärven aikuiskoulutuskeskus (JAKK). Työssäni koottuja asioita voidaan käyttää koneohjaukseen liittyvän koulutuksen ja laitehankintojen suunnittelussa JAKKissa. Tätä varten pohdin koneohjaukseen johdattelevan koulutuksen sisältöä työssäni kootun materiaalin sekä suullisten tiedonantojen pohjalta. Työn soveltavana osuutena on Lappeenrannassa Destian vt6 työmaalla käytössä olevan koneohjauksen toimintamallin ja järjestelmän esittely.

2 AUTOMAATIO RAKENTAMISEN OHJAUKSESSA

2.1 Työkoneautomaatio

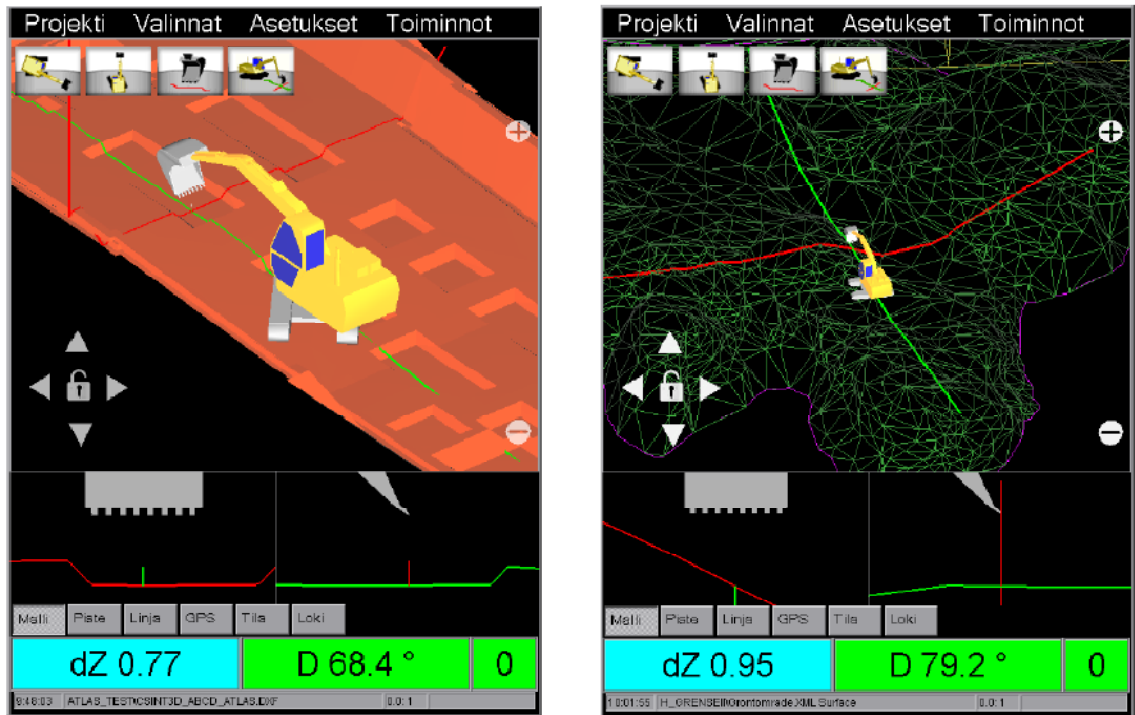
Automaatio tulee kreikan kielestä ja tarkoittaa laitteiden tai koneiden liikkumista itsestään. Automaation kehityskaari on noin 40 vuotta. Ensimmäiset jäykästi geometrisia ratoja toistavat robotit tulivat teollisuuden käyttöön 1960-luvulla. Rakennustyömaille robotit ja automaattit ovat tulleet muihin teollisuudenaloihin verrattuna hitaasti. Aivan viime vuosina tilanne on kuitenkin oleellisesti muuttunut. Erityisesti maanrakennuskoneisiin on kehitetty lukuisia erilaisia, tyypillisesti kuljettajaa avustavia automatisoituja koneohjausjärjestelmiä. Maanrakennustyömaa on automaation käytölle otollinen, koska työ on pitkälti koneellistettua ja selkeitä toistuvia työvaiheita esiintyy paljon. Kehittyneet 3D paikannustekniikat mahdollistavat nykyisin myös tarkan liikkuvien työkoneiden ohjauksen. Ensimmäisestä maanrakennusautomaation kehitysvaiheesta voidaan katsoa jo siirtymäksi toiseen vaiheeseen. Tästä on merkinä ensimmäisten järjestelmien vanhanaikaisuus ja ominaisuuksien yksipuolisuus uutuuksiin verrattuna. /1,s.11-13./

2.2 Koneohjaus

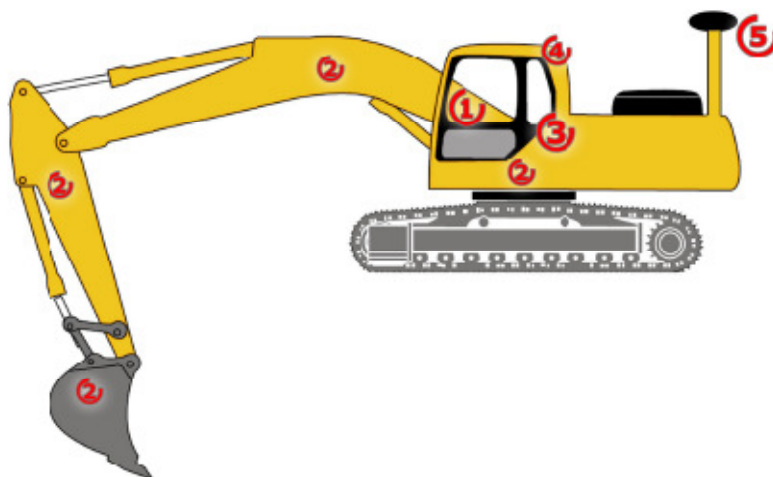
Maanrakennustöissä koneet eivät ole täysin automaattisia, vaan työkoneautomaatio on valjastettu kuljettajan apuvälineeksi (kuva 1). Oikeampi määritelmä maanrakennuksen automaatiosovelluksille on koneohjaus. Sen käyttöönottamiseksi työkoneesta on muodostettava eräänlainen mittalaite. Koneiden puomit muodostuvat useista toisistaan riippumatta liikkuvista osista. Koneohjauksen edellytyksenä on koneen puomin kaikkien liikkuvien osien varustaminen asentoa mittaavilla elektronisilla antureilla (kuva 2). Lisäksi tarvitaan myös pyörimistä ja kaltevuutta mittaavia antureita.

Vaativissa olosuhteissa toimivan ja suuria massoja käsittelevän työkoneen liikkeiden mittaaminen elektronisesti asettaa kohtalaisia haasteita tekniikalle. Elektronisen mittaustiedon avulla koneen osien geometriasta voidaan määrittää kauhan sijainti jonkun koneessa sijaitsevan pisteen suhteen. Järjestelmä muodostuu antureista ja mittaustietoa käsittelevästä tietokoneesta sekä näytöstä, jolla osoitetaan kuljettajalle järjestelmän tuottamaa informaatiota. Opastavissa eli indikoivissa sovelluksissa kuljettaja hallitsee kaikkia koneen liikkeitä järjes-

telmän tuottaman informaation mukaisesti. Teknisesti pidemmälle viedyissä automaattisissa sovelluksissa ohjataan suoraan koneen hydraulikkaa ja kuljettaja huolehtii vain oikeista ajolinjoista työmaalla. Automaattista koneohjausta käytetään yleisesti puskukoneissa, tiehöylissä ja asfaltinlevittimissä. Kaivukoneissa automaattisen koneohjauksen käyttö ei ole mahdollista. Automaattiohjaus soveltuu liikeradoiltaan yksinkertaisiin koneisiin. /2;3,s.44-46./



Kuva 1. Näkymä kuljettajalle koneohjausjärjestelmän näytöllä /4./



Kuva 2. Antureita koneessa /4./

2.2.1 1D-koneohjaus

1D-koneohjauksella tarkoitetaan koneen puomin tai terän asennon seuraamista ainoastaan Y-koordinaattiakselilla eli pystysuunnassa. Korkoa voidaan määrittää työmaalle pystytetyn pyörivän lasersäteen ja konevastaanottimen avulla tai koneeseen asennettujen anturien avulla. 1D-järjestelmillä voidaan mitata kauhan suhteellista korkoa valittuun vertailutasoon nähden. Anturitekniikkaan perustuvissa sovelluksissa vertailukorko voidaan ottaa viemällä kauha tunnetulle korkopisteelle ja asettamalla tämä korko vertailutasoksi. Järjestelmä osoittaa kuljettajalle työskentelyn aikana eroa kauhan ja vertailutason välillä. Tieto etäisyydestä vertailutasoon tuodaan kuljettajan näytölle numeroina tai oikeaa kaivutason osoittavalla valonäytöllä. Koneita siirrettäessä on vertailutaso tallennettava aina uudestaan. /2./

2.2.2 2D-koneohjaus

2D-järjestelmä määrittää antureiden avulla koneen kauhan sijaintia Y- ja X-koordinaattiakseleilla. Y-suunnalla tarkoitetaan korkeutta ja X-suunnalla koneen puomin suuntaista vaakaetäisyyttä. Kahden havaintosuunnan perusteella pystytään määrittämään kaltevuuksia koneen puomin suunnassa. 2D-järjestelmillä voidaan mitata kauhan suhteellista korkeutta tunnettuun korkomerkintään verrattuna ja määrittää kaivutasolle haluttu kaato koneen puomin suunnassa. Ongelmana on kaivutason muuttuminen, kun konetta käännetään sivuun linjalta jolle kaato on asetettu. Koneen kääntämisestä aiheutuvaa virhettä voidaan korjata mittaamalla koneen pyörimisliikettä erillisellä anturilla. Kehittyneimmissä 2D-sovelluksissa pyörimisanturi on vakiovarusteena.

2D-koneohjaus tuottaa kuljettajalle tietoa etäisyydestä ja korkeudesta määritetyn vertailupisteen suhteen. Vertailupiste osoitetaan viemällä kauha kyseiselle pisteelle. Vertailupisteeltä voidaan lähteä etenemään halutussa kaltevuudessa

2D-järjestelmissä mittaustieto tuodaan kuljettajan näkyville ohjaamoon sijoitetulle näytölle. Informaatiota on enemmän kuin 1D-järjestelmissä, joten esityksessä käytetään apuna yksinkertaista grafiikkaa. Kauhan asentoa ja kallistuvan luiskakauhan kaltevuutta voidaan myös osoittaa järjestelmän näytöllä.

Suhteellista korkeutta mittaavien ratkaisujen heikkoutena on, että järjestelmä ei rekisteröi koneen sijainnin tai asennon muuttumista. Aina konetta siirrettäessä on tallennettava uudestaan vertailutaso tunnetulta korkomerkillä. Myös koneen painuminen tai kallistuminen työskentelyn aikana aiheuttaa virhettä mittaukseen, koska järjestelmä määrittää ainoastaan etäisyyksiä koneen sisäisessä koordinaatistossa eikä pysty huomioimaan muutoksia koneen sijainnissa.

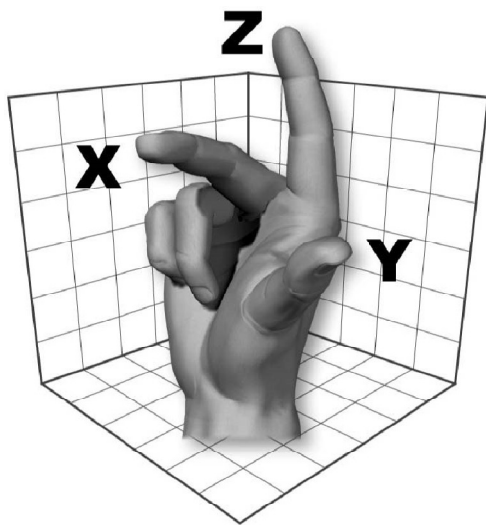
Uuden vertailutason ottaminen jokaisen siirron jälkeen ei ole aina mahdollista sujuvan työskentelyn kannalta. 2D-koneohjauksen tukena voidaan käyttää työmaalle pystytettyä pyörivää lasersädettä lähettävää tasolaseria, jonka säteestä koneen puomiin sijoitettu vastaanotin määrittää koneen korkeusasemaa aina, kun puomin vastaanotin ohittaa säteen. Myös koneen kaltevuutta mittaavia antureita voidaan käyttää virheiden vähentämiseen. /2./

2.2.3 3D-koneohjaus

3D-koneohjauksessa terän tai kauhan sijainti voidaan osoittaa yksiselitteisesti. Tällöin puhutaan kolmesta koordinaatista X Y ja Z (kuva 3.). 3D-järjestelmissä yhdistetään myös koneohjaus ja paikkatieto. Koneeseen sijoitettu anturijärjestelmä määrittää tietoa puomien asennosta jonkun koneessa olevan pisteen suhteen kuten 2D-järjestelmissä. Tuntamalla koneen sijainti kolmiulotteisessa koordinaatistossa voidaan myös kauhalle määrittää yksiselitteinen sijainti XYZ-avaruudessa. Rakennussuunnitelmissa esitetyt kohteet on sidottu maastokoordinaatistoon. Tuomalla sähköinen suunnitelma aineisto koneohjausjärjestelmän tietokoneelle voidaan kauhan sijaintia verrata suunnitelman osoittamiin tietoihin. Kuljettajan näytölle saadaan reaaliaikainen kuva rakennussuunnitelmasta ja koneen sijainnista suunnitelmakartalla. Suurin hyöty 3D-koneohjauksesta saadaan, kun suunnitelmista luodaan kolmiulotteinen maastomalli, jossa kaikilla pisteillä on sijainti XY-tasossa ja korkeussuunnassa Z. Maastomallista kuljettaja näkee valmiin pinnanmuodon ja kauhan etäisyyden pinnasta ja valitusta linjasta. 3D-sovelluksessa koneesta on tehty mittamiehen välineisiin verrattava mittalaitte, jota on sovellettu tuottamaan kuljettajalle tarpeellista tietoa rakennettavasta

kohteesta. Maansiirtokoneen käyttäminen mittalaitteena asettaa tiettyjä rajoja tarkkuudelle käytännössä toleranssit ovat +30 mm.

3D-koneohjauksen käyttö edellyttää jatkuvaa reaaliaikaista paikkatietoa koneen sijainnista. Paikkatietoa voidaan tuottaa satelliittipaikannuksen avulla tai jatkuvalla takymetriseurannalla. Koneohjausjärjestelmän mittaustarkkuus riippuu paikkatiedon oikeellisuudesta. Eri paikannustekniikoiden välillä on eroja tarkkuudessa ja käytettävyydessä. /2./

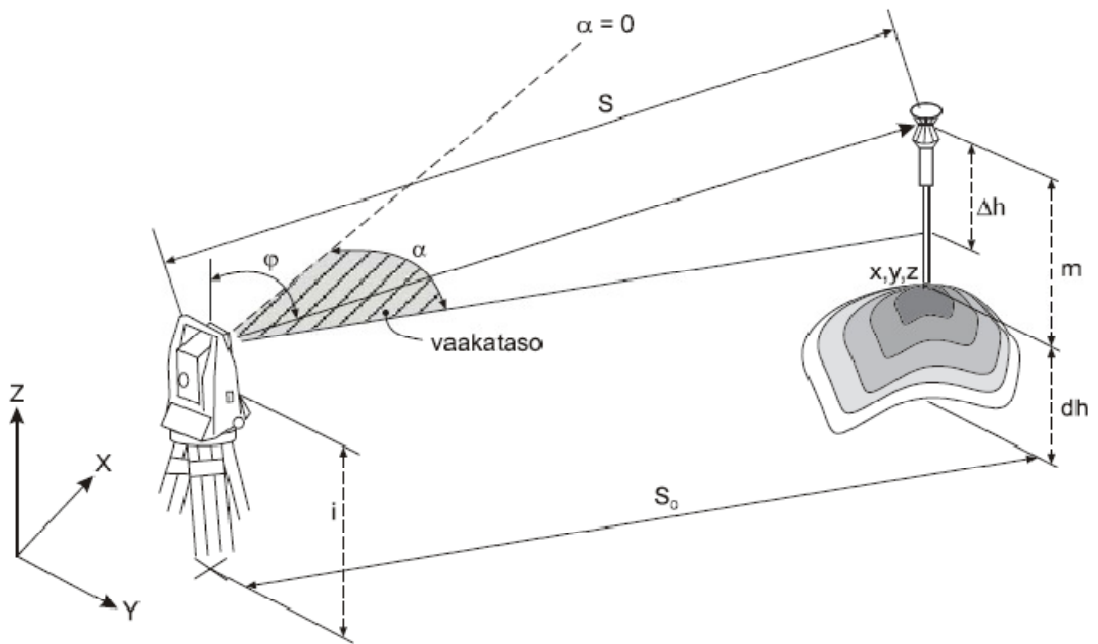


Kuva 3. Kolmiulotteinen koordinaatisto /4./

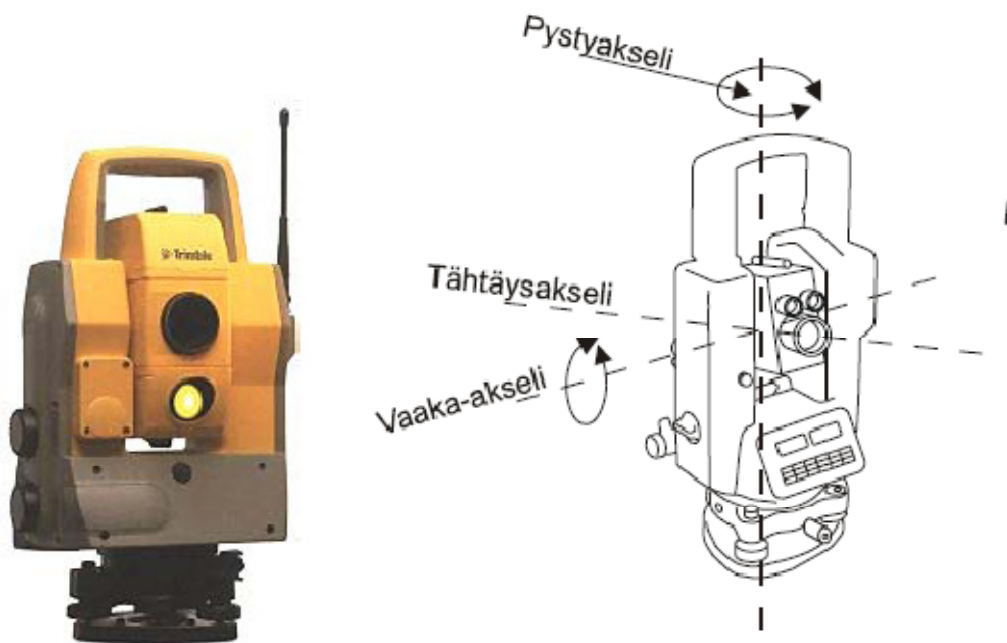
2.3 Takymetriseurantaan perustuva koneohjaus

Takymetri on kulman- ja etäisyydenmittauskoje, jolla mitataan pysty- ja vaakakulmia sekä etäisyyksiä koneen sijaintipisteen ja havaintokohteen välillä. Ennen mittauksen aloittamista takymetri täytyy orientoida paikalleen eli määrittää kojeen sijaintipisteen koordinaatit yleensä käytetään ns. vapaan asemapisteen menetelmiä. Tällöin orientointi tehdään suorittamalla mittaus kahdelle sijainniltaan tunnetulle pisteelle ja syöttämällä pisteiden koordinaatit takymetriin, joiden perusteella koje laskee sijaintinsa. Vaihtoehtoisesti takymetri voidaan pystyttää suoraan tunnetulle pisteelle. Mittaus tapahtuu tähtäämällä havaintopisteelle vietyyn prismaan, joka heijastaa etäisyysmittarin lähettämän lasersäteen takaisin takymetriin. Etäisyys kohteeseen määritetään takaisin heijastuvasta lasersäteestä ja samalla takymetri tallentaa pysty- ja vaak akselien asennot kohteelle tähdätessä (kuva 4 ja 5.). Mittaushavaintojen perusteella voidaan laskea koh-

teen sijaintikoordinaatit trigonometriaan perustuen. Takymetriassa on itsessään havaintojen tallentamiseen ja käsittelyyn soveltuva tietokone. /5,s.223-260./



Kuva 4. Takymetrimittauksen periaate /5./



Kuva 5. Takymetrin havaintoakselit /5./

Koneohjaussovelluksissa havaintoprisma on kiinnitetty työkoneeseen. Prismän sijaintia maastokoordinaatistossa mitataan takymetrillä, ja koneohjausjärjestelmälle lähetetään reaaliaikaisesti tietoa prismän sijainnista kolmiulotteisessa

maastokoordinaatistossa. Koneohjausjärjestelmän tietokone yhdistää takymetrillä mitatun paikkatiedon ja antureiden tuottamat tiedot koneen ja puomin asennosta ja pystyy näin määrittämään kauhan yksiselitteisen sijainnin kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Kun koneen terän sijainti tunnetaan, pystytään koneohjausjärjestelmän näytöllä osoittamaan kuljettajalle etäisyyksiä suunnitelman mukaisista linjoista ja korkeuksista.

Koneohjauksessa käytetään prismaa automaattisesti seuraavaa robottitakymetryriä. Robottikone seuraa ja kohdistuu prismaan automaattisesti. Kone mittaa prisman sijaintia noin sekunnin välein. Työkoneen nopea liikkuminen saattaa aiheuttaa ongelmia takymetrimittaukselle. Takymetrin ja koneen välillä on luonnollisesti oltava esteetön näköyhteys. Takymetrimittaukseen perustuvalla koneohjauksella päästään GPS-järjestelmiä suurempaan tarkkuuteen korkeuden määrittämisessä tarkkuus on 10 mm luokkaa. /6,s.223-260./

Takymetriseurantaan perustuva koneohjaus on tällä hetkellä satelliittipaikannusta tarkempaa erityisesti korkeuden määrittämisessä. Yleisiä käyttösovelluksia ovat asfaltinlevittimet ja päällystettäviä kerroksia muotoilevat tiehöylät (Kuva 6.). Takymetrimittauksen vaatima esteetön näköyhteys mittauskojeen ja työkoneen välillä asettaa rajoituksia koneen työskentelyalueelle. Takymetrin käyttö vaatii myös mittaustekniikan perusteiden hallitsemista. Kuljettajan tietotaito ei kaikissa tilanteissa riitä takymetrin pystyttämiseen ja orientointiin ennen töiden aloittamista. Takymetriseurantaan perustuva koneohjaus ei ole käytettävyyden kannalta paras järjestelmä mutta erinomaisen korkotarkkuuden vuoksi sitä kuitenkin käytetään yleisesti. /7./



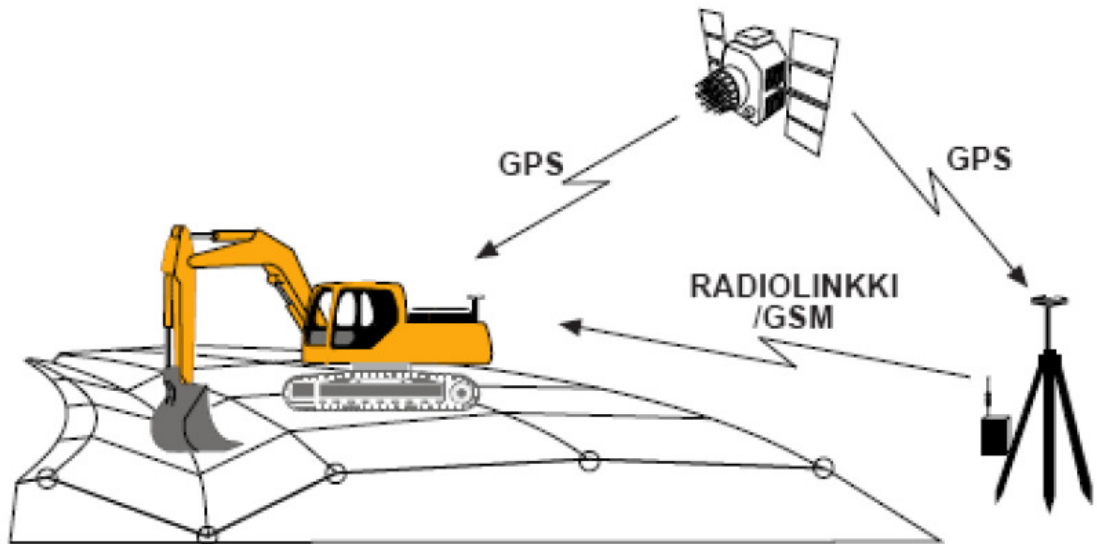
Kuva 6. Takymetriohjattu tiehöylä työmaalla /4./

2.4 Satelliittipaikannukseen perustuva koneohjaus

3D-koneohjauksen edellyttämää paikkatietoa työkoneen sijainnista voidaan tuottaa satelliittien avulla. Satelliittipaikannuksella tarkoitetaan kohteen sijainnin määrittämistä maapalloa kiertävien satelliittien lähettämän signaalin avulla. Työkoneessa on kartoitusyksiköksi kutsuttu satelliitivastaanotin, joka pystyy määrittämään yksiselitteisen sijaintinsa maapallolla kolmiulotteisessa koordinaatistossa. Koneeseen kiinnitetty satelliitivastaanotin eli kartoitusyksikkö määrittää sijaintiaan maapallolla. Koneohjausjärjestelmä yhdistää kartoitusyksikön tuottaman paikkatiedon ja antureiden tuottamat tiedot koneen puomin asennosta ja pystyy siten määrittämään koordinaatit kauhan sijainnille.

Satelliittisignaalin pitkän kulkumatkan vuoksi paikannuksessa on aina virhettä. Mittaustarkkuutta parannetaan työmaalle sijainniltaan tunnetulle pisteelle sijoitetulla satelliitivastaanottimella eli tukiasemalla. Tukiasemalla mitataan tunnettujen ja satelliittien avulla määritettyjen koordinaattien eroa. Tukiasema lähettää kartoitusyksikölle tietoa kyseisellä hetkellä vallitsevasta koordinaattierosta satelliiteista määritetyn ja todellisen sijainnin välillä (kuva 7.). Korjausdataa voidaan lähettää radioteitse, internetin välityksellä tai GSM verkkoa käyttäen. Tukiaseman avulla tarkennettua GPS mittauksia kutsutaan RTK-GPS mittaukseksi (Real Time Kinematic). Tukiaseman ei tarvitse fyysisesti sijaita työmaalla ja laitevalmistajilla onkin sovelluksia joissa virtuaalitukiasemalle laskettua korjausdataa

voidaan lähettää puhelinyhteyden välityksellä kartoitusyksikölle. Kyseessä on kaupallinen palvelu. /7./



Kuva 7. RTK-GPS-mittaus /4./

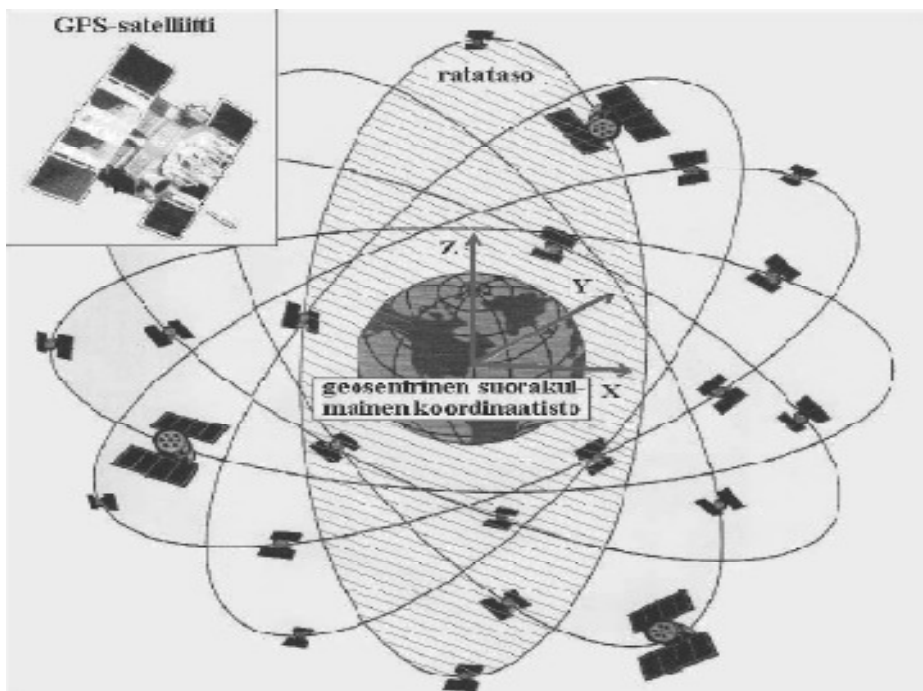
2.4.1 Satelliittimittaus

Satelliittipaikannusta käyttävät laitteet nimetään puhekielessä yleisesti GPS-laitteiksi. Kirjainyhdistelmä GPS tulee sanoista Glopal Positioning System. GPS järjestelmä on amerikkalainen alun perin sotilaskäyttöön kehitetty maailmanlaajuinen reaaliaikainen paikannus järjestelmä, joka vapautui siviilikäyttöön 1960-luvun lopulla.

Nykyisin satelliittipaikannus ei ole vain GPS-järjestelmän varassa. Venäläinen Glonass-järjestelmä on ollut toiminnassa 1990-luvulta alkaen. Glonass on myös käytettävissä kaikkialla maailmassa mutta se on satelliittimäärältään amerikkalaisten järjestelmää pienempi ja siten epätarkempi. Euroopan unionin maat ovat parhaillaan toteuttamassa omaa Galileo-nimistä satelliittijärjestelmäänsä. Eri maiden satelliittijärjestelmien muodostamaa kokonaisuutta kutsutaan GNSS-järjestelmäksi (Glopal Navigation Satellite System). /6,s.287-297./

2.4.2 GPS-järjestelmän periaate

GPS-järjestelmä muodostaa satelliittipaikannuksen rungon. Muut satelliittijärjestelmät ovat toimintaperiaatteeltaan samankaltaisia ja ne voidaan ajatella paikannusta tukeviksi järjestelmiksi GPS:n rinnalla. GPS-järjestelmä koostuu 24 satelliitista, jotka kiertävät maapalloa noin 20 200 kilometrin korkeudessa. Käytännössä maapalloa kiertää noin 30 satelliittia, joista osa on varalla sekä täydentämässä järjestelmää. Satelliittien radat ovat ympyrän muotoisia ja ne sijoituvat kuudelle eri tasolle (kuva 8.). Satelliittigeometria taivaalla muuttuu koko ajan koska navigointisatelliitit liikkuvat havaitsijaan nähden toisin kuin geostationäärisellä eli päiväntasaajaa seuraavalla radalla kiertävät televisiosatelliitit. Satelliittigeometrian jatkuva muuttuminen johtuu myös satelliittien kiertoajasta, joka on 11 h 58 min eli vähempi kuin puoli vuorokautta. Tästä pienestä poikkeamasta johtuen satelliittien asemat taivaalla eivät toistu vuorokausittain samana kellonaikana. /6,s.297-305./

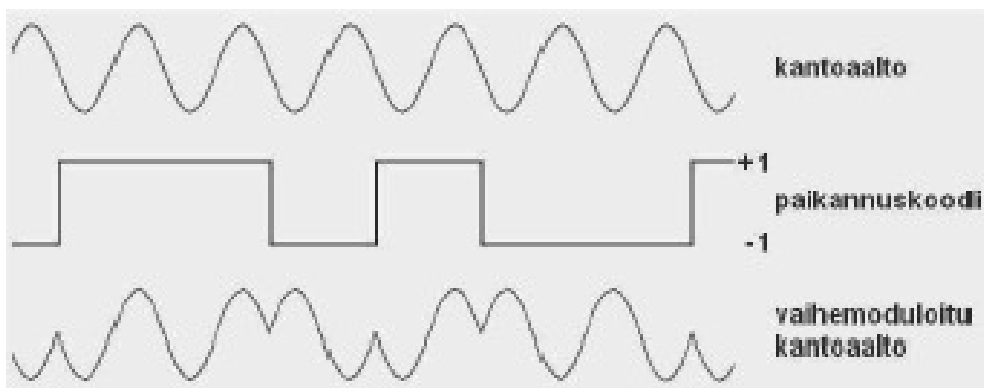


Kuva 8. GPS järjestelmän satelliitit sijaitsevat kuudella ratatasolla /6,s.291./

GPS-järjestelmä on ensisijaisesti kehitetty sotilaskäyttöön soveltuvaksi eli yksisuuntaiseksi järjestelmäksi. Yksisuuntaisuus tarkoittaa sijainnin määrittämistä ainoastaan vastaanottamalla signaaleja satelliiteilta. Sijainnin määrittämiseksi tarvitaan signaalia vähintään kolmesta eri satelliitista. Tietämällä etäisyydet sa-

telliitteihin sekä niiden sijainti havaintokehällä tietyinä ajanhetkenä pystytään määrittämään havaitsijan paikka. Paikannustarkkuus lisääntyy, kun tietoja vastaanotetaan useammasta satelliitista. GPS-satelliittien lähettämä signaali on suuritaajuista radiosignaalia, joka koostuu kantaallosta ja siihen vaihemoduloinnilla liitetystä paikannuskoodista. Signaali muodostuu kolmesta osasta seuraavasti (kuva 9.).

1. Kantaaltoja on kaksi ja niiden taajuudet ovat 1575,42 MHz ja 1227,60 MHz
2. Paikannuskoodia on sotilaskäyttöön tarkoitettu salattu P-koodi ja siviilikäyttöön tarkoitettu C/A-koodi, joka on moduloitu 1575,42 MHz kantaaltoon.
3. Navigointiviesti joka sisältää sijainti, aika ja kuntotiedon satelliitista. /6,s.294-295./

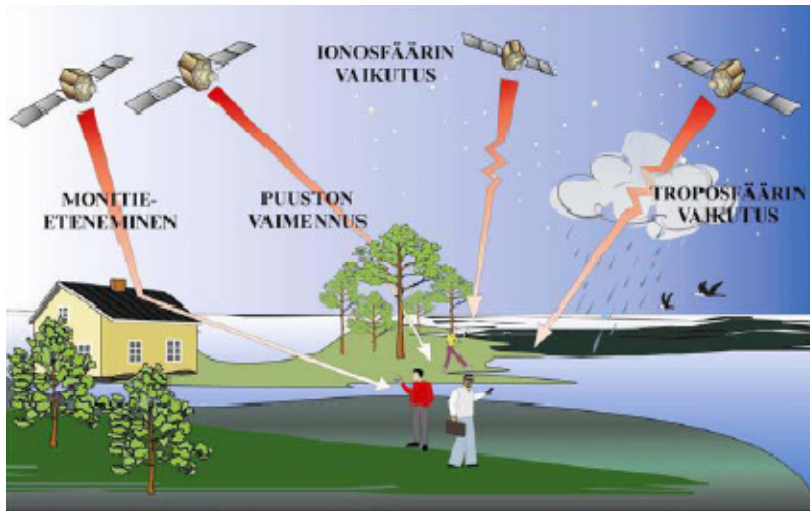


Kuva 9. GPS signaalin rakenne /6,s.294./

Seuraavassa on lueteltu satelliittimittauksen tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä (kuva 10.):

- Maapallolla oleva havaitsija ja satelliitti liikkuvat toisiinsa nähden nopeudella 4 km/s.
- Satelliittien paikka määritetään ratatiedoista laskemalla, käytännössä sijaintitarkkuus on muutamia metrejä.
- Ilmakehän kerrokset ionosfääri ja troposfääri muuttavat paikkatieto signaalin kulkusuuntaa.
- Satelliittigeometria voi olla mittauksen kannalta huono tai horisontin yläpuolella ei ole riittävästi satelliitteja mittaushetkellä.

- Vastaanotettu signaali voi olla heijastunutta ympäristön rakennuksesta tai kasvillisuudesta.
- Tietokoneohjelmissa tai laitteissa voi olla toimintahäiriö. /6,s.311-312/



Kuva 10. Satelliittisignaaliin virheitä aiheuttavia tekijöitä /6,s.312./

3 AIKUISKOULUTUS

3.1 Koneenkuljettajien koulutus

Aikuiskoulutuksella tarkoitetaan työelämässä oleville tai alaa vaihtaville henkilöille suunnattua koulutus- ja kurssitoimintaa. Ammatti- ja erikoisammattitutkinnot taas ovat ammatillista lisäkoulutusta. Niitä ja myös ammatillisia perustutkintoja on mahdollista suorittaa ammattitaidon hankkimistavasta riippumattomassa näyttötutkinnossa, jossa osaamisen voi osoittaa esimerkiksi näyttötutkintoon valmistavan koulutuksen tai työkokemuksen pohjalta

Aikuiskoulutuksen tavoitteena on ammattitutkinnon suorittaminen tai kurssi-
muotoisesti jonkun ammattityön opiskelu tai pätevyyden hankkiminen. Myös
ammattiin valmistavia perustutkintoja voidaan suorittaa aikuiskoulutuksena.

/10./

3.2 JAKK

Jalasjärven aikuiskoulutuskeskus (JAKK) on valtakunnallisesti toimiva aikuis-kouluttaja rakentamisen, auto- ja kuljetustekniikan sekä teollisuuden aloilla. JAKKin tavoitteena on tarjota yrityksille mahdollisuus parantaa kilpailukykyään kouluttamalla henkilökuntaansa ammattitaitoisemmaksi. JAKK tarjoaa asiakkailleen heidän tarpeidensa mukaan mielenkiintoisia ja ajankohtaisia koulutuksia. JAKKissa suoritetaan infra-alan tutkintoja vuosittain noin 100 sekä runsaasti lisä- ja täydennyskoulutusta. /8./

3.2.1 Koulutukset

JAKK tarjoaa infra-alalle, rakennusalan perustutkintoon, maanrakennusalan ammattitutkintoon ja erikoisammattitutkintoon sekä rakennustutotannon ammat-tutkintoon johtavaa koulutusta. Ammattitutkinto on suunnattu alalla työskenteleville henkilöille jotka haluavat todistuksen osaamisestaan. Ammattitutkinnon rahoittaa koulutettavan henkilön työnantaja tai opiskelija itse.

Maanrakennusalan perustutkinto on mahdollista suorittaa työvoimapolitiittisena aikuiskoulutuksena tai oppisopimuksella. Koulutus kestää henkilökohtaisenope-tus suunnitelman mukaan päätoimisena opiskeluna noin 12 kuukautta. Koulutet-tava voi olla ammattia vaihtava tai työkokemusta omaava ensimmäistä ammat-tiaan suorittava henkilö. Tavoitteena on koulutettavan työllistyminen perustut-kinnon myötä.

Ammatti- ja perustutkinnoissa on valinnaisena osuutena maanrakennuskonei-den 3D-ohjaus. Tässä opinnäytetyössäni olen koonnut tietoja järjestelmistä ja niiden käytöstä koneohjauksen opetusmateriaalin pohjaksi. Samaa materiaalia voitaisiin käyttää myös yrityksille suunnattuun pätevyitymiskoulutukseen kone-ohjauksen osalta. /8./

4 MITTALAITTEIDEN JA KONEOHJAUSJÄRJESTELMIEN VALMISTAJIA

4.1 Leica

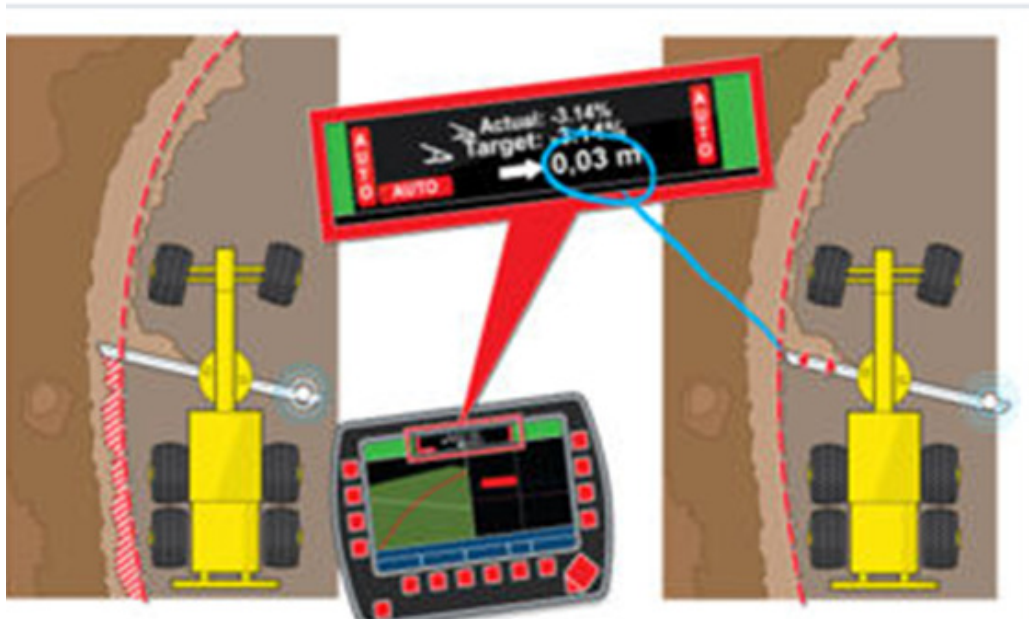
Leica on sveitsiläinen mittaustekniikan instrumentti ja ohjelmistovalmistaja. Leican mittalaitteiden myynnistä, teknisestä tuesta ja huollosta vastaa Suomessa Scanlaser Oy. Scanlaser toimii 8 maassa ja sen omistaa ruotsalainen Hexacon Ab. /9./

4.1.1 Leica PowerDigger 3D

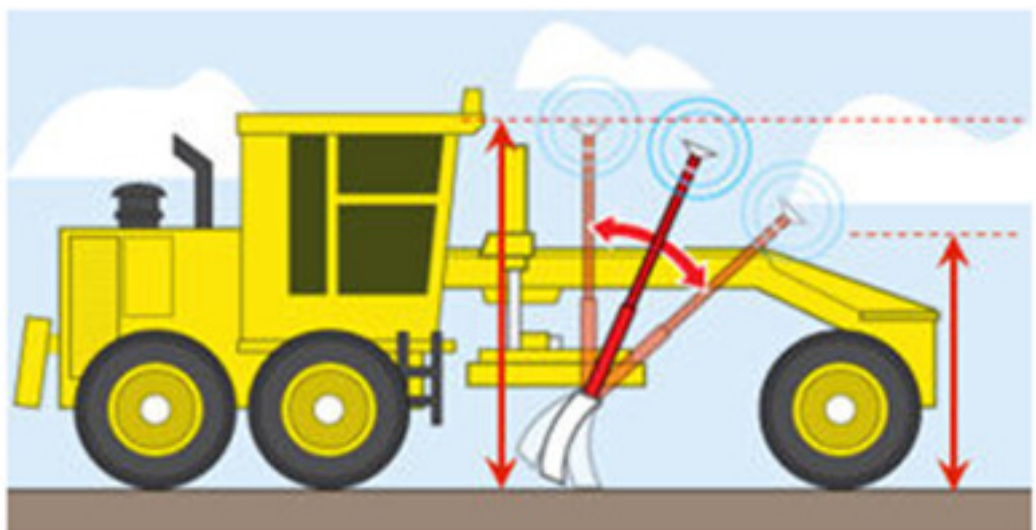
Leica PowerDigger on kaivinkoneen 3D-koneohjausjärjestelmä. Kauhan sijainnin määrittäminen perustuu koneen puomissa olevaan anturijärjestelmän ja koneen paikkatietoa satelliiteista määrittävien GNSS-antennien yhteistoimintaan. Kyseessä on tyypillinen RTK-GPS-järjestelmä. Leican järjestelmillä voidaan työskennellä suoraan DWG-muotoisen CAD-aineiston pohjalta. Maastomallin tuomisessa ei tarvita formaatin muunnoksia. Mainittava ominaisuus on myös puomin liikeratojen rajoittamisen mahdollistava sovellus. Esimerkiksi sähkölan-kojen alla työskennellessä puomin nouseminen voidaan rajoittaa määrättyyn korkeuteen. /9./

4.1.2 Micro Crade CB16

Micro Crade CB16 on Leican tiehöylän 3D-ohjausjärjestelmä. Työkoneen paikantamiseen voidaan käyttää tarkkuusvaatimusten mukaan takymetriä tai GNSS-satelliittipaikannusta samassa mastossa on prisma ja GPS-vastaanotin. Micro crade toimii opastavana järjestelmänä tai se voidaan rakentaa höylän hydraulikkaan yhdistämällä automaattiseksi terää ohjaavaksi järjestelmäksi. Automaattimalleissa on patentoitu 3D side sift-ominaisuus, joka mahdollistaa terän automaattisen sivusiirron ja pitää terän ulkoreunan halutulla linjalla (kuva 11.). Myös terän pystysuuntaisen leikkauskulman muuttaminen työskentelyn aikana on mahdollista (kuva 12.). Järjestelmä mittaa teräkulmaa ja laskee vastaanotinmaston sijainnin muuttumisen automaattisesti työn aikana /9./



Kuva 11. Side sift pitää terän ulkoreunan halutussa linjassa tai poikkeamassa.
/9./



Kuva 12. Automaattinen mastokulman tasaus terää käännettäessä./9./

4.1.3 PowerBlade 3D

Leican puskukonekäyttöön kehittämä PowerBlade 3D säättää hydraulikkaan yhdistettynä automaattisesti puskukoneen terän korkeutta ja kaltevuutta. Järjestelmä koostuu puskukoneen terään kiinnitetystä GNSS-vastaanottimesta tai prismasta sekä terän kaltevuutta mittaavasta anturista. Puskukoneissa ohjausjärjestelmiä on käytetty jo pitkään. Koneiden kehityksen myötä ohjausjärjestel-

mät voidaan liittää puskukoneen hydraulikkaan CAN-väylätekniikan avulla. Leica on suoraan yhteensopiva useimpien puskutraktori merkkien ja mallien kanssa. PowerBlade-järjestelmällä varustetun koneen paikantamiseen käytetään tarkkuusvaatimusten mukaan GNSS-satelliittimittausta tai takymetriseurantaa.

/9./

4.1.4 Power Snap

Leican Power Snap-järjestelmissä anturit ja ohjauspaneelit ovat pikakiinnitteisiä. Laitteita voidaan vaihtaa koneesta toiseen nopeasti ilman johtojen kytkemisiä. Yhteensopivuuden ansiosta myös erilaisia järjestelmiä voidaan koota työtilanteen mukaan. GPS vastaanottimen paikalle on nopeaa vaihtaa laservastaanotin, ja sama ohjauspaneeli pystyy nyt toimimaan 2D-mittalaitteena. Osien pikakiinnitys mahdollistaa helpon siirrettävyyden koneesta toiseen vaikkapa kahden työmaan välillä. Kun mittaustarvetta ei ole, niin mittalaitteet saadaan helposti irti koneesta turvalliseen säilytyspaikkaan suojaan kolhuilta ja varkailta.

/9./

4.2 Novatron

Novatron Oy on suomalainen koneohjaukseen soveltuvia maansiirtokoneiden mittalaitteita valmistava yritys. Novatronin toiminta kattaa myös laitteiden huolto- ja tukipalvelut sekä tulevaisuudessa suunnitelma aineiston käsittelyyn liittyvät palvelut.

Novatronin järjestelmissä sovelletaan internetin yli tapahtuvaa langatonta tiedonsiirtoa. Suunnitelma aineistoja voidaan siirtää työkoneen järjestelmään toimistolta verkkoyhteyden avulla. Langaton tiedonsiirto mahdollistaa myös helpon käyttäjätuen järjestämisen, kun työkoneessa sijaitsevaa järjestelmää voidaan etäkäyttää.

Novatronin koneohjausjärjestelmiin on valittavissa erimerkkisiä satelliittipaikantimia käyttötarpeen mukaan. Uusin sovellus on RTK-X-tekniikkaa hyödyntävä Novatron GNSS-paikannin. RTK-X-tekniikka mahdollistaa koneohjausjärjestelmän käytön, vaikka tukiasemalta saatava RTK-korjaussignaali katkeaisi muu-

tamiksi minuuteiksi. Katkonaisellakin korjaussignaalilla toimivasta järjestelmästä on etua työskenneltäessä kaukana tukiasemasta signaalin kantomatkan rajoilla. Toisena hyötynä on mahdollisuus lähettää korjausviestiä internetyhteyden välityksellä. Internetin korjausviestiin aiheuttama viive tai yhteyden katkeaminen hetkeksi ei aiheuta ongelmia työskenneltäessä RTK-X-tekniikkaa käyttävillä laitteilla. /10./

4.2.1 Easy Dig

Easydig on helppokäyttöinen ja edullinen kaivinkonejärjestelmä syvyyden, etäisyyden ja kaadon reaaliaikaiseen mittaamiseen. Järjestelmä osoittaa kuljettajalle suhteellista korkeutta valittuun vertailutasoon nähden. Reaaliaikaisen mittauksen ansiosta kaivutyötä ei tarvitse keskeyttää mittauksen ajaksi. Syvyystietoa voidaan osoittaa kuljettajalle numeroina tai yksinkertaisella grafiikalla nestekidenäytöllä (kuva 13.). /11./



Kuva 13. Easydig järjestelmän näyttö /4./

4.2.2 Vision link ja vision 3D

Vision link on kauan suhteellista sijaintia määrittävä 2D-koneohjausjärjestelmä, jossa on selkeä graafinen kolmiulotteinen näyttö monipuolisilla toiminnoilla (kuva 13.). Sama järjestelmä voidaan helposti päivittää 3D-järjestelmäksi lisäämällä paikannuslaitteet koneeseen. Pitkälti samoista komponenteista koostuvaa 3D-järjestelmää nimitetään vision 3D:ksi. Vision-järjestelmä on RTK-GPS-mittaukseen perustuva koneohjausjärjestelmä. Paikannus tapahtuu GPS- ja GLONASS-satelliittien avulla ja satelliiteista määritettyä paikkatietoa tarkenne-

taan työmaalla sijaitsevan tukiaseman korjaussignaaliilla. Vision 3D soveltuu asennettavaksi kaivukoneeseen, tiehöylään ja puskukoneeseen. /11./



Kuva 14. Vision 3D-järjestelmän näyttö /4./

4.2.3 Moba GS-506

Moba GS-506 on Novatronin markkinoima tiehöylä ja puskukone käyttöön suunniteltu koneohjausjärjestelmä. Gs-506 voidaan toteuttaa täysin automaattisesti terän korkeutta ja kulmaa säättävänä järjestelmänä tai kuljettajaa opastavana. GS-506 järjestelmää voidaan rakentaa satelliitti tai takymetripaikannukseen perustuvaksi käyttökohteen vaatimusten mukaan. /11./

4.3 Trimble

Trimble on globaali mittalaittevalmistaja, jonka tuotteita Suomessa myy Geotrim Oy. Geotrim on maasto- ja rakennusmittaukseen, koneautomaatioon sekä GPS-paikannukseen erikoistunut yritys, jonka toiminta kattaa laitteiden maahantuonnin, myynnin ja huollon sekä muut oheispalvelut.

Trimblen satelliittivastaanottimet ovat GNSS-laitteita eli paikkatietosignaalia voidaan vastaanottaa GPS- ja GLONASS- sekä tulevaisuudessa myös GALILEO-järjestelmien satelliiteilta. /12./

4.3.1 Järjestelmät

Trimble tarjoaa koneohjaukseen laajan tuotevalikoiman aina perinteisistä 2D-mittalaitteista uusimpiin 3D-sovelluksiin. 2D-sovelluksissa koneen suhteellista korkeutta mitataan joko laserlähettimellä tai tunnetulla korkopisteellä. 3D-järjestelmissä koneen sijainti määritetään GNSS-satelliittivastaanottimilla tai havaitsemalla koneeseen sijoitettua prismaa takymetrimittauksella. Satelliittimittauksen vaatimaa korjaustietoa voidaan lähettää radioteitse työmaalla sijaitsevalta tukiasemalta tai käyttää Geotrimin tarjoamaa VRS-palvelua.

Trimblen koneohjausjärjestelmät ovat asennettavissa lähes kaikkiin konetyyppeihin. Komponentteja on helppo siirtää koneista toiseen, joten järjestelmistä voidaan muodostaa useita erilaisia kokoonpanoja työn vaatimusten mukaisesti.

Trimblen järjestelmiä käytetään konetyypin mukaan indikoivina eli kuljettajaa opastavina tai koneen hydraulikkaan yhdistettyinä automaattisesti ohjautuvina järjestelminä. Trimble ja Caterpillar kehittävät koneautomaatioita yhteistyössä. Järjestelmät ovat toki asennettavissa kaikkiin konemerkkeihin. Catin lisäksi monien muidenkin valmistajien koneisiin on saatavilla tehdasasennettuna valmius Trimblen järjestelmiä varten. Lisäksi moniin konemerkkeihin ja malleihin löytyy räätälöityjä, helposti asennettavia jälkiasennuspaketteja. /12./

4.3.2 VRS-Palvelu

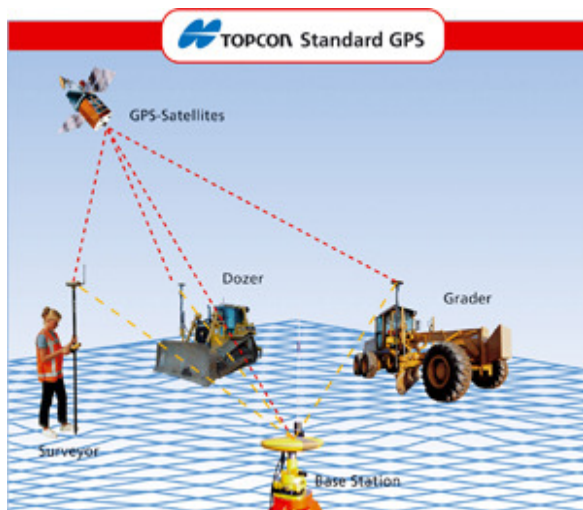
Geotrimin VRS-palvelu mahdollistaa tarkan RTK-GPS-mittauksen ilman työmaalle pystytettyä tukiasemaa. VRS-palvelu laskee mittaajalle tai työkoneelle virtuaalisen tukiaseman lähelle työkohdetta. Virtuaalisen tukiaseman korjaussignaalia lähetetään internetyhteyden välityksellä mittalaitteelle ja näin päästään senttimetrin tarkkuuteen. VRS-palvelu on käytettävissä kaikkialla Suomessa. VRS-palvelu on yhteensopiva myös muiden merkkien koneohjausjärjestelmien kanssa. /12./

4.4 Topcon

Topcon Corporation on japanilainen nykyisin maailmanlaajuinen mittaus- ja paikannuslaitteiden valmistaja. Topconin virallinen maahantuojaja Suomessa on Topgeo oy. Maahantuonnin ja myynnin lisäksi Topgeo huoltaa mittalaitteita ja tarjoaa käyttötukea järjestelmille. Koneohjausjärjestelmiä on saatavan kaikkiin käyttösovelluksiin satelliiti-, takymetri- ja lasermittaukseen perustuvalla paikannuksella. Topgeo on kehittänyt Spidernet verkon, jonka välityksellä voidaan lähettää laskennallista korjaussignaalia RTK-GPS-mittauksen tarpeisiin. Spider-net ei toistaiseksi ole koko Suomea kattava. /7./

Perinteinen GPS :

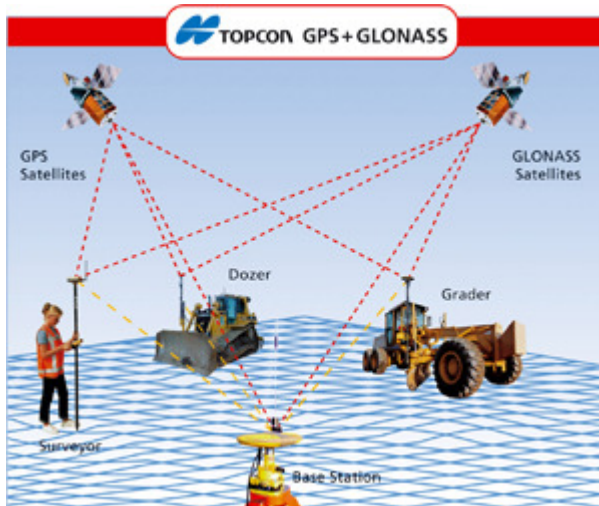
- Käyttää 24 Navstar GPS satelliittia
- Senttimetritaso RTK-mittauksissa
- Ei tarjoa tarvittavaa signaalia RTK-mittaukselle 24h/vrk. /13./



Kuva 15. Topcon Standard GPS /13./

Topcon GPS +:

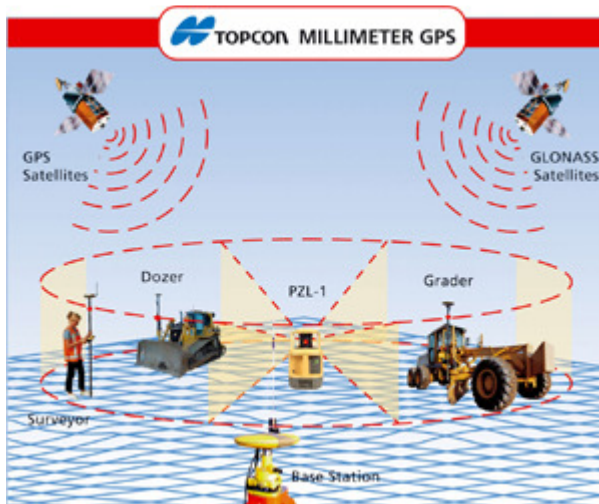
- Käyttää 24 Navstar GPS-satelliittia
- Käyttää lisäksi 13 GLONAS-satelliittia
- Tarjoaa tarvittavan määrän satelliitteja RTK-mittaukselle ympäri vuorokauden
- Tukee eurooppalaista GALILEO-satelliittijärjestelmää /13./



Kuva 16. Topcon GPS + GLONASS /13./

Topcon Millimeter GPS:

- Käyttää 24 Navstar GPS-satelliittia
- Käyttää lisäksi 13 GLONASS-satelliittia
- Millimetritason tarkkuus RTK-mittauksissa
- Yhdistää GPS- ja Laser-järjestelmän /13./



Kuva 17. Topcon Millimeter GPS /13./

Perinteisen RTK GPS-mittauksen korkotarkkuus on ollut tähän asti este suurta tarkkuutta vaativille koneohjaussovelluksille. Topcon Millimeter GPS-järjestelmässä on yhdistetty GPS- ja laserjärjestelmä.

Käyttämällä Topconin PZS-MC-vastaanotinta puskukoneessa tai tiehöylässä saavutetaan millimetritason tarkkuus, kun normaalisti GPS-mittauksen tarkkuus korkeudessa on 10 – 30 mm

Työmaalle pystytetty laserlaite lähettää 'wide beam'-lasersädettä, joka muodostaa 10 metriä korkean ja 600 metriä halkaisijaltaan olevan työskentelyalueen. Mikä tahansa työskentelyalueella oleva PZS-vastaanottimella varustettu GPS-laite pystyy laskemaan korkeustasonsa millimetrin tarkasti. Yksi vastaanotin voi tunnistaa yhtä aikaa 4 eri lähetintä, joten mittausalueen pituus voi olla 2,4 km kerrallaan. /13./

Topconin Millimeter GPS-järjestelmä on edistyksellinen, koska aikaisemmin korkeuden määrittämisessä on päästy millimetritarkkuuteen ainoastaan takymetrimittaukseen perustuvilla järjestelmillä. Millimeter GPS sallii koneen suuremman työskentelyalueen takymetriseurantaan verrattuna. Laserlähettimien pystytys ja toimintakuntoon saattaminen on takymetriä yksinkertaisempi toimenpide. Edelleenkin työalue on kuitenkin rajallinen ja laserlähettimet on asetettava täsmälleen oikeaan korkoon mittauksen onnistumiseksi. Useamman laserlähettimen samanaikainen käyttö vaatii tarkkuutta ja jatkuvaa seuranta lähettimien oikean korkeusaseman suhteen. Lasertekniikan heikkoutena on myös säteen hajoamisesta etäisyyden kasvaessa johtuva virhe. /7./

4.5 Yhteenveto mittalaitteista

Koneohjaukseen tarkoitettuja mittalaitteita on markkinoilla runsaasti. Järjestelmistä voidaan lisäksi muodostaa monenlaisia variaatioita asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Järjestelmien toimintaperiaatteissa ei ole merkkien välillä juurikaan eroja, koska niiden käyttämä paikkatietotekniikka on samankaltaista. Paikannustarkkuuden vertailua on vaikea toteuttaa, koska olosuhteet mittaukselle vaihtelevat päivittäin. Kilpailu merkkien välillä on muodostunut laitteiden käytettävyydestä ja oheispalvelujen kattavuudesta. RTK-GPS-mittauksen tarvitseman työmaalla sijaitsevan tukiaseman korvaamiseksi löytyy monenlaisia virtuaaliseen tukiasemaan perustuvia verkkoja. Kaikilla valmistajilla on oma verkkonsa, mutta ainoastaan Trimble tarjoaa kaikkialla suomessa toimivan tukiasemaverkoston. Tukiasemaverkkojen korjausdata ei ole laitemerkkiin sidottua. Työmaal-

le pystytetty tukiasema sinänsä ei ole huono ratkaisu, mutta se vaatii päivittäisen pystyttämisen ja tarkkailua oikean sijainnin säilymisestä. Pidempikestoisella työmaalla kiinteä tukiasema yleensä sijoitetaan esimerkiksi työmaatilojen katolle tai vastaavaan paikkaan, jossa se säilyy turvassa ilkvallalta eikä päivittäistä pystyttämistä näin tarvitse tehdä. Kiinteän tukiaseman ylläpidosta aiheutuu kuluja mutta toisaalta myös virtuaalisen tukiasemapalvelun käyttö maksaa.

5 KONEEN KULJETTAJIEN TYÖKONEOHJAUKSEN KOULUTUSSUUNNITELMA

5.1 Perustutkinnossa käsiteltävät asiat

Koneohjausjärjestelmällä varustetun työkoneen kuljettajan tulee hallita perustiedot laitteiden toiminnasta ja mittaustekniikasta. Käyttökokemusten perusteella laitteiden käytön normaalitilanteissa sisäistää nopeasti. Mittalaitteiden näytöt ovat havainnollisia ja käyttäjää opastavia. Laitevalmistajia on useita eikä oppilaitos pysty tarjoamaan teknisten yksityiskohtien opastusta kaikista markkinoilla olevista järjestelmistä. Alan koulutuksen tulee tarjota kuljettajalle riittävät tiedot järjestelmän toimintahäiriöiden havaitsemiseksi ja pienten ongelmien ratkaisuun. 3D-ohjauksen mahdollistamia työtapoja tulee esitellä ja pohtia koulutettavien kanssa. Tärkeintä olisi saada suurin hyöty mittaustekniikan mahdollisuuksista itse rakennustyöhön. Mittaustekniikan perusteita tulee käsitellä koneohjausjärjestelmän toiminnan edellyttämällä tasolla. Tärkeimpänä on havainnollistaa, mistä virheet mittauksessa muodostuvat ja kuinka vikatilanteet havaitaan. Myös perustiedot maastomallin ja lähtöaineistojen tuottamisesta on hyvä esitellä yleisellä tasolla. Koulutuksella pyritään tarjoamaan maanrakennuskoneenkuljettajan tarvitsemat perustiedot koneohjauksesta. Laitteiden käytön teknisten yksityiskohtien omaksuminen riippuu pitkälti opiskelijan omasta mielenkiinnosta.

5.2 Koulutuksen sisältö

Seuraavassa teen ehdotuksen koneohjauksen käyttötekniikan koulutukseen. Osallistujilla oletetaan olevan kokemusta työkoneiden käytöstä ja työmaatehtä-

vistä. Liitteissä 1. ja 2. on esitetty opintojaksokuvaus ja arviointiperusteita koulutuksesta. Koneohjausjärjestelmän rakenne on esitetty liitteessä 3.

5.2.1 Koneohjaus

Perehtyminen koneohjausjärjestelmien toimintaan aloitetaan selvittämällä järjestelmien toimintaperiaatteet ja määrittelemällä alan eri sovellukset. Lisäksi 2D- ja 3D-järjestelmien eroavaisuudet käsitellään. Myös opastavien ja automaattisten järjestelmien erot selvitetään. Koulutuksen jälkeen kuljettajan tulee ymmärtää koneessa olevien antureiden ja mittalaitteiden merkitys järjestelmän toiminnalle.

5.2.2 Takymetrimittaus

Jatkuvaan takymetriseurantaan perustuvia järjestelmiä on yleisesti käytössä tiehöylissä ja puskukoneissa. Koneen kuljettajan on syytä ymmärtää takymetrimittauksen periaate riittävällä tasolla mahdollisten virheiden havaitsemiseksi. Käytännön työn kannalta on edullista, jos kuljettaja pystyy siirtämään koneen paikkatietoa mittaavaa takymetriä työn edistymisen mukaan ja orientoimaan sen tunnetulle pisteelle tai suorittamaan orientoinnin liitospisteiden avulla. Koulutukseen tulee sisältyä mittalaitteen pystyttäminen tunnetulle pisteelle ja orientoinnin suorittaminen. Takymetrin osalta on syytä perehtyä myös herkkien mittalaitteiden käytössä ja huollossa huomioitaviin asioihin.

5.2.3 GPS-mittaus

Suurin osa koneiden 3D-koneohjausjärjestelmistä perustuu satelliittimittauksella määritettyyn paikkatietoon. Koneissa ja mittalaitteissa on GPS-vastaanottimia, joita kuljettajan tulee osata käyttää ja huoltaa oikein. Satelliittijärjestelmän toimintaperiaate on tärkeää yleistietoa laitteita käyttävälle konemiehelle. Työn mielekkyys lisääntyy ymmärtämällä paremmin koneessa olevien laitteiden toimintaa. Koulutuksessa tulee käsitellä satelliittipaikannuksen tarkkuuteen ja virheisiin vaikuttavia tekijöitä. Keskeisenä asiana on myös tukiaseman ja koneen karitoitusyksikön toimintaperiaatteet.

5.2.4 3D-maastomalli

Koneohjaussovellusten käyttö perustuu rakennettavasta kohteesta laadittuun maastomalliin. Kuljettajan on hyvä tuntea perusteet maastomallin muodostamisesta. Tuntemalla mallinnuksen periaatteet on myös helpompaa toteuttaa työtä pelkän 3D-mallin pohjalta.

6 KONEOHJAUS KÄYTÖSSÄ TYÖMAALLA

6.1 Koneohjaus vt6 työmaalla

Koneohjausjärjestelmät ovat tehokkaassa käytössä Destian toteuttamalla vt 6 Ahvenlampi – Mansikkala, työmaalla Lappeenrannassa. Hankkeen kaikki työvaiheet pyritään toteuttamaan koneohjausta hyödyntämällä ainoastaan päällystys ja louhintatöissä käytettävissä koneissa ei ole koneohjauslaitteita. Työmaalla on parhaillaan noin 20 koneohjausjärjestelmällä varustettua työkonetta. Satelliitipaikannukseen perustuvia järjestelmiä on tela- ja pyöräalustaisissa kaivinkoneissa, puskukoneissa, pyöräkuormaajissa ja traktorikaivureissa. Tiehöylissä käytetään takymetriseurantaan perustuvia järjestelmiä paremman korkotarkkuuden vuoksi. /14./

Koneohjauksen käytöstä saadaan suurin hyöty, kun kaikki työvaiheet pystytään toteuttamaan koneohjauksen avulla digitaalisen suunnitelma-aineiston pohjalta eikä maastossa tehtävää rakenteiden merkintämittausta näin tarvita. Vt 6 työmaalla myös valmiin rakenteen tarkemittaukset suoritetaan koneohjausjärjestelmien avulla. Käytännössä kuljettaja suorittaa mittauksia rakentamaansa pintaan työn etenemisen mukaan. Koneohjauksen käyttösovelluksia on työmaalla rajattomasti. Osaavan kuljettajan käsittelyssä esimerkiksi kaivinkoneen kauhalla voidaan mitata paikalleen mitä tahansa rakenteita työmaalla. Hyviä kokemuksia on saatu valaisinpylväiden ja meluaitojen betoniperustuksien asentamisesta ainoastaan koneen mittalaitteita käyttäen. Tarkoissa mittauksissa on tärkeää että kuljettaja tiedostaa järjestelmän toiminnan ja pystyy tarvittaessa havaitsemaan mittausvirheet. /14./

6.2 Koneohjauksen käytön edellytykset

Vt 6 työmaalla työskentelevän koneen vakiovarusteena tulee olla GNSS-satelliittivastaanottimella varustettu 3D-koneohjausjärjestelmä (kuva 18.). Urakoitsijat ovat tiedostaneet tilanteen ja mittalaitteilla varustettuja koneita on riittävästi saatavilla. Järjestelmät ovat pääosin urakoitsijoiden omia, mutta myös vuokrattuja laitteita on käytössä. Urakoitsijalle kuuluu koneiden varustelu tarvittavilla järjestelmillä. Tilaajan vastuulla on satelliittimittauksen korjaus signaalia lähettävien tukiasemien rakentaminen ja ylläpito työmaalla sekä tarvittavien pintamallien ja suunnitelma aineistojen toimittaminen urakoitsijan koneisiin. /14./



Kuva 18. Satelliittivastaanotin ja näyttö työkoneessa

6.3 Satelliittipaikannus työmaalla

Vt6 työmaalla käytetään satelliittipaikannukseen perustuvaa maanpäällisellä tukiasemalla korjattua RTK-GPS-mittausta. GPS-paikannuksen vaatimaa korjaus signaalia työkoneen järjestelmälle tuotetaan työmaalle sijoitetulla tukiasemalla. Tukiasemat on rakennettu siirrettäviin kontteihin suojaan ilkeiltä ja sääolosuhteilta (kuva 19.). Tukiasema muodostuu virtalähteestä, satelliittivastaanottimesta ja radiolähtimestä (kuva 20.). Laitteiden tarvitsema sähkö tuotetaan aurinkopaneelin avulla ja varataan akkuun. Aurinkopaneeli on riittävä virtalähde pääosin päivällä valoisana aikana tapahtuvalle työskentelylle. Tukiasemalla tunnetulla pisteellä sijaitsevan satelliittivastaanottimen määrittämää paikantietoa lähetetään radioteitse työkoneen järjestelmälle korjaustiedoksi (kuva 21). Työmaan laajuuden vuoksi tukiasemia pitää olla useita koska, radiosignaalin kantama on rajallinen. Tukiasemat lähettävät korjaussignaalia omilla taajuuksillaan. Koneenkuljettajien täytyy tiedostaa, minkä tukiaseman läheisyydes-

sä työskennellään ja vaihtaa korjaussignaalin vastaanottotaajuutta työkohteen mukaan lähimmän tukiaseman taajuudelle. /14./



Kuva 19. Konttiin sijoitettu tukiasema työmaalla



Kuva 20. Aurinkopaneeli ja satelliittivastaanotin



Kuva 21. Radiolähetin tukiasemalla

6.4 Suunnitelmatietojen käsittely

Tilaajan tehtäviin kuuluu suunnitelma aineistojen muokkaaminen koneohjaukseen soveltuviksi pintamalleiksi ja linja-aineistoiksi. Aineistoja jalostetaan suunnittelutoimiston tuottamasta tähysmuotoisesta aineistosta. Tiedonsiirto työkoneiden ja työnjohdon välillä tapahtuu langattomasti internetyhteyden välityksellä. Työmaalla on käytössä Novatronin ja Scanlaserin laitteita, joista molemmista löytyy tuki langattomalle tiedonsiirrolle.

Mittaustyönjohtajan toimenkuva on muuttunut koneohjauksen myötä. Aikaa käytetään entistä enemmän toimistolla suunnitelma-aineistojen hallintaan, ja laitteiden vikatilanteita pyritään ratkaisemaan etäyhteyden välityksellä. Käytännössä yksi mittaustyönjohtaja pystyy hoitamaan jopa 20 koneen työskentelyä. Perinteistä merkintämittausta käytettäessä tarvittaisiin useita mittaryhmiä. Mittaustyönjohtajan toimenkuvaan kuuluu myös tukiasemaverkoston ylläpito ja seuranta sekä koneohjausjärjestelmien mittaustarkkuuden valvonta. Lähes päivittäin tulee laitteista tai kuljettajan epätietoisuudesta johtuvia ongelmia ja vikatilanteita, jotka edellyttävät työkoneella käymistä. /14./

6.5 Esimerkki koneohjauksen käytöstä

Esimerkkikohteessa asennetaan betonista rumpuputkea koneohjausjärjestelmää soveltaen. Työ on aloitettu aamulla välittömästi, kun mittaustyönjohtaja on lähettänyt suunnitelma-aineistot työkoneelle. Aikaa ei kulu mittausr ryhmän odotteluun tai aikaisemmin merkittyjen korkojen tulkintaan. Kaivutyö pystytään aloittamaan vaikka pimeässä tai lumisissa olosuhteissa, jolloin korkomerkintöjen lukeminen olisi tavallisesti vaikeaa. Myöskään korkomerkintöjen kaatumista työnaikana ei tarvitse varoa eli koneella voidaan työskennellä vapaammin (kuva 22.).



Kuva 22. Kaivutyössä ei tarvita korkomerkkejä maastoon

Rakennettavan rummun kaivutaso ja sijainti osoitetaan kuljettajalle koneohjausjärjestelmän näytöllä reaaliaikaisesti (kuva 23.). Rummulle rakennettava arina näkyy näytöllä kolmioverkkona. Eri kaivutasoja voidaan sammuttaa pois näytöltä tarpeen mukaan ja tuoda näkyville ainoastaan kyseisessä työssä tarvittavat pinnat sekä pisteet. Rummun päiden sijainnista otettavat tarkemittaukset voidaan tehdä kaivinkoneella viemällä kauhan huulen keskipiste rummun päähän ja tallentamalla sijainnin koordinaatit järjestelmään. Tarkemittauksen tulokset voidaan lähettää vaikka välittömästi toimistolle internetyhteyden välityksellä.

/14./



Kuva 23. Näkymä kuljettajalle, rumpukaivannon malli näkyy punaisella

7 YHTEENVETO

7.1 Koneohjaus

Koneohjaus on selkeästi vakiintunut osaksi maanrakennustyötä ja automaatio on arkipäivää useimmilla työmailla. Muissa Pohjoismaissa koneohjausta on käytetty jo pidempään kuin Suomessa. Tulevaisuudessa automaatio ei myöskään tule vähenemään työmailta. Koneohjaus on nimittäin selkeästi esillä ajankohtaisena aiheena maanrakennusalan julkaisuissa ja messuilla. Sen tuomat mahdollisuudet työn tehokkuuteen kiinnostavat urakoitsijoita. Ohjausjärjestelmän hankintaa on voitu tosin lykätä, koska mallinnus- ja paikannusteknologian osaaminen yrityksessä puuttuu. Urakoitsijat ovat kuitenkin lähteneet koneohjausjärjestelmien hankintaan, koska työmailla aletaan vaatia järjestelmiä koneisiin. Suu-

rimpien laitemerkkien edustajilta löytyykin runsaasti informaatiota ja tukea laitteiden käytöstä. Järjestelmän hankkiminen on helppoa ja kaikilla merkeillä pystyy varmasti työskentelemään tehokkaasti. Tulevaisuudessa suunnitelma-aineistojen käsittely koneohjausmalliksi tulee lisäämään suunnittelutoimistojen ja mittamiesten työtä. Mittalaittevalmistajilla on myös tarjolla palveluita aineiston tuottamiseen ja käsittelyyn.

7.2 Koulutus

Koneohjausjärjestelmien hallinta on tänä päivänä osa kuljettajan ammattitaitoa. Yrityksillä ja kuljettajilla on halu kehittää osaamistaan. Oppilaitosten tulee vastata tähän haasteeseen tarjoamalla yritysten toiveita vastaavaa koulutusta koneohjauksen saralla. Automaatiosta on tullut osa normaalia pätevöitymiskoulutusta. Työmailta saadun palautteen perusteella tarpeellisimmaksi koulutukseksi nähdään koneohjauksen perusteita käsittelevä aiheeseen johdatteluva koulutus. Kun perusteet ovat hallussa, motivoituneet henkilöt pystyvät itse omaksumaan laitteiden yksityiskohtaisen käytön ja työmaan käytännöt. Tulevaisuudessa kaikilta työkoneautomaation parissa työskenteleviltä voitaisiin vaatia lyhytkestoisen tiedostavan koulutuksen suorittaminen. Koulutuksesta voitaisiin laatia tulityö- tai tieturvakoulutukseen verrattava koulutuspaketti, jonka suorittamisesta saa 3 vuotta voimassa olevan koneohjaukortin. Käytännön ongelmana on suorituksia kirjaavan ja ylläpitävän tahon määrittäminen sekä koulutuksen sisällön määrittäminen. Aikuiskoulutuskeskusten tarjoamassa koulutuksessa on luonnollisesti suuriakin eroja. Työkoneautomaatio tulee kuitenkin työllistämään alan oppilaitoksia tulevaisuudessa.

KUVAT

- Kuva 1. Näkymä kuljettajalle koneohjausjärjestelmän näytöllä, s.8
- Kuva 2. Antureita koneessa, s.8
- Kuva 3. Kolmiulotteinen koordinaatisto, s.11
- Kuva 4. Takymetrimittauksen periaate, s.12
- Kuva 5. Takymetrin havaintoakselit, s.12
- Kuva 6. Takymetriohjattu tiehöylä työmaalla, s.14
- Kuva 7. RTK-GPS-mittaus, s.15
- Kuva 8. GPS järjestelmän satelliitit sijaitsevat kuudella ratatasolla, s.16
- Kuva 9. GPS signaalin rakenne, s.17
- Kuva 10. Satelliittisignaaliin virheitä aiheuttavia tekijöitä, s.18
- Kuva 11. Side sift pitää terän ulkoreunan halutussa linjassa tai poikkeamassa, s.21
- Kuva 12. Automaattinen mastokulman tasaus terää käännettäessä, s.21
- Kuva 13. Easydig järjestelmän näyttö, s.23
- Kuva 14. Vision 3D-järjestelmän näyttö, s.24
- Kuva 15. Topcon Standard GPS, s.26
- Kuva 16. Topcon GPS + GLONASS, s.27
- Kuva 17. Topcon Millimeter GPS, s.27
- Kuva 18. Satelliittivastaanotin ja näyttö työkoneessa, s.32
- Kuva 19. Konttiin sijoitettu tukiasema työmaalla, s.33
- Kuva 20. Aurinkopaneeli ja satelliittivastaanotin, s.34
- Kuva 21. Radiolähetin tukiasemalla, s.34
- Kuva 22. Kaivutyössä ei tarvita korkomerkkejä maastoon, s.36
- Kuva 23. Näkymä kuljettajalle, rumpukaivannon malli näkyy punaisella, s.37

8 LÄHTEET

1. Heikkilä, R. & Jaakkola, M. 2004 Johdatus tienrakentamisen automaatioon. Tiehallinnon selvityksiä 61/2004. Tiehallinto. Helsinki 2005
2. Tanhuanpää, Veli-Matti, Johtaja Scanlaser Oy. Tampere. Suullinen tiedonanto 2.3.2011
3. Jaakkola, M. 2010. Työkoneautomaatio hyötykäyttöön - haaste työnjohdolle. Tierakennusmestari 4/2010.
4. Koneohjausjärjestelmät. Novatron Oy:n esite
5. Saikko, P.2008. Mittaustekniikan oppimateriaalit
6. Laurila, P. 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Rovaniemi. Rovaniemen ammattikorkeakoulu.
7. Mäki-Tulokas, Jouni, Tuotepäällikkö Topgeo Oy. Vantaa. Suullinen tiedonanto 25.2.2011
8. Martonen, Esa, Osastonjohtaja, JAKK. Tampere. Suullinen tiedonanto 14.1.2011
9. Scanlaser Oy.. Koneohjausjärjestelmät viitattu. 22.02.2011
http://www.scanlaser.fi/fi/tuotteet-ja-sovellukset_1101.htm
10. Ilmonen Mikko, Tuotepäällikkö, Novatron Oy. Tampere. Suullinen tiedonanto 3.3.2011
11. Novatron Oy. Koneohjausjärjestelmät viitattu 22.02.2011
<http://www.novatron.fi/fi/tuotteet.html>
12. Paitsola, Janne, Myynti, Geotrim Oy. Vantaa. Suullinen tiedonanto 25.2.2011
13. Topgeo Oy. Koneohjausjärjestelmät viitattu 22.02.2011
http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&task=view&id=108&Itemid=114
14. Himanen, Pertti, Mittaustyönjohtaja, Destia. Lappeenranta . Suullinen tiedonanto 23.3.2011

Maarakennuskoneiden 3D-ohjaus

Ammattitaitovaatimukset

Opiskelija tai tutkinnon suorittaja osaa

- ◆ suunnitella työnsä ohjeiden ja ohjekirjojen mukaan
- ◆ käyttää maarakennuskoneiden konemittalaitteita (esimerkiksi konevastaanottimet, vaa'at, syvyysmittarit, ajoneuvojen GPS-ohjaus) tavanomaisissa maarakennusalan töissä
- ◆ asentaa laitteet koneisiin
- ◆ tehdä laitteiden kalibrointeja sekä päivittäisiä tarkastuksia ja pienimuotoisia huoltotöitä
- ◆ suullisesti esitellä ja arvioida omaa työtään ja oman työnsä laatua
- ◆ perustiedot koneohjausjärjestelmistä ja koneviestintälaitteista
- ◆ käyttää huolto- ja asennustöiden vaatimia tavallisia työkaluja
- ◆ käyttää henkilökohtaisia suojaimia, ottaa huomioon työturvallisuusnäkökohdat ja ylläpitää työkykyä.

Ammattitaidon osoittamistavat

Opiskelija tai tutkinnon suorittaja osoittaa ammattitaitonsa käyttämällä maarakennuskonetta, jossa on jokin konemittalaite, maarakennustyömaalla tai muussa mahdollisimman hyvin maarakennustyömaan oloja vastaavassa paikassa. Työtä tehdään siinä laajuudessa, että ammattitaidon voidaan todeta vastaavan ammattitaitovaatimuksia.

Ammattiosaamisen näytöllä arvioidaan vähintään

- ◆ työprosessin hallinta kokonaan
- ◆ työmenetelmien, -välineiden ja materiaalien hallinta kokonaan
- ◆ elinikäisen oppimisen avaintaidoista terveys, turvallisuus ja toimintakyky sekä oppiminen ja ongelmanratkaisu.

Siltä osin kuin tutkinnon osassa vaadittavaa ammattitaitoa ei voida ammattiosaamisen näytössä tai tutkintotilaisuudessa osoittaa, sitä täydennetään muulla osaamisen arvioinnilla, kuten haastattelujen, tehtävien ja muiden luotettavien menetelmien avulla.

Arviointi

Taulukkoon on koottu arviointikriteerit kolmelle eri osaamisen tasolle sekä arvioinnin kohteet. Ammatillisessa peruskoulutuksessa arvioinnin kohteet ovat samalla tutkinnon osan keskeinen sisältö.

Liite 2.

ARVIOINNIN KOHDE	ARVIOINTIKRITEERIT		
1. Työprosessin hallinta	Tyydyttävä T1	Hyvä H2	Kiitettävä K3
	Opiskelija tai tutkinnon suorittaja		
Oman työn suunnittelu ja suunnitelmien tekeminen	suunnittelee ohjattuna omaa työtään	suunnittelee annettujen ohjeiden mukaan oman työnsä	tekee toteuttamiskelpoisen työsuunnitelman itsenäisesti
Työn kokonaisuuden hallinta	noudattaa työaikoja ja toimii ohjattuna työohjeiden mukaisesti	noudattaa työaikoja ja annettuja työohjeita	noudattaa työaikoja ja työohjeita sekä neuvottelee mahdollisista poikkeamista
Taloudellinen ja laadukas toiminta	toimii ohjattuna asetettujen laatutavoitteiden mukaisesti.	toimii asetettujen laatutavoitteiden mukaisesti.	toimii asetettujen laatutavoitteiden mukaisesti ja kehittää omaa toimintaansa laatutavoitteiden saavuttamiseksi.

Liite 2.

ARVIOINNIN KOHDE	ARVIOINTIKRITEERIT		
2. Työmenetelmien, -välineiden ja materiaalin hallinta	Tyydyttävä T1	Hyvä H2	Kiitettävä K3
	Opiskelija tai tutkinnon suorittaja		
Työmenetelmien ja -välineiden hallinta	tekee mittatarkkoja töitä konevastaanottimen avulla	asentaa vastaanottimen työlaitteeseen oikein	käyttää laitteen kaikkia toimintoja ja ominaisuuksia
	mittaa kuorman koon tai varastoon siirretyn määrän	mittaa halutun määrän kuormaan ja tulostaa kuitin	käyttää monipuolisesti laitteen muistia ja eri toimintoja
	mittaa yksittäisen korkeusmitan ja valitsee laitteen muistista käytettävän kauhan tiedot.	käyttää laitteen kaikkia perustoimintoja ja arvioi silmämääräisesti laitteen toiminnan.	kalibroii uudelleen koneeseen liitetyn laitteen kulumisesta tai korjaamisesta johtuen.

ARVIOINNIN KOHDE	ARVIOINTIKRITEERIT		
3. Työn perustana olevan tiedon hallinta	Tyydyttävä T1	Hyvä H2	Kiitettävä K3
	Opiskelija tai tutkinnon suorittaja		
	tietää perusteet konemittalaitteesta, koneviestinlaitteesta ja koneohjausjärjestelmästä.	tietää perusteet laitteiden rekistereiden ja muistien käytöstä.	tietää perusteet laitteiden kalibroinnista sekä toimintahäiriöiden syistä.

Liite 2.

ARVIONNIN KOHDE	ARVIOINTIKRITEERIT		
4. Elinikäisen oppimisen avaintaidot	Tyydyttävä T1	Hyvä H2	Kiitettävä K3
	Opiskelija tai tutkinnon suorittaja		
Terveys, - turvallisuus ja toimintakyky	asennoituu myönteisesti turvalliseen toimintaan sekä välttää riskejä työssään	vastaa toimintansa turvallisuudesta	kehittää toimintaansa turvallisemmaksi
	noudattaa työstä annettuja turvallisuusohjeita eikä aiheuta vaaraa itselleen	noudattaa työyhteisön ohjeita ja ottaa huomioon työssään työyhteisön muut jäsenet	havaitsee ja tunnistaa työhönsä liittyvät vaarat ja ilmoittaa niistä
	käyttää turvallisesti ohjeiden mukaisia suojaimia, työvälineitä ja työmenetelmiä	varmistaa työvälineiden ja materiaalien turvallisuuden sekä poistaa ja vie huoltoon vialliset työvälineet	arvioi suojainten, työvälineiden ja työmenetelmien soveltuvuutta kyseiseen työhön
Oppiminen ja ongelmanratkaisu	laskee työ- ja materiaalimenekit ohjattuna	laskee työ- ja materiaalimenekit mutta toteutumassa on vielä poikkeamia	toteuttaa työn laskettujen menekkien mukaisesti
	arvioi ohjattuna omaa työtään.	arvioi omaa työtään.	arvioi omaa työtään laatuvaatimusten mukaisesti.

Liite 3.

1. Näyttö
2. Paikanninyksikkö
3. Keskusyksikkö
4. Paikanninantenni
5. GNSS-satelliitti
6. Radiolinkki
7. Tukiasema
8. Kallistusanturi

