

# KEMI-TORNION AMMATTIKORKEAKOULU

## GPS- koneenohjausjärjestelmän ja proportionaalisen lisälaitteen toimintojen hallinta ja säätö kaivukoneessa

Jarmo Kuure

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelman opinnäytetyö  
Konetekniikka  
Insinööri AMK

KEMI 2011

## ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelmassa. Opinnäytetyön toimeksiantaja on Oulun Aikuiskoulutuskeskus. Työn ohjaajana on Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun puolesta DI Lauri Kantola ja toimeksiantajan edustajana on tiimivastaava Mikko Kemppainen.

Tehtävässä ovat avustaneet asiantuntijoina myös seuraavat henkilöt: Kemin Vesi oy:stä maanmittausinsinööri Petri Mäki ja verkostopäällikkö Jyrki Happonen. Novatron Oy:stä piiripäällikkö Ari Niippa ja tekninen asiantuntija Teemu Virtanen, Indexator Finland oy:stä piiripäällikkö Tomi Honkanen, sekä Mitta oy:stä varatoimitusjohtaja Mikko Ilmonen.

Haluan kiittää em. henkilöitä saamastani tärkeästä avusta opinnäytetyön aikana. Erityiskiitokset myös vaimolleni Maritalle kannustuksesta ja avusta opiskeluun ja opinnäytetyön tekemiseen.

## TIIVISTELMÄ

Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, Koulutusohjelma Opinnäytetyön tekijä Opinnäytetyön nimi	Tekniikan yksikkö Konetekniikka Jarmo Kuure GPS- koneenohjausjärjestelmän ja proportionaalisen lisälaitteen toimintojen hallinta ja säätö kaivukoneessa Opinnäytetyö 21.10.2011 46 Di Lauri Kantola Oulun Aikuiskoulutuskeskus Mikko Kemppainen, tiimivastaava
Työn laji Päiväys Sivumäärä Opinnäytetyön ohjaaja Yritys Yrityksen yhteyshenkilö/valvoja	

Tämän opinnäytetyön lähtökohtana oli luoda selkeä ja oppilaitoksen erityispiirteitä palveleva opetusmateriaali kaivukoneen 3D-paikannuslaitteen käytön opetukseen Oulun Aikuiskoulutuskeskuksen Infra-tiimille.

Työn muita tavoitteita oli perehtyä GPS-tekniikan ja maanmittausteknisten laitteiden perusteisiin konetyössä sekä reaaliaikaisen kuljettajaa opastavan koneenohjausjärjestelmän asennukseen ja toimintaan. Tavoitteena oli myös Indexator-lisälaitteen proportionaalisen hydrauliiikan ja parametrien säätöjen hallinta koneen ohjattavuuden kannalta sekä RTK-paikannuksen tarkkuuden määrittely tukiasemaa ja korjaussignaalia käytettäessä.

Projektissa vähemmälle tarkastelulle jäivät maanmittauksen, geodesian ja koordinaatistomuunnoksien kuvaaminen. Myös GPS-tekniikan esittämistä rajattiin sen laajuuden vuoksi. Näitä asioita käsiteltiin vain koneenohjauksen toiminnan ymmärtämiseksi. Kaivukoneen hydrauliiikan perustoimintoihin ei perehdytty vaan keskityttiin työkoneen lisähydrauliikkaan ja lisälaitteen proportionaalihydrauliikkaan, niiden toimintaan, asennukseen ja säätöihin liittyen. Työn ajankäyttö suunniteltiin siten, että projekti valmistui marraskuun 2011 loppuun mennessä.

Työn tuloksena valmistettiin 3D-työkoneen ohjauksen opetusmateriaali Oulun Aikuiskoulutuskeskuksen käyttöön ja myös konetekniikan opetusmateriaalia laajennettiin proportionaalihydrauliikan osalta. Kaivukoneen lisähydrauliikan ja Indexatorin hallittavuus paranivat laitteiden säätöjen yhteydessä. Novatron-koneenohjauslaitteen tarkkuus osoittautui testituloksien mukaan juuri valmistajan kertoman mukaiseksi.

Asiasanat: 3D-koneenohjaus, kaivukone, koordinaattijärjestelmät, proportionaalihydrauliikka, satelliittipaikannus.

## ABSTRACT

Kemi-Tornio University of Applied Sciences, Technology	
Degree Programme	Mechanical and Production Engineering
Name	Jarmo Kuure
Title	Function Management and Adjustment of the GPS Machine Control System and Proportional Accessory of an Excavator
Type of Study	Bachelor's Thesis
Date	21 September 2011
Pages	46
Instructor	Lauri Kantola, MSc, Mech Eng.
Company	Oulun Aikuiskoulutuskeskus Oy
Supervisor from Company	Mikko Kemppainen, Team Leader

The basis of this thesis was to create clear and specific teaching material that also supports the special features of the school for teaching the usage of a 3D positioning device of an excavator for the Infrastructure team at Oulun Aikuiskoulutuskeskus.

Other objectives of this thesis is familiarization with the basics of GPS technology and technical land surveying equipment at work, and the installation and functioning of the machine control system that guides the driver in real-time. Another objective is the control of the parameters and proportional hydraulics of the Indexator enhancement in terms of maneuverability, and defining the accuracy of RTK positioning when using the base station and the repair signal.

The descriptions of surveying, geodesy, and variations of coordinates are limited in the project. Because of its large extent, the presentation of GPS technology is also limited. These issues are discussed only to understand how to control the operation of the machine. The basic functions of the hydraulics of an excavator are not provided. The focus area is the machine's extra hydraulics and the proportional hydraulics of its accessories and their operation, installation and adjustments. The time management of the project is planned so that the project will be completed by the end of November 2011.

As a result of this project, teaching material of 3D machine control was created for Oulun Aikuiskoulutuskeskus Oy, and the mechanical engineering educational material expanded concerning proportional hydraulics. The manageability of the additional hydraulics of the excavator and the Indexator equipment improved in connection with adjustments. The test results showed the accuracy of the Novatron to be exactly according to the manufacturer's statement.

Keywords: 3-D machine control, excavator, coordinate systems, proportional hydraulic, satellite positioning.

## SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT .....	I
TIIVISTELMÄ .....	II
ABSTRACT .....	III
SISÄLLYSLUETTELO .....	IV
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET .....	V
1. JOHDANTO .....	1
2. PROPORTIONAALITEKNIIKAN PERUSTEET .....	3
2.1. Toimilaitteiden ohjaustapoja .....	3
2.2. Proportionaalinen ohjaus .....	4
2.3. Proportionaaliventtiilin rakenne .....	7
2.4. Hydrauliiikkapumppu .....	8
2.5. Säädön ongelmat .....	9
2.6. Omat kokemukset .....	10
3. PAIKANNUSTEKNOLOGIA MAANMITTAUKSESSA .....	11
3.1. Geodesia, koordinaatistot ja korkeusjärjestelmät .....	11
3.1.1. Geodesia .....	11
3.1.2. Koordinaatistot .....	12
3.1.3. Korkeusjärjestelmät .....	13
3.2. Satelliittipaikannuksen perusteet .....	14
3.2.1. PRN-koodi .....	14
3.2.2. GPS, GLONASS ja GALILEO .....	15
3.2.3. Segmentit .....	16
3.2.4. GPS-virhelähteet .....	17
3.3. GPS-paikannuksen tarkkuus maanmittauksessa .....	19
3.3.1. RTK-mittaus .....	19
3.3.2. VRS-järjestelmä .....	20
3.3.3. Takymetri .....	21
3.3.4. PDOP .....	22
4. 3D-KONEENOHJAUSJÄRJESTELMÄ .....	23
4.1. Periaatekuvaus .....	23
4.2. Komponentit .....	24
4.3. Asennus .....	26
4.4. Aineisto ja toteutumatieto .....	27
4.5. 3D-maastomalli .....	27
5. KAIVUKONEEN PROPORTIONAALINEN LISÄLAITE .....	28
5.1. Lisälaitteen tekniset tiedot .....	28
5.2. Indexator Proplus RT 40B tekninen erittely .....	28
5.3. Asennus ja laitteen komponentit .....	29
5.4. Hydrauliiikkakaavio .....	30
5.5. Säädot ja parametrit .....	30
6. 3D-PAIKANNUSLAITTEEN TARKKUUS .....	33
6.1. Z-koordinaatin mittaustiedon tarkkuus ja toistovarmuus .....	33
6.2. Teknisen tuen rooli 3d-laitteen toimivuudessa .....	35
7. YHTEENVETO .....	36
8. LÄHDELUETTELO .....	38

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

3D-mallinnus	Tietokoneen avulla tehty kolmiulotteinen malli maastosta
GLONASS	Venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä
GPS	Amerikkalainen satelliittipaikannusjärjestelmä
PDOP	Paikannustarkkuuden epävarmuusluku
PRN-koodi	Satelliitin lähettämä tunnistekoodi
PWM	Pulssinleveysmodulaatio
RTK-mittaus	Reaaliaikainen kinemaattinen mittaus tukiaseman avulla.
VRS-järjestelmä	Virtuaalinen tukiasemaverkosto GSM-verkossa

## 1. JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on GPS-koneenohjausjärjestelmän ja proportionaalisen lisälaitteen toimintojen hallinta ja säätö kaivukoneessa. Aihe on monialainen ja osa projektia, jossa suunnitellaan opetusmateriaalia Oulun Aikuiskoulutuskeskuksen Infratiimille.

Lähtötilanteessa tarpeena oli tehdä opetusmateriaali maanrakennuskoneen kuljettajille Novatron-koneenohjausjärjestelmän opiskelua ja käyttöä varten, sekä raskaan kaluston mekaniikoille sähköhydrauliikan ja proportionaalihydrauliikan opetustarkoitukseen.

Hydrauliikan, sähkötekniikan ja elektroniikan sovellukset ovat kehittyneet työkoneissa 2000-luvulta lähtien erittäin paljon. Mukaan on tullut myös väylätekniikkaa lähes jokaisessa uudessa koneessa ja lisälaitteessa. Tekniikkaan on perehdyttävä erittäin perusteellisesti koulutettaessa mekaniikkoja uusia työtehtäviä ja haasteita varten. Perinteinen mekaanisten laitteiden korjaus- ja hitsaustaito täytyy pitää hallinnassa, mutta uutena alueena on tullut tietokoneella tehtävät ohjelmoinnit keskusyksiköihin, sekä hydraulisten ja muiden toimilaitteiden hallinnan muutoskyky parametriojelmoinneilla.

Opinnäytetyössä perehdytään maanrakennustöissä tarvittavaan 3D-mallinnukseen ja sen käyttöön kuljettajaa opastavassa koneenohjauksessa, GPS-paikannuksen teoriaan ja tarkkuuteen, sekä 2010 vuosimallin Hitachi 135 -kaivukoneen lisähydrauliikan muutoskykentään ja koneeseen asennetun proportionaalihydrauliikalla varustettuun kauhan kallistus- ja pyörityslaitteen toimintaan.

Opinnäytetyön aikana asennetaan Indexator Pro plus -järjestelmä opiskelijatyönä uuteen Hitachi-kaivukoneeseen. Omana käytännön työnä on asennustöiden johtaminen ja laitteen toiminnan testaaminen, sekä laitteiden säätäminen käyttäjille sopivaksi. Säätötapahtumiin sisältyvät proportionaalihydrauliikan ramppiajat, esiohjausventtiilien toiminta-ajat, paineiden ja virtausten säädöt ym. mahdolliset parametrimuutokset, jotka parantavat laitteen käytettävyyttä.

Työn aikana seurataan Novatron-koneenohjauslaitteiden asennusta. Asennustyö tehdään laitevalmistajan toimesta ja projektissa selvitetään oikeiden asennusparametrien syöttäminen järjestelmään. Kaivukoneen puomissa suojataan mahdollisille vaurioille alttiit kohteet, esimerkiksi mitta-anturit ja kaapelit. Lisäksi työssä määritetään käytettävät laitteet ohjeet, ohjelmistot ja lisätietojen saatavuus.

Paikannuslaitteen mitta-antureiden ja GPS-antennien paikkatietojen syöttämiseen ja tarkkuuteen perehdytään paikannuslaitteen asennuksen näkökulmasta. Myös erilaiset kauhat on kalibroitava Novatron-ohjausjärjestelmään. Projektissa tutkitaan myös laitteiden käytettävyyttä, suoritetaan parametrien muutoksia hydraulikan sovelluksissa ja tarkistetaan koneenohjausjärjestelmän toiminnan tarkkuus toistuvilla kokeilla.



## 2. PROPORTIONAALITEKNIIKAN PERUSTEET

Proportionaalitekniikan tarkoitus sähköhydrauliikassa on aikaansaada toimilaitteille ja venttiileille parempi säädettävyys verrattuna on / off venttiileillä tapahtuvaan toimintaan. Proportionaalitekniikan avulla voidaan pienentää iskumaisia kytkentöjä ja painepiikkejä, jotka aiheuttavat häiriöliikkeitä, laitteiden kulumista ja liittimien öljyvuotoja. Venttiilien proportionaalimagneeteille lähetettävä ohjaussignaali on suhteessa ohjausyksikölle tulevaan signaaliin, jota ohjataan työkonetekniikassa yleensä manuaalisesti kuljettajan toimesta.

Maansiirtokoneiden hydrauliikassa käytetään pääsääntöisesti avoimen säätöpiirin ohjauskomponentteja, joille on ominaista se, että takaisinkytkentää ja automaattista korjausta ei tapahdu. Toisin sanoen venttiilien karojen liikettä ei kontrolloida anturitekniikalla ja virheliikkeitä ei korjata automaattisesti. / 2, s.6/

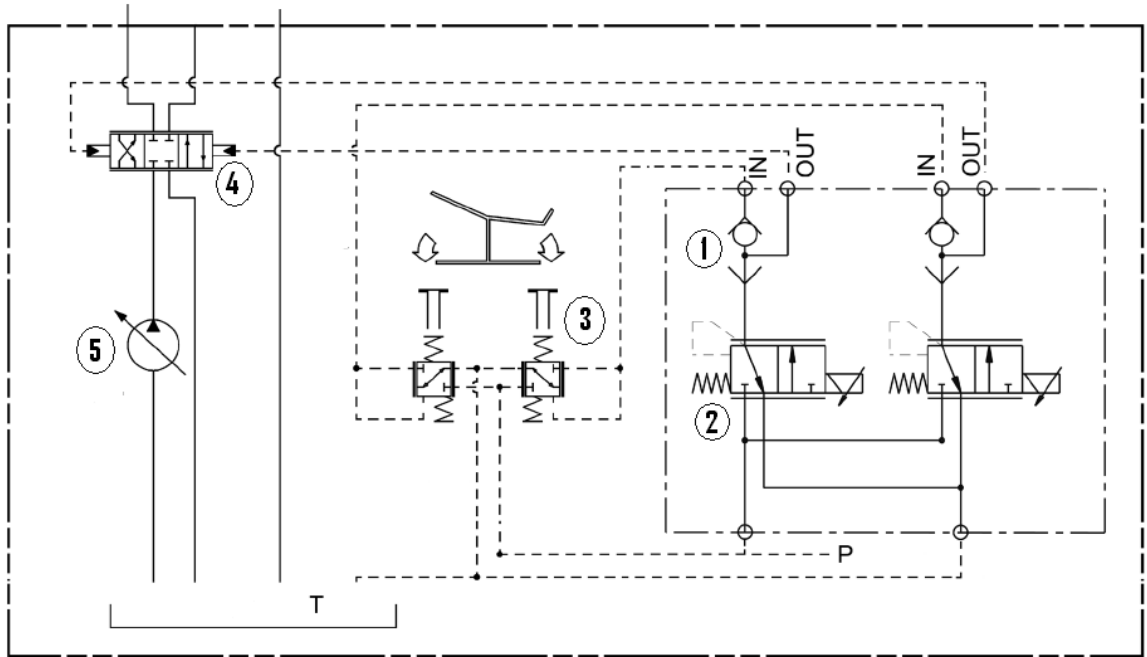
Tekniikka mahdollistaa myös koneiden työliikkeiden automatisoinnin. Tässä työssä käsitellään manuaalisesti ohjattua hydraulista kaivukonetta, johon on kytketty proportionaalitekniikkaa hyödyntävä lisälaite, sekä GPS- järjestelmä, joka opastaa kuljettajaa maanrakennustyössä.

### 2.1. Toimilaitteiden ohjaustapoja

Liikkuvan kaluston yhteydessä käytetään lisääntyvässä määrin elektroniikan avulla tapahtuvaa hydraulisten toimilaitteiden ohjausta. Proportionaalitekniikka antaa toiminnoille paremman säädettävyuden ja käyttömukavuuden verrattuna on / off - venttiileillä tapahtuvaan liikkeiden hallintaan.

Nykyaikaisessa kaivukoneessa on käytössä hydraulisesti esiohjatut suuntaventtiilit. Esiohjauksella säädetään suurta tilavuusvirtaa pienikokoisilla esiohjausventtiileillä. Suuntaventtiilejä voidaan ohjata lisäksi elektronisesti, kytkemällä proportionaalinen ohjausventtiili alkuperäisen rinnalle vaihtovastaventtiilin avulla.

Kuvassa 1 on esitetty Indexator Proplus -laitteen kaksi proportionaaliventtiiliä (2) kytkettynä ohjaamaan kaivukoneen lisähydrauliikan karaa (4). Vaihtovastaventtiilit (1) on sijoitettu peruslevyyn, johon kiinnitetään proportionaalimagneetti.



**Kuva 1. Karan proportionaalinen ohjaus rinnankytkettynä poljinohjaukseen./13/**

P = Esiohjauspaine n. 30 bar kaivukoneen hydrauliikasta

T = kaivukoneen hydrauliikkasäiliö

1. Vaihtovastaventtiili
2. Proportionaaliventtiili
3. Poljinventtiili
4. Kaivukoneen lisähydrauliikan kara
5. Kaivukoneen säätävä hydrauliikkapumppu

## 2.2. Proportionaalinen ohjaus

Yleensä proportionaalitekniikassa on käytössä analogiohjaus. Ohjausvivulle tai -rullalle syötetään jännite, jota käyttäjä muuttaa vipua liikuttaessaan. Signaali ohjataan takaisin vivun tai rullan potentiometriltä ohjauselektronikalle, joka sisältää rampigeneraattorin. Rampigeneraattori mahdollistaa jännitteen tasaisen muuttamisen ajan suhteen. Rampin

nousua ja laskua säädetään muutettavien parametrien tai yksinkertaisemmassa laitteessa säätöpotentiometrin avulla. Rampin nousu- ja laskuajat riippuvat sen jyrkkyydestä sekä alkuarvon ja loppuarvon erosta. Venttiilien ohjauksessa ramppi vastaa toimilaitteen kiihdytystä tai hidastusta./2,s.54/

Suuntaventtiilien karojen liikkeitä hallitaan säätämällä venttiilin karakupille menevää esiohjauspainetta proportionaalitekniikalla. Rampin nousu vaikuttaa esiohjauspaineen muutosnopeuteen. Eri sovelluksissa on myös mahdollista kytkeä proportionaaliventtiili ohjaamaan öljyn virtausmäärää.

Tässä työssä kyseessä olevassa kaivukoneen kauhan pyöritys ja kallistuslaitteessa ohjausparametrit ovat erikseen säädettäviä kaikille toiminnoille, joita ovat: kallistus, pyöritys, tartuntapihti, sekä peruskoneen karan ohjaus. Lisäksi peruskoneen lisähydrauliikan karan ohjaussignaalia voidaan vahvistaa käytettäessä useampaa liikettä yhtä aikaa, jolloin tarvitaan enemmän öljyvirtausta toimilaitteelle. Kuljettaja ohjaa lisälaitetta kaivuvipujen päissä olevista rullatyypisistä potentiometereistä. Keskusyksikkö saa signaalin rullilta ja signaalin vastetta (tarkoitusta) muutetaan parametrien avulla tarkoitukseen sopivaksi.

Proportionaalivahvistimen säätöosassa tapahtuu jännitteen ohje- ja oloarvojen vertailu ja korjaus, kun kyseessä on takaisinkytkennällä varustettu venttiili. Vahvistimesta saadaan ulos kontrolloitu jännite, joka lähetetään proportionaaliventtiilin magneetikelaan. /2,s.42/

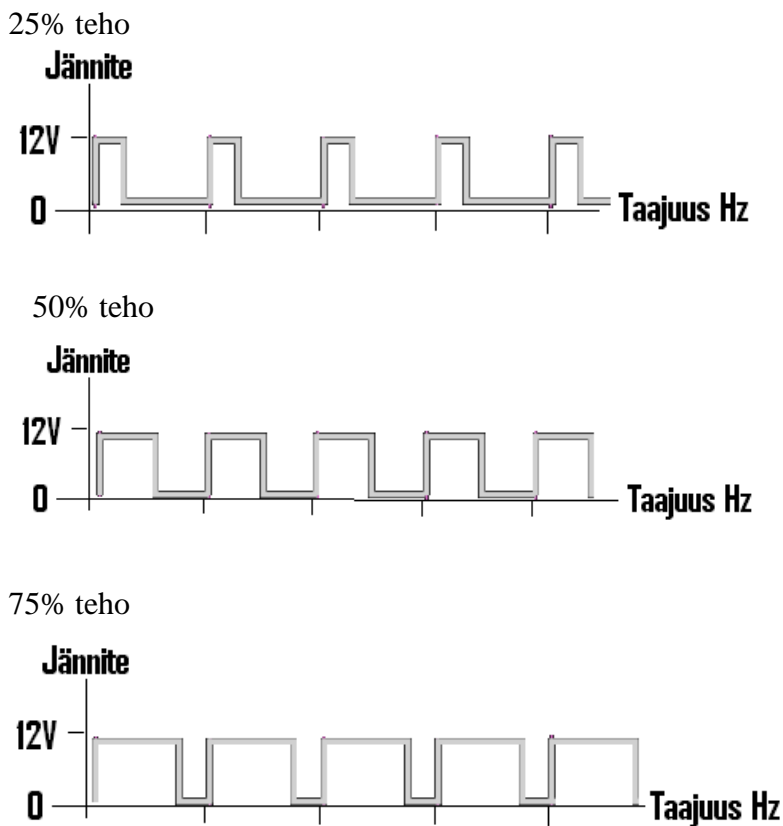
Takaisinkytkennällä varustettuja venttiilejä ei yleensä käytetä kaivukonehydrauliikassa, vaan liikkeet ohjataan manuaalisesti kaivuvivuista ja kuljettaja korjaa itse syntyneet virheliikkeet.

Vahvistimen ja sähkömagneetin tehohäviöiden minimoimiseksi muutetaan ulos tuleva jännite moduloimalla pulssin leveyttä (PWM). Magneetin jännitteen syöttö ja signaalin teho määräytyvät PWM-pulssinleveyden mukaan. Esim. 12V jännite -30 % moduloinnilla antaa 70 % tehon, joka tarkoittaa pienempää venttiilin karan avautumista ja pienempää toimilaitteen liikenopeutta. Ulos tuleva jännite on kuitenkin sama, kuin syöttöjännite, joten

tarkka jännitteen tai virran mittaus voidaan tehdä vain oskilloskoopilla, tai ohjauselektroniikkaan kytketyllä huoltolaitteella. /2,s. 42 - 43/

PWM-pulssin taajuutta voidaan myös muuttaa joissakin erikoislaitteissa. Taajuusalue voi olla 100Hz – 5000Hz, tyypillisesti se on lähellä 500Hz. Suurempi taajuus antaa vahvistimelta ulos tasaisemman virransyötön. Tavanomaisessa työkonehydrauliikassa taajuuden muutosta ei tarvita, vaan toiminto on käytössä suurempaa tarkkuutta vaativissa olosuhteissa ja takaisinkytkennällä varustetuissa laitteissa, joissa automatiikka säätelee taajuuden muutosta. /7/

Kuvassa 2 on esitetty pulssinleveysmodulaatio taajuus / jännite -koordinaatistossa. Ohjausventtiiliin syötetään tasajännite määrättyllä taajuudella. Jännitettä katkotaan on / off -tyyppisesti, jolloin venttiilin magneetille lähetetty sähköteho muuttuu. Tässä tapauksessa taajuutta ei muuteta.

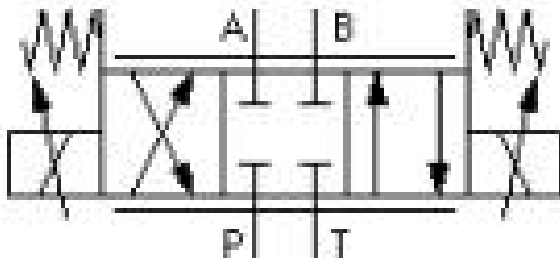


**Kuva 2. PWM-modulointi (Pulse width modulation) /10/**

### 2.3. Proportionaaliventtiilin rakenne

Proportionaalisen suuntaventtiilin magneetti poikkeaa on / off –venttiilin magneetista siten, että magneetin voima on lineaarisesti riippuva ohjausvirrasta. PWM-signaalin tuottama virta muutetaan magneetin voimaksi, joka työntää venttiilin karaa jousivoimaa vastaan ja aiheuttaa jousen jännityksen. Voima on verrannollinen ohjausvirran suuruuteen. Ohjausventtiilin kara avaa virtausaukon, jonka avautuminen on portaattomasti säädettävä. /2, 16 - 17/

Kuvan 3 venttiilin piirrosmerkissä proportionaalisuutta kuvaa ylä- ja alasivulla oleva kaksoisviiva ja magneetin voiman säädettävyys esitetään vinonuolella. Kaksi jousta molemmin puolin keskittävät venttiilin karan. Ristikkäiset ja vastakkaiset nuolet neliöiden sisällä kuvaavat öljyvirran suuntaa. Neliöiden lukumäärä kertoo erilaisten toimintojen (on / off karan asentojen) määrän. Keskiaseentoon on merkitty öljyn virtaustiet kirjaimilla. A ja B ovat toimilaitteen lähtöportteja. P on painekanava ja T säiliöliitännä.

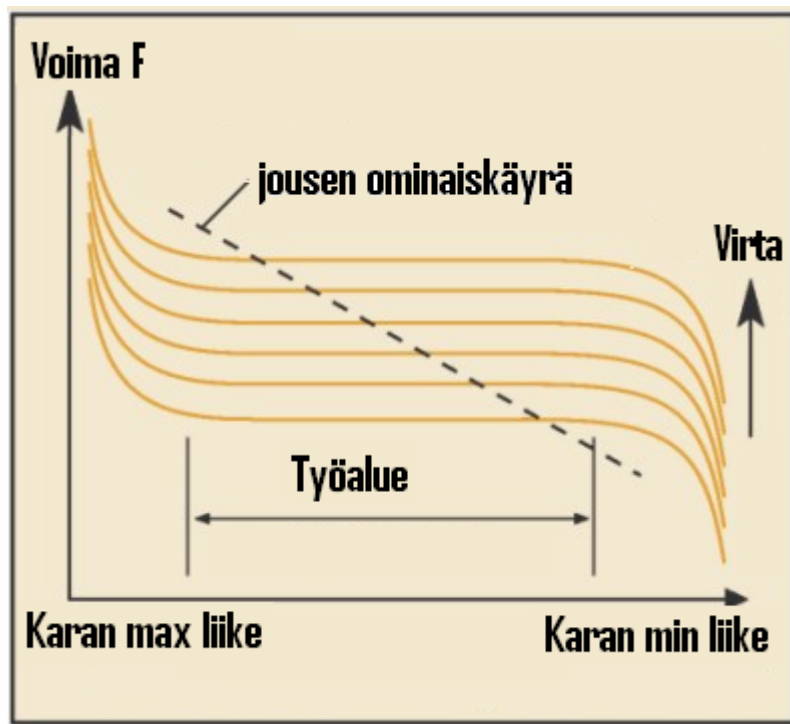


**Kuva 3. Proportionaalinen 4/3-suuntaventtiili, jousikeskitys /4/**

Proportionaaliventtiilin ominaiskäyrä kuvaa ohjaussignaalista riippuvaa painetta tai virtausta. Ihannetapaus olisi tietysti lineaarinen ominaiskäyrä, mutta todellisuudessa se ei ole koskaan sellainen. Ominaiskäyrän alun käyristymisestä johtuen saadaan parempi ohjattavuus pienemmillä ohjearvoilla. / 2,s.10,16/

On / off -venttiilin rakenteellisilla ratkaisuilla voidaan määrätä karan jousen ja magneettikentän voiman tasapaino. Kelan virran määrä ja siitä johtuva magneettikentän voimakkuus määräävät venttiilin avautumisen. /2,s.16/

Kuvassa 4 on esitetty venttiilin karan liike suhteessa tarvittavaan voimaan, joka on suurimmaksi osaksi jousen vastavoima. Lepokitkasta johtuen virtaa tarvitaan karan liikkeelle lähtöön suhteessa enemmän kuin karan normaalilla työalueella, jossa virran ja vastavoiman suhde karan liikematkkaan ja jousivoimaan on lineaarinen. Kuvassa ei esitetä hydraulikan tilavuusvirtaa, vaan venttiilin karan liikematkkaa. Tilavuusvirta määräytyy karan liikematkan lisäksi karan muodosta, vastapaineesta, säädetyistä tulovirtauksesta ja useasta muusta seikasta. Karan maksimiliikkeellä palautinjousi on puristunut kokoon ja jousilangat ovat lähes kiinni toisissaan. Voiman lisäys ei anna enää lisää liikematkkaa karalle.



**Kuva 4. Voima / Jousen ominaiskäyrä / Virta / Työalue / Karan liike /3/**

## 2.4. Hydraulikkapumppu

Myös säätötilavuuspumppujen tuottoa ja tehoa voidaan ohjata proportionaalisesti. Pumpun säätimeen kytketään proportionaaliventtiili, jota ohjataan elektroniikan avulla. Tällöin esim. tehonsäädön eri pisteet ovat ohjelmoitavissa, kuten myös tilavuusvirta halutulle toimilaitteelle. /2, s.59 /

Käytännössä hydraulikkapumpussa oleva proportionaalinen ohjausventtiili säättää painetta pumpun tilavuusvirtaa ohjaavan karan taakse jousivoimaa, tai hydraulista voimaa vastaan. Tehonsäädöstä puhuttaessa tarkoitetaan yleensä tilavuusvirran säätöä, vaikka hydraulikan tehoon vaikuttaa olennaisesti painetaso.

## 2.5. Säädön ongelmat

Suuntaventtiilien läpivirtaus riippuu paine-erosta kuristuksen poikkipinnan yli. Paineen muutokset ja vaihtelut sylinterien kuormituksesta johtuen aiheuttavat virtaushäiriöitä. Pieniä virtauksia ja paineita voidaan ohjata ilman takaisinkytkentää. Venttiilien toimintaan sisältyvät ilmiöt ja ominaisuudet, kuten hystereesi, karan paluuherkkyys, toistotarkkuus, kitkavoimat, venttiilin välykset ja karan takertelu lämpötilan muutoksista johtuen, sekä öljyn epäpuhtaus aiheuttavat ongelmia ohjauksien toimivuuteen ja säätöarvojen hallintaan. /2,s.14/

Painekompensaattorin avulla on mahdollista pitää paine-ero karan paine- ja lähtöportin yli vakiona. Tilavuusvirta ei tällöin muutu, vaikka syöttöpaineessa tai kuormanpaineessa tapahtuisi muutoksia. Toimilaitteen ohjattavuus paranee, kun tiettyä karan avautumaa vastaa tietty tilavuusvirta. Kompensaattori kuitenkin pienentää karan maksimitilavuusvirtaa ja vaikuttaa haitallisesti mm. kuorman laskuun. /26/

Työkonehydrauliikassa lasketaan usein taakkaa. Silloin toimilaitteen liikesuunta ja voiman (kuorman) vaikutussuunta ovat samat. Ongelmalliseksi tilanteen tekee se, että sama kara säättää toimilaitteelle tulevaa ja sieltä poistuvaa virtausta. Kuormaa laskettaessa käy usein niin, että poistuva öljyvirtaus määrittää liikenopeuden. Silloin paluupuolelta poistuu enemmän öljyä kuin tulopuolelle pääsee tulemaan. Esimerkiksi tässä tilanteessa painekompensaattori on haitallinen, sillä se rajaa tulopuolen paine-eron alhaiseksi ja rajoittaa samalla tilavuusvirtaa. Usein sylinteristä poistuu enemmän öljyä kuin sinne tulee, jolloin syntyy kavitaatiotilanne. /26/

Erilaisilla karatyypeillä on mahdollista hallita kuorman laskua. Sylinteristä toiselta puolelta poistuvaa suurempaa öljyvirtaa voidaan rajoittaa karan muodolla; pienemmillä virtausaukoilla ja karaan koneistetuilla viisteillä, jotta sylinterin männän vastapuolelle ei pääse syntymään tyhjiötä, jolloin sylinteri kavitoi. On myös mahdollista kuristaa öljyn virtausta putkistoon kiinnitettävällä vastusvastaventtiilillä.

## **2.6. Omat kokemukset**

Henkilökohtainen kokemukseni asiasta on se, että suurimmat hydrauliiikan ongelmat työkoneissa johtuvat epäpuhtauksista laitteiden asennusvaiheessa, vähäisestä koekäytöstä ja huollosta ennen toimitusta, sekä lämpötilan vaihteluista. Hydrauliiikkaöljyn viskositeetti ei ole läheskään aina sopiva toiminnan kannalta. Laitteissa on usein käytetty alle 1 mm:n kuristimia, jotka vaativat oikean toimintalämmön hydrauliiikalle.

Koneilla työskennellään yli 90 celsiusasteen lämpötila-alueella. Käynnistys voi tapahtua talvella 30°C:een pakkasella ja kesällä hydrauliiikan lämpö on usein yli 60°C. Hystereesin vaikutuksesta säädetty tilavuusvirta vaihtelee toimilaitteella. Tilavuusvirran vaihtelu johtuu silloin esiohjausventtiilin magneetin ominaisuuksista. Hystereesin sekä lähti- ja lepokitkan vaikutuksen ongelmia voidaan helpottaa asettamalla laitteeseen karojen lepotilassa toimiva rippeliamplitudi, joka saa aikaan magneettikelojen rautasydämen värähtelyn. Venttiilin kara on pienessä jatkuvassa liikkeessä, eikä vaadi suurempaa voimaa, kuten tavallisessa liikkeelle lähdössä.



### **3. PAIKANNUSTEKNOLOGIA MAANMITTAUKSESSA**

Paikannusteknologian käyttö lisääntyy erittäin nopeasti maanmittausalalla. Käytössä ovat tietokoneohjatut GPS-laitteet, joiden tarkkuus täytyy olla moninkertainen autonavigaattoreihin ja suunnistuslaitteisiin verrattuna. Myös erilaisissa maarakennuskoneissa olevat paikannukseen käytetyt tarkat järjestelmät yleistyvät nopeasti.

Maansiirtokoneissa tarvitaan reaaliaikaista tarkkaa ja kuljettajaa ohjaavaa paikannusjärjestelmää. Laitteiden tarkkuuden on oltava cm-luokkaa. Massojen siirtoa ja tilavuuksien tarkkaa määrittelyä voidaan suorittaa ilman maastoon tehtäviä merkintöjä tallentamalla ennalta määrätyt pisteet laserkeilauksella, GPS-paikannuslaitteella, takymetrillä tai 3D-tekniikan avulla.

#### **3.1. Geodesia, koordinaatitot ja korkeusjärjestelmät**

Maanmittauslaitoksen tehtäviin kuuluvat maanmittaustoimitukset, kiinteistötiedot, kartta-aineistot sekä lainhuudot ja kiinnitykset. Laitos vastaa kiinteistö-, kartasto- ja paikkatieto-tehtävien yleisestä kehittämisestä, sekä koordinaatisto- ja korkeusjärjestelmistä Suomessa. /18/

Käytössä on erilaisia koordinaatistoja ja korkeustietokantoja, sekä maapallon muodon laskettuja malleja, joiden tiedot käsitellään matemaattisesti, sovelletaan ja yhdistetään yhteen koordinaatistoon, jotta paikannusjärjestelmä voi toimia kaikkien järjestelmätietojen avulla. /16,s.4/

##### **3.1.1. Geodesia**

Geodesia on tiede, joka käsittelee Maan koon ja muodon mittaamista, sekä maanpinnan kohteiden kuvaamista. Se muodostaa maanmittaustekniikan tieteellisen perustan mittaamisen ja kartoituksen näkökulmasta.

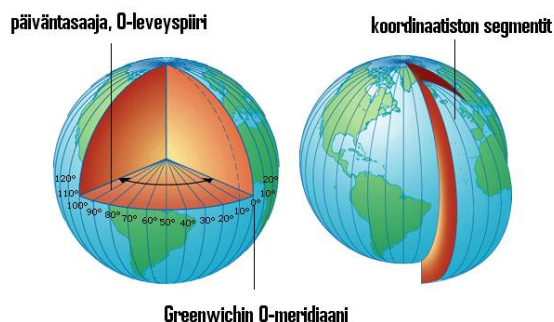
Tarkasteltavan kohteen tasosijainti ilmoitetaan kahden koordinaatin avulla pallo- tai tasopinnalla. Tasopinnalla käytetään SI-järjestelmän mukaisia suorakulmaisia koordinaatteja ja maapallon pinnalla käytetään kulmamittoina ilmoitettavia maantieteellisiä koordinaatteja. Kohteen korkeussijainti ilmoitetaan yleensä pystysuorana etäisyytenä merenpinnan tasosta. /16,s.127 - 131/

Geodeettisten tutkimusten perusteella ylläpidetään vertailujärjestelmiä, korkeus- ja koordinaattijärjestelmiä, joiden suhteen määritetään tarkasteltavan paikan tarkka sijainti maapallolla. Painovoima määrittää paikan vaakatason ja pystysuoran, tämän vuoksi on tunnettava maapallon muoto ja mittasuhteet. /16,s.124/

### 3.1.2. Koordinaatistot

Maantieteellisessä koordinaatistossa paikan sijainti ilmoitetaan leveyskulman (latitude) ja pituuskulman (longitude) avulla. Nämä kulmat mitataan ekvaattorin, eli päiväntasaajan tasosta ja Greenwichin meridiaanin tasosta. Karttakoordinaatistoja on useita erilaisia ja pohjoissuunta ei aina ole kartassa ylöspäin. Maan muotoa kuvaavaan pyörähdysellipsoidiin voidaan kiinnittää kolmiulotteinen koordinaatisto, jonka origo on ellipsoidin keskipisteessä (Maan massakeskipisteessä). /17/

X-akseli osoittaa Greenwichin suuntaan ja Y-akseli on tätä vastaan kohtisuorassa. (kasvaa itään päin). Z-akseli yhtyy Maan pyörimisakseliin ja kasvaa pohjoisnavalle. Kuvassa x on 0-leveys- ja pituuspiirit.



**Kuva 5. Greenwichin meridiaani ja päiväntasaaja /11/**

Kun edellä mainitun koordinaatiston origo sijaitsee Maan painopisteessä, se on geosentrinen, eli maakeskeinen. Tällainen koordinaatisto on WGS84, jota käytetään GPS-paikannuksessa. /16,s.130/

Karttakuvauksessa ei pallopintaa voi projisoida tasolle vääristämättä kuvan kohdetta. Karttaprojektioita voidaan kuitenkin ajatella maapallon tasokuvana. Karttaprojektioita ja kuvauksen tasoja, sekä suuntia on monenlaisia. /23, s.31/

### **3.1.3. Korkeusjärjestelmät**

Geoidin pinnasta mitattu korkeus on Ortometrinen korkeus, jossa vesi virtaa aina alempana olevaan pisteeseen. Ortometrinen korkeus ei ole geometrinen suure, vaan se perustuu fysikaaliseen ilmiöön. Ellipsoidinen korkeus taas perustuu matemaattiseen pintaan, eli se on Maan matemaattinen malli. Näiden eri korkeuksien muuntaminen toisiaan vastaaviksi perustuu mittauksiin. /23,s.64/

Geoidimalleja on useita eri puolilla maapalloa, kuten myös koordinaatistoja. Maapallon mannerlaatat liikkuvat ja erityisesti Fennoskandian alueella tapahtuu maan kohoamista. Nämä tekijät aiheuttavat paljon mittauksia ja monimutkaisia laskutehtäviä koordinaatistomuunnoksissa./23,s.67/

Esimerkkejä koordinaatistomuunnoksista ovat siirtyminen eri koordinaateista toiseen, siirtyminen koordinaattijärjestelmästä toiseen, karttojen ja kuvien digitointi ja skannaus, valokuvien ottaminen ja satelliittikuvien mittaaminen, takymetrilaskenta, rakenteiden ja pisteverkkojen tutkiminen, sekä kolmiulotteisten mallien visualisointi tietokoneella. /16.s153/

Muunnosten suorittaminen vaatii erittäin monimutkaista geometrista ja matriisilaskentaa, jotka ovat syytä tehdä tietokoneen avulla. Mittauksissa tapahtuu aina virheitä eri syistä johtuen. Virheiden korjaus ja tulosten korjauslaskenta on oma matematiikan alansa. Näiden useiden muuttujien vuoksi täsmällisesti oikean paikan määrittäminen maapallolla on todella haastavaa.

## 3.2. Satelliittipaikannuksen perusteet

Satelliittipaikannuksen sovellukset ja mahdollisuudet ovat lisääntyneet voimakkaasti 1990-luvulta alkaen sekä sotilas- että siviilikäytössä. Nyt 2010-luvulla olemme tilanteessa, jossa GPS-paikannin on arkipäivää useassa kotitaloudessa. Aina useammin elektronisten laitteiden ja järjestelmien osana on paikannuslaite. Koko ajan monimutkaistuvaan laitteistoon sisällytetään useita ominaisuuksia ja toimintaperiaatteita, joita käyttäjä ei tavallisesti ajattele tai tiedä edes olevan olemassa. Yleistieto näistä asioista parantaa kykyä käyttää laitetta sekä kykyä arvioida sen rajoitteita. Satelliittipaikannuksen sotilaskäyttö asettaa myös paikannuslaitteille ja GPS-järjestelmille vaatimuksia, joita siviilikäytössä ei huomioida. /1/

### 3.2.1. PRN-koodi

Satelliittipaikannus perustuu etäisyyden mittaamiseen tarkasti paikannuslaitteen ja satelliittien välillä. Lähetetty radiosignaali etenee valon nopeudella. Havaitun kulkuajan perusteella lasketaan, kuinka pitkän matkan signaali on kulkenut. Mittaaminen voidaan tehdä satelliitin lähettämän koodin ja sen lähettämän signaalin kantoaallon vaiheen avulla./1/

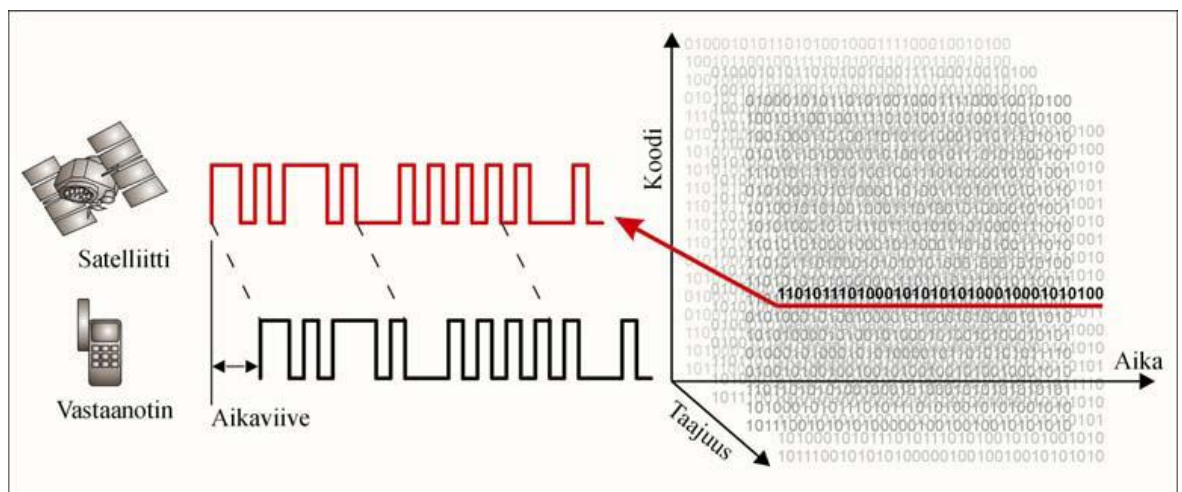
GPS:n toiminta ja etäisyyden mittaaminen on kolmiomittausta eli trilateraatiota kolmessa ulottuvuudessa. Mittaamalla kolmen tunnetun satelliitin etäisyys GPS-laitteesta, paikannuslaitteen sijainti voidaan rajata avaruudessa kahteen mahdolliseen pisteeseen. Toinen on maapallon pinnassa ja toinen syvällä maapallon sisällä, tai kaukana avaruudessa. Oikean paikan löytämiseksi GPS-laite tarvitsee signaalin neljästä satelliitista. /19,s.43/

Satelliitti lähettää yksilöllistä koodia, josta käytetään lyhennettä PRN (Pseudo Random Noise). Koodi näyttää satunnaiselta jonolta ykkösiä ja nollia. PRN-koodi on kuitenkin tunnettu ja tarkasti määritelty matemaattisella algoritmilla. Paikannin ja satelliitti muodostavat samanaikaisesti samaa koodia. Kun verrataan sen omaa koodia vastaanotettuun koodiin, voidaan havaita niiden välillä aikaero. Ero on täsmälleen yhtä

suuri kuin signaalin kulku-aika satelliitista GPS-laitteeseen. Satelliitti toimii ainoastaan lähettimenä ja kaikkien satelliittien atomikellot tahdistetaan samaan aikaan. GPS-laite vastaanottaa signaalin, mutta ei toimi lähettimenä. /23,s.118 - 121/

Mitattuja etäisyyksiä nimitetään pseudoetäisyyksiksi, sillä ne sisältävät vastaanottimen kellovirheen vaikutuksen mittaustulokseen. Kellovirhe voidaan kompensoida tekemällä lisämittaus yhteen ylimääräiseen satelliittiin. Menetelmän paikannustarkkuus on muutamia metrejä. /1/

Kuvassa 6 on havainnollistettu koodimenetelmän käyttöä aikaeromittauksissa. Vastaanotin erottelee satelliittien lähettämät koodit toisistaan ja tahdistuu koodiin.



**Kuva 6. Koodimenetelmän aikaeromittaukset. /24/**

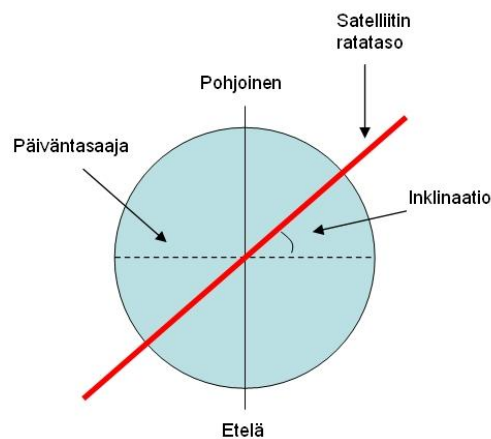
### 3.2.2. GPS, GLONASS ja GALILEO

GPS, GLONASS ja GALILEO ovat lähes toistensa kaltaisia satelliittijärjestelmiä.

GPS (Global Position System) on Amerikkalainen järjestelmä, joka koostuu 24 satelliitista. Ne sijaitsevat kuudella eri ratatasolla. Jokaisella ratatasolla on neljä satelliittia. Ratatasot ovat kallistuneet 55° päiväntasaajaan nähden (inklinaatiokulma). Satelliitit kiertävät noin 20 200 km:n korkeudella, jolloin kiertoajaksi tulee noin 12 tuntia. /1/

GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikowaya Sistema) on venäläinen järjestelmä. Satelliitit kiertävät maata 19100 km:n korkeudella maanpinnasta, jolloin kiertoaika on 11 h 15 min ja 44 s. Ratatason inkliinaatio on 64,8 astetta eli satelliittien näkyvyys pohjoisilla leveysalueilla on jonkin verran parempi kuin GPS:n. /1/

GALILEO on yhteiseurooppalainen satelliittipaikannusjärjestelmä. Galileo-järjestelmässä on 30 satelliittia, jotka on sijoitettu kolmelle ympyrän muotoiselle radalle noin 23600 km maanpinnan yläpuolella. Jokaisella kiertoradalla on 9 satelliittia ja yksi varasatelliitti. Kiertoradat ovat 56 asteen kulmassa päiväntasaajaan nähden. Peittoalue on hyvä myös pohjoisille leveysasteille. /1/



**Kuva 7. satelliitin inkliinaatiokulma päiväntasaajaan nähden /25/**

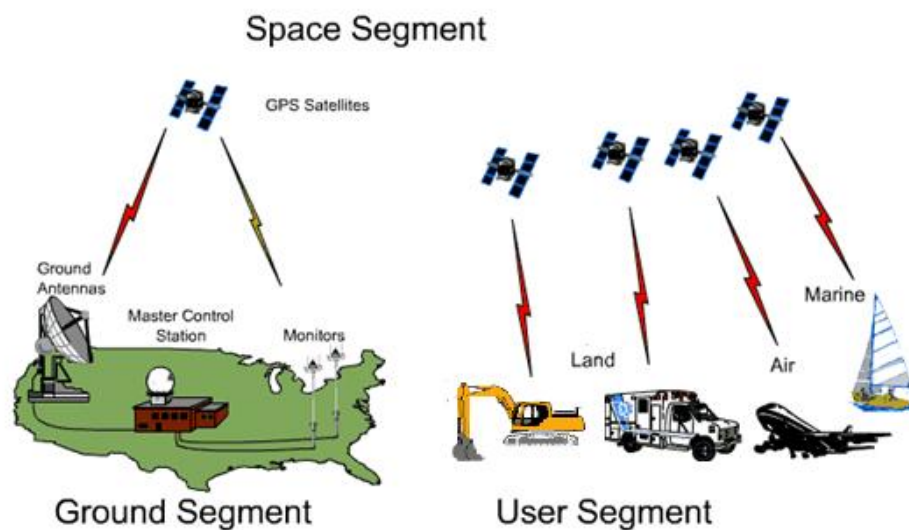
### 3.2.3. Segmentit

Satelliittipaikannusjärjestelmät voidaan jakaa kolmeen toiminnalliseen osaan, jotka ovat: hallinta-, avaruus- ja käyttäjäsegmentti.

Hallintasegmentti valvoo ja ylläpitää järjestelmää. Valvonta-asemien avulla tarkkaillaan satelliittien tiloja, asemia ja ratoja. Sen avulla päivitetään käyttäjille lähetettäviä tietoja. Hallintasegmentissä on järjestelmän pääkello, atomikello, johon järjestelmän muita kelloja verrataan. Tämän segmentin asemien koordinaatit tunnetaan erittäin tarkasti. Sen vuoksi ne toimivat järjestelmän muiden osien kiintopisteinä.

Avaruussegmentti koostuu satelliiteista. Satelliittien radat ja lukumäärä on suunniteltu siten, että 3D-paikannus on mahdollista halutulla alueella.

Käyttäjäsegmentti käsittää GPS-paikannuslaitteen antennineen sekä kaikki ne henkilöt ja järjestelmät, jotka käyttävät paikannusjärjestelmää. Paikantimessa on monikanavainen radiovastaanotin ja laskentayksikkö, joka kykenee määrittämään oman paikkansa satelliittien signaalien ja niiden lähettämien tietojen perusteella. /4/



**Kuva 8. GPS-segmentit /20/**

### 3.2.4. GPS-virhelähteet

Erittäin tarkka ajanmittaus on satelliittipaikannuksen toimintaedellytys. Paikannus perustuu pienten aikaerojen mittaamiseen. Yhden millisekunnin virhe ajan mittauksessa tarkoittaa 300 km:n virhettä etäisyydessä. /19/

Signaalin kulku-aikaan vaikuttaa Ionosfäärin aktiivisuus, joka vaihtelee. Signaalin kulkuajan häiriötieto aiheuttaa helposti kymmenien metrien paikannusvirheen maastossa. Ionosfäärin on erityisen aktiivinen revontulten aikana. Revontulten esiintymiseen vaikuttaa auringon aktiivisuus. Silloin GPS-signaalin nopeat kulkuajan vaihtelut saavat aikaan suuria hetkellisiä virheitä paikannuksessa. /19/

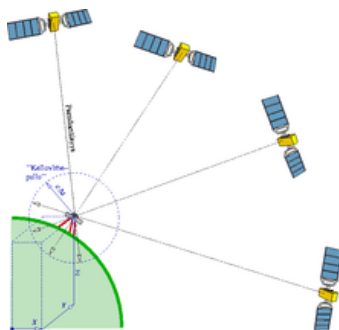
Ionosfääri on ilmakehän ylin osa, jossa merkittävä osuus kaasusta on ionisoitunut, eli muuttunut plasmaksi. Pahimmassa häiriötapauksessa GPS-laite ei löydä satelliitteja ollenkaan. /9/

Troposfäärin aiheuttama virhe on huomattavasti pienempi ja virheen aiheuttaa lähinnä ilmakehän epätasainen vesihöyrypitoisuus. Sääilmiöt tapahtuvat tässä ilmakehän alimmassa kerroksessa. Troposfääri ulottuu noin kymmenen kilometrin korkeuteen. /8/

Monitieheijastuksessa on kysymys samasta ilmiöstä, joka esimerkiksi television ruudulla näkyy haamukuvana, tai radiossa kuuluu äänen säröilynä. Jos antennin lähistöllä on heijastavia elementtejä, kuten taloja, vesistöjä tai kallioita, voi syntyä tilanne, jossa paikannuslaite ei havaitsekaan pelkästään satelliitista tulevaa signaalia, vaan myös sen heijastuman. Ilmiön todennäköisyys on suurempi, jos signaali tulee horisontin suunnasta. /19,s.58/

Satelliitin aiheuttamia virhelähteitä ovat satelliittigeometrian vaikutus ja sen kellon, sekä ratatietojen epätarkkuus. Geometrian vaikutus heikentää tarkkuutta silloin, kun satelliitit ovat lähellä toisiaan, tai niitä on liian vähän vaikutusalueella. Geometrian vaikutuksia mitataan erilaisilla tunnusluvuilla. Ehkä tärkein niistä on geometrisesta epävarmuudesta kertova GDOP-luku (geometric dilution of precision). Mitä pienempi luku on, sitä parempi on geometria. /19,s.59/

Korkeuden mittauksessa saadaan tarkempi tulos, jos satelliitti sijoittuu suoraan kohteen yläpuolelle. Kuva 9 esittää satelliittigeometriaa.



**Kuva 9. Satelliittigeometria /12/**



Paikannuslaitteen vastaanottama teho maanpinnalla on erittäin alhainen. Satelliitit ovat n. 20 000 km etäisyydellä vastaanottimesta ja niiden lähetysteho on pieni (n.25–50 W), mikä tekee vastaanottimesta herkän järjestelmän ulkopuolisille häiriöille. /1/

Vastaanottimen häiriölähde on yleensä muutaman kymmenen tai korkeintaan muutaman sadan kilometrin päässä vastaanottimesta. (Voimalinjat, tehtaot, sähköradat jne.) Lyhyiltä etäisyyksiltä myös pienitehoisen lähettimen signaali peittää paikannussignaalin. /1/

### **3.3. GPS-paikannuksen tarkkuus maanmittauksessa**

Paikkatiedon tarkkuus GPS-järjestelmässä parantui huomattavasti paikannussignaalin tahallisen häirinnän lopettamisen jälkeen vuonna 2000. Häirintä tapahtui Yhdysvaltojen Puolustusministeriön toimesta. Tätä ennen virhe saattoi olla yli 100 m, vaikka laitteiden kyky suoriutua tehtävästä oli jo silloin paljon parempi. /1/

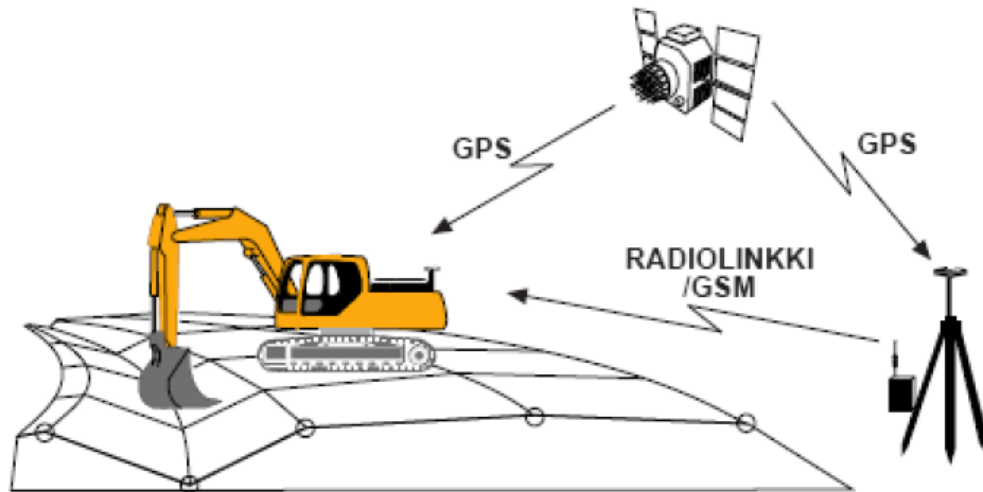
Paikannustarkkuus maanmittauksessa on oltava noin 1 cm, mutta esimerkiksi autonavigaattoreissa ja maastossa liikuttaessa yhtä suurta tarkkuutta ei tarvita. Suurempi tarkkuus saavutetaan erilaisilla menetelmillä, laitteilla ja ohjelmistosovelluksilla. Tärkein menetelmä on tukiaseman käyttö liikkuvan paikannuslaitteen apuna.

#### **3.3.1. RTK-mittaus**

Nykyaikainen, tarkka paikannusjärjestelmä kehittyi nopeasti maanmittauksessa ja työkoneiden käyttöä kuljettajalle opastavissa laitteissa. Laitteet hyödyntävät amerikkalaisia GPS- ja venäläisiä GLONASS-satelliitteja yhtä aikaa, jolloin paikannustarkkuus saadaan paremmaksi. Käytännössä mittaustarkkuus on oltava senttimetrin, tai kahden luokkaa, tiehöylän käytössä jopa alle senttimetrin tasolla, jotta maastoon asetettavat korkomerkit voidaan poistaa.

RTK-mittaus, eli reaaliaikainen kinemaattinen mittaus perustuu kiinteän tukiaseman käyttöön. Tukiasema, eli vertailuvastaanotin sijaitsee tunnetulla pisteellä. Tämä asema lähettää mittaamansa havainnot paikannuslaitteen vastaanottimelle (korjausdata). Näiden

kahden laitteen välillä käytetään tiedonsiirtoyhteytenä radiomodeemia, tai GSM-verkkoa. RTK-mittaus on vaativa mittautapa laskennan ja tiedonsiirron, sekä satelliittigeometrian suhteen. Tukiasemalla ja liikkuvalla vastaanottimella täytyy olla yhtä aikaa seurannassa vähintään viisi yhteistä satelliittia /16,s.123/



**Kuva 10. RTK-tukiaseman käyttö koneenohjauksessa. /22/**

### 3.3.2. VRS-järjestelmä

VRS-järjestelmä (Virtual reference station system) on tukiasemaverkostoratkaisu, joka laskee jokaiselle mittaajalle oman virtuaalisen tukiaseman lähelle mittauspaikkaa. Mittaaja lähettää GSM-verkossa likimääräisen sijaintinsa laskentakeskukselle, joka prosessoi myös kiinteiden tukiasemien lähettämää dataa.

Laskentakeskus käyttää mittaajan likimääräistä sijaintia virtuaalitukiaseman muodostamiseen. Lähellä oleva virtuaalinen tukiasema parantaa mittausten luotettavuutta verrattuna esimerkiksi 20 kilometrin etäisyydellä olevaan tukiasemaan. /16,s.324/



**Kuva 11. Virtuaalinen tukiasemajärjestelmä GSM-verkossa. /6/**

### **3.3.3. Takymetri**

Takymetri on maastomittauksen yleistyökalu. Se on optinen laite, johon on sisällytetty tietokone. Laitteella tehdään tarkkoja maastomittauksia; tasosijainteja ja korkeusmittauksia. Havainnoista voidaan laskea koordinaatteja ja korkeuksia, sekä tallentaa tulokset sähköiseen muotoon. Takymetriä voidaan käyttää GPS-järjestelmän apuna vaativissa mittaustehtävissä. /16,s.223/



**Kuva 12. Stonex R9 Takymetri /5/**

### 3.3.4. PDOP

Satelliittigeometrian vaikutus paikannuksen tarkkuuteen esitetään laskennallisesti DOP-lukujen avulla. PDOP-luku (Position Dilution of Precision) kertoo paikannuksen taso- ja korkeustarkkuuden yhdistetyn epävarmuuden. DOP-lukujen laskenta on matemaattisesti vaativa tehtävä. Yleinen sääntö on se, että mitä pienempi luku on, sitä parempi on satelliittigeometria. Yksiselitteisiä raja-arvoja ei DOP-luvulla ole, mutta nyrkkisääntönä on, että alle viisi oleva luku on hyvä. Luvun ollessa yli kymmenen tilanne on huono paikannuksen kannalta. /16,s.314/

## 4. 3D-KONEENOHJAUSJÄRJESTELMÄ

Kolmiulotteisen maastomallin käyttöön perustuvia ja kuljettajaa opastavia 3D-järjestelmiä on käytössä useilla laitevalmistajilla. Ohjausjärjestelmiä on mahdollista asentaa useaan erilaiseen työkoneeseen, esimerkkeinä mainittakoon puskukone, pyöräkuormaaja, tiehöylä ja kaivukone. Laitteet on mahdollista kytkeä myös merellä työskentelevän ruoppajaan ja useisiin muihin erikoiskoneisiin. Tekniikan soveltamisen ja käyttöönoton tarkoituksena on helpottaa maanrakennustyön suorittamista, sekä vähentää manuaalisten mittausten ja korkomerkkien tarvetta työmailla. Paikannustekniikan käyttö säästää erittäin paljon kustannuksia ja nopeuttaa töiden suorittamista.

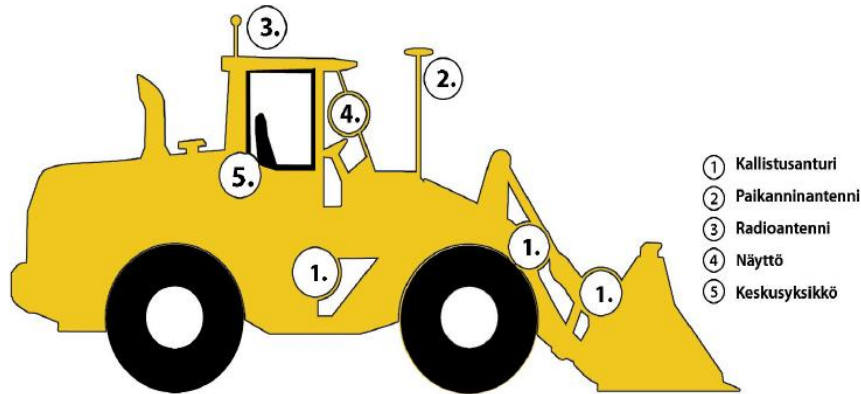
### 4.1. Periaatekuvaus

Tässä työssä käsiteltävään Hitachi 135-kaivukoneeseen on asennettu Novatron Vision 3D maanrakennuskoneisiin suunniteltu koneohjausjärjestelmä. Tämä järjestelmä koostuu työkoneeseen asennetuista antureista, reaaliaikaisesta GPS-paikannuksesta ja antureilta saatujen kaivukoneen eri puomin osien, sekä koneen asennon mittatietojen projisoinnista tietokoneen avulla.

Gsm- ja radioliikenneyhteydet antavat mahdollisuuden käyttää laitevalmistajan etätukiyhteyden lisäksi tiedonsiirtoa työkoneen, palvelimen ja Internet-yhteydessä olevan tietokoneen välillä. CAN-väylätekniikalla toteutetut anturit mittaavat puomien ja koneen ylävaunun asentoa kolmen akselin suuntaisesti tuhansia kertoja sekunnissa.

Toisin sanoen kaivukoneeseen asennettu keskusyksikkö mittaa kauhaan määrätyn ja kalibroidun mittapisteen ja useiden anturien avulla kauhan, puomien ja peruskoneen asentoa. Näyttöön saadaan korkeus- ja etäisyystieto kauhan kärjestä reaaliaikaisesti. GPS-järjestelmä antaa paikannustiedon koneeseen asennettujen antennien avulla.

Kuvassa 13 esitetään komponenttien sijoittelu pyöräkuormaajassa. Kaivukoneessa asennon mittaavia antureita on useampia, johtuen puomin nivelpisteiden suuremmasta määrästä.



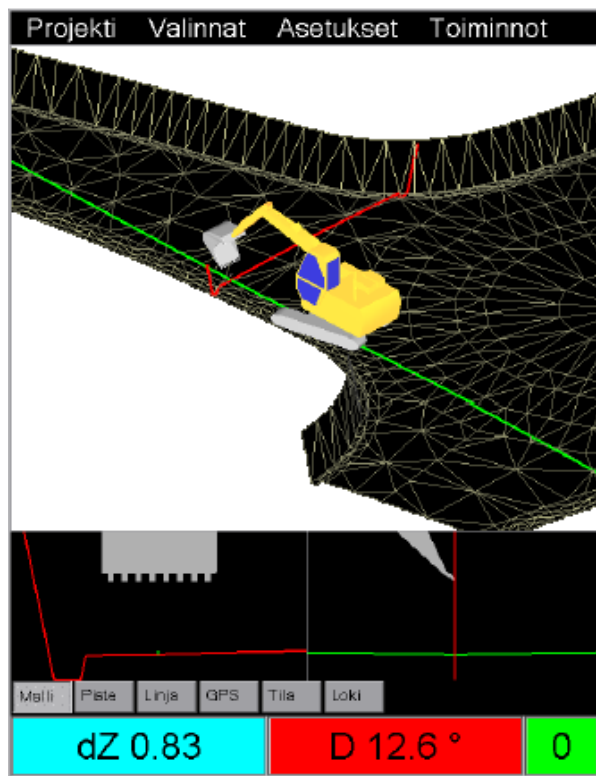
**Kuva 13. Koneohjauslaitteen komponentit pyöräkuormaajassa. /22/**

Anturien mittaustiheys ja datan siirtonopeus takaavat reaaliaikaisen mittaustuloksen järjestelmän näytöllä. Lisämoduulit ja antennit laajentavat järjestelmän satelliittipaikannusta hyödyntäväksi 3D-koneohjausjärjestelmäksi, kuten kuvassa 13. Koneohjausjärjestelmä toimii tässä tapauksessa kuljettajaa opastavana laitteena, mutta se on mahdollista myös muuttaa koneen toimintoja suoraan ohjaavaksi laitteeksi lisävarusteiden avulla. /21/

## 4.2. Komponentit

Työskentelyn kannalta tärkein komponentti on laitteen kapasitiivinen kosketusnäyttö. Näytön etuna on nopeus ja herkkyys. Valmistajan käyttöohje antaa laitteelle  $-20 - 60^{\circ}\text{C}$  käyttölämpötila-alueen. Maastomallin näkymää ja työkonetta voidaan zoomata, sekä katsella eri suunnista. Konenäkymä on myös muutettavissa tarkemmassa työssä kiinteästä läpinäkyväksi ja edelleen kolmioverkoksi. /21/

Kuvassa 14. on Novatron Vision kosketusnäytön työnäkymä. Kauhan sijainti maastomallin pohjaan nähden näytetään kuljettajan suunnasta, sekä sivusuunnasta. dZ-arvo ilmoittaa kauhan kärjen korkeuden mallin pinnasta ja D-arvo on suuntakulma, jossa pohjoissuunta on  $0^{\circ}$ , tai  $360^{\circ}$ . Kauha osoittaa silloin pohjoiseen ja koneen takavastapaino etelään. Näkymää voidaan zoomata ja kääntää, sekä näkymästä voidaan poistaa koneen osat yksi kerrallaan ja käyttää tarkassa työssä mittapistettä koko kauhan näkymän sijasta.



**Kuva 14. Kosketusnäytön työnäkymä. /22/**

Muita komponentteja ovat 24 voltin jännitelähde ja tietokoneen keskusyksikkö Windows XP Embedded -käyttöjärjestelmällä. Kaivukoneeseen on asennettu useita antureita, jotka mittaavat asentoon kolmiulotteisesti. Anturit on kytketty CAN-väylän avulla keskusyksikköön. Kuvassa 15. on kyseinen anturi, joka mittaa kaivukoneen kauhan asentoa.



**Kuva 15. Novatron-anturi**

Laitteen anturit ovat Novatronin oma valmistettuja. Mittaus tapahtuu XYZ-suunnissa ja resoluutio on 0.05°, sekä mittausalue 360°. Antureiden käyttölämpötila on -20 °C - 60 °C ja tehon kulutus 1W, kun lämmitystoiminto ei ole päällä. Fyysiset mitat anturilla ovat 98mm x 41mm x 33mm ja paino on 0,2 kg. /22/

Koneeseen on myös asennettu kaksi GPS-antennia, sekä kaksi erillistä vastaanotinta kahden antennin vastaanottamille signaaleille. Kahden antennin järjestelmä helpottaa työskentelyä, koska kaivukoneen ylävaunua ei tarvitse työn aikana turhaan pyörittää suuntatiedon saamiseksi. Toinen antenni on käytännössä apuväline ja toinen on paikannuslaitteen antenni.

Internet-tiedonsiirron, laitevalmistajan etätuen ja RTK-korjaussignaalin kannalta välttämätön laite on modeemi, joka toimii 3G-verkossa. Modeemin avulla koneen kuljettaja voi ladata palvelimelta uusia maastomalleja ja tallentaa sinne esimerkiksi 3D-ohjelmalla itse tehdyn mallin, ojalinjan, tai tärkeät työmaan kohteet koordinaattipisteinä.

Lisävarusteena on olemassa modeemi radiosignaalilla tapahtuvaa korjausdataa varten, GPS-kompassi ja laservastaanotin koneen puomiin. Laservastaanottimen avulla kuljettaja voi ottaa korkeustiedon työmaalla sijaitsevasta laserlähettimestä, jos maastomallia ei ole sillä hetkellä saatavana. /22/

### **4.3. Asennus**

Novatronin komponenttien paikalleen asennuksesta vastasi laitevalmistajan henkilökunta. Anturien asennuksen yhteydessä syötetään koneen puomien osien mittatiedot mahdollisimman tarkasti järjestelmään, kuten myös antennien sijainti koneen pyörimiskeskisteeseen nähden, sekä antennien korkeus pääpuomin tyvitapin keskipisteestä. Myös tyvitapin keskipisteen sijainti koneen pyörimiskeskisteestä on syötettävä järjestelmään. Anturit kalibroidaan yhdellä puomiston asennolla, jotta laite pystyy tekemään kulmamittauksia anturitietojen ja mittatietojen perusteella.



Syöttöjännite otetaan suoraan akusta ohittamalla virtalukko, jotta laitteen käyttöjärjestelmän virta ei katkea työkonetta sammutettaessa esim. taukojen aikana. Keskusyksikkö, näyttö, GSM-modeemi ja laitteiden kaapelit asennetaan koneen hyttiin.

#### **4.4. Aineisto ja toteutumatieto**

Maastomallit ja linja-aineistot saattavat tulla työmaille useista eri lähteistä. Linja-aineisto voi olla esimerkiksi tielinjan keskikohta, tai viemäriputkiston linja. Pintamallit voidaan siirtää järjestelmän käyttöön erilaisten suunnitteluohjelmien tukemissa yleisissä dxf ja xml -formaateissa. Myös pelkän koordinaattipisteen käyttö on usein tarpeellista. Pisteaineisto siirtyy esimerkiksi gt tai csv -formaateissa, jotka voidaan avata ja editoida vaikka taulukkolaskentaohjelmissa. /22/

Työvaiheen valmistuttua maaston muoto, eli toteutumatieto voidaan ottaa talteen. Esimerkiksi vesijohtolinjan risteyskohdan syvyys ja sijainti kartalla on mahdollista tallentaa myöhempää tarvetta varten. Tallennettavan tiedon ominaisuus voidaan määritellä koodien perusteella, ja vientiformaatti voidaan valita vastaanottajalle sopivaksi. Tiedot siirretään koneenohjausjärjestelmästä muistitikulla, tai GSM-tiedonsiirron avulla. /22/

#### **4.5. 3D-maastomalli**

Kun työkohteesta on mallinnettu 3D-ohjelmalla pintamalli ja se on siirretty järjestelmään, kuljettaja näkee samanaikaisesti pituusleikkauksen, poikkileikkauksen ja syvyyden, tai korkeuden mallin pintaan. Maastomittausten teko ja tallennus on laitteella myös mahdollista, kun tiedetään kauhan mittauspisteen koordinaatit. Pisteet erotellaan toisistaan koodeilla ja niiden perusteella näytön avulla voidaan tehdä esim. ojalinjan malli ilman erillistä mallia, tai tiedonsiirtoa. /22/

## 5. KAIVUKONEEN PROPORTIONAALINEN LISÄLAITE

Kaivukoneiden lisähydrauliikka tarkoittaa kaivutoimintojen lisäksi käytettävää erillistä hydraulista toimintoa, erikoistyövälineiden tarvitsemaa öljyvirtausta ja siihen liittyviä komponentteja. Peruskoneessa on usein kaksitoiminen karaventiili, jonka käyttöä hallitaan sähköhydrauliikalla, tai esiohjaushydrauliikalla. Erillisten proportionaalisten lisälaitteiden käyttö on yleistynyt huomattavasti 2000-luvun puolivälin jälkeen. Aikaisemmin toimilaitteita ohjattiin kaivukoneissa on / off magneettiventtiileillä.

### 5.1. Lisälaitteen tekniset tiedot

Indexator Pro Plus on sähköhydrauliikalla proportionaalisesti toimiva kaivukoneen lisälaite, joka kallistaa ja pyörittää kauhaa. Pyöritys voi tapahtua jatkuvatoimisesti ja portaattomasti hydrauliikkamoottorin ja pyöritysruuvien, sekä rullan avulla. Laitteessa on tartuntapihdit, sekä hydraulinen pikakiinnike kauhan, tai muun työkalun kytkemistä varten. Työkalun vaihto tapahtuu koneen ohjaamosta käsin. /14/

Kaivukoneen lisälaitteen toimivuuden ja kestävyuden kannalta on olennaista valita laite työkonen kokoa ja painoa vastaavaksi. Myös kiinnitysvaihtoehtoja koneeseen on erilaisia ja sen vuoksi on tiedettävä koneen puomin mitat ja geometria. Lisälaitteeseen kytkettävien kauhojen, sekä muiden työvälineiden pikakiinnitysjärjestelmien täytyy olla keskenään samanlaisia. Valmistajan teknisestä erittelystä selviää peruskoneelle asetettavat vaatimukset, sekä laitteen toimintasäde. /15/

### 5.2. Indexator Proplus RT 40B tekninen erittely

#### Peruskoneen ominaisuudet

Min / max paino	10000 – 15000 kg
Max standardikauha	0,7 m <sup>3</sup>
Max irrotusvoima	105 kN
Max liitäntäpaine	30 MPa
Max paluupaine	4 MPa

**RT 40B ominaisuudet**

Kallistuskulma	2 x 40°
Kallistusmomentti	26500 Nm (yksitoimiset sylinterit) 40500 Nm (kaksitoimiset sylinterit)
Pyöritys	360° (rajoittamaton)
Pyöritysnopeus	1 kierros / 7 s. (50litraa/min)
Pyörintämomentti	6400 Nm
Työpaine	25 MPa
Min öljyvirtaus	40 litraa/min
Max öljyvirtaus	80 litraa/min

**5.3. Asennus ja laitteen komponentit**

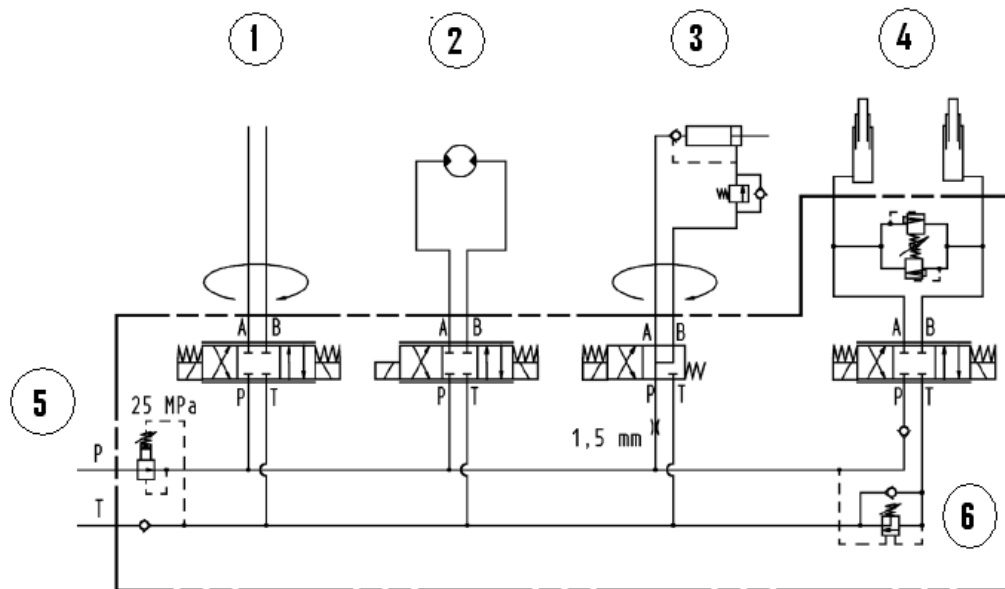
Laitteen paikalleen asennus Hitachi 135-kaivukoneeseen tapahtui OAKK:n tiloissa oppilastyönä, jonka ohjaajana toimin. Asennusohjeet, laitteet ja ohjelmistot tulivat Indexatorin maahantuojalta. Hydraulisten, mekaanisten ja sähköisten komponenttien toimintojen yhteensopivuus varmistetaan kalibroimalla ensin ohjausvipujen rullaohjaimet, jotta ohjainyksikköön voidaan tehdä muita asetuksia. Tämän jälkeen muutetaan keskusyksikön parametrit kuljettajalle sopiviksi. Peruskoneen lisähydrauliikan öljyvirtaus ja painetasot on myös asetettava oikeiksi, jotta laite toimii ilman ongelmia.



**Kuva 16. Hitachi 135-kaivukoneeseen asennettu Indexator Proplus RT40B.**

## 5.4. Hydraulikkakaavio

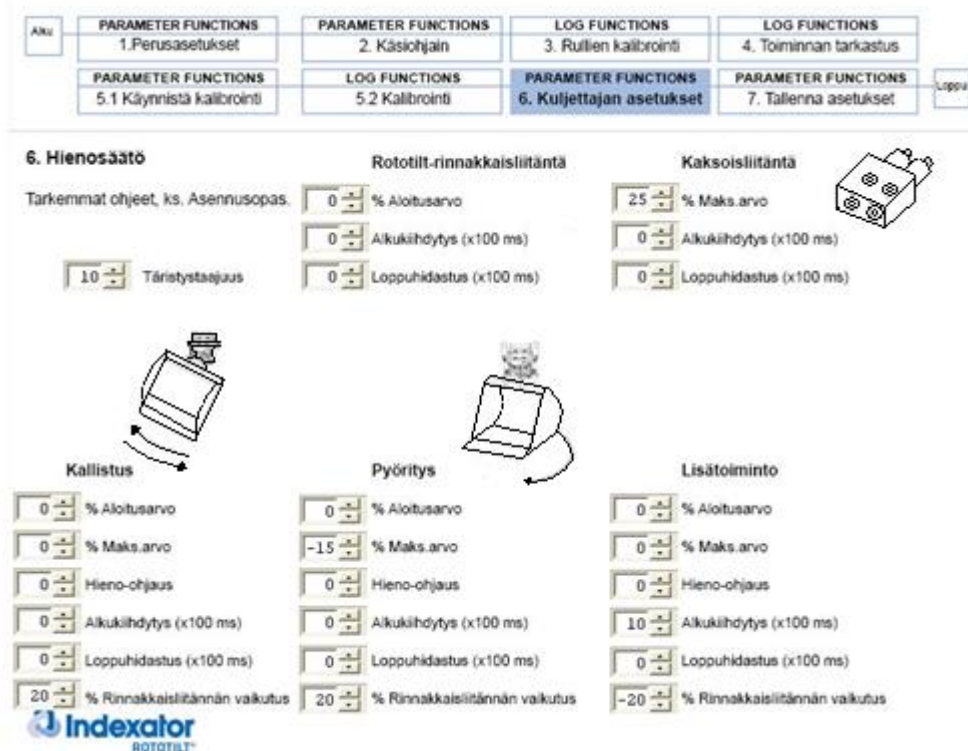
Pyöritys- ja kallistuslaitteen hydraulikkakaavio sisältää kolme 4/3 proportionaaliventtiiliä ja yhden 4/2 on/off -venttiilin. Ensimmäinen lukema kuvaa öljyn virtausteiden määrää venttiilissä ja toinen lukema on venttiilin toiminta-asentojen määrä. Toimilaitteet on numeroitu 1 – 4 vasemmalta oikealle. 1 Pihdit, 2 pyöritysmoottori, 3 pikakiinnikkeen sylinteri ja lukkoventtiili, 4 kallistusylinterit ja varoventtiilit. Numero 5 on venttiililohkoon sijoitettu paineensäädin ja 6 on kallistustoiminnolta tulevan paluuvirtauksen rajoitin.



Kuva 17. Hydraulikkakaavio Indexatorista. /13/

## 5.5. Säädet ja parametrit

Indexatorin tehtaalla on asetettu keskusyksikköön perussäätö, joka näkyy nollatasona hienosäätö- ohjelman kaikissa parametreissa. Laitteen parametreja muutetaan kannettavan tietokoneen ja Indexatorin ohjelmiston avulla. Kuvassa 18 on näytöltä otettu ruutukaappaus ohjelman hienosäätövalikosta.



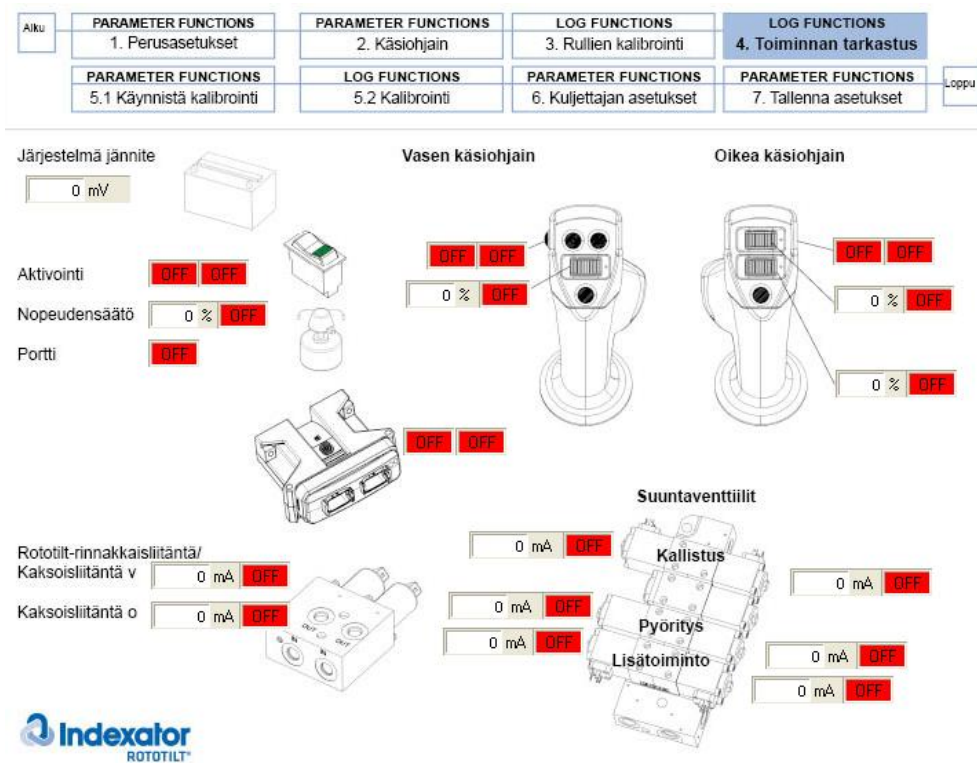
**Kuva 18. Hienosäätövalikko**

Rinnakkaisliitäntä kuvaa propoventtiiliä, joka ohjaa kaivukoneen lisähydrauliikan karaa. Kaksoisliitäntä on käytössä silloin, kun koneesta irrotetaan Indexator pois ja käytetään ohjauksikahvoja esimerkiksi erillisen kallistelulaitteen hallintaan. Näissä valikoissa on kolme muutettava parametria. Lisätoiminnon säädöt vaikuttavat tartuntapihtien kaksoispropoventtiilin toimintaan. Pihdit ovat lisävarusteena Indexatorissa. Täristystoiminnolla saadaan kallistussylintereille edestakainen liike kauhan tyhjännystä varten. Edestakaisen liikkeen taajuutta voidaan muuttaa koekäytön aikana työhön sopivaksi.

Kolmessa eri valikossa voidaan säätää rinnakkaisliitännän vaikutusta. Kun käytetään useita liikkeitä yhtä aikaa, on tarpeen muuttaa koneen lisähydrauliikan karan avautumista suuremmaksi, jotta toimilaitteille saadaan suurempi öljyvirtaus. Kaikilla näillä säädöillä pyritään parantamaan lisälaitteen hallittavuutta. Jokin toiminto voi tarvita enemmän öljyä, kuin toinen ja siksi Indexatorissa olevat propoventtiilien karat saavat avautua vain

tarpeellisen määrän. Negatiivisen kuorman vaikutus voidaan myös minimoida ohjelman hienosäätövalikkoa käyttämällä.

Ohjelman avulla voidaan suorittaa myös vianetsintää. Kuva 19 on myös ruutukaappaus, jossa näkyy toiminnan tarkastusvalikko. Käytettäessä koneen ohjauksrullia tai kytkimiä ruudulta voidaan seurata, tuleeko käsky ohjausyksikköön, tai meneekö signaali oikealle proportionaaliventtiilille. Indexatorin propoventtiileille ohjattujen signaalien milliampeerimäärät voidaan tarkastaa tästä valikosta, kuten myös rinnakkaisliitântään ja kaksoisliitântään ohjattujen virtojen suuruudet. Pikakiinnikkeen aktivointikytkin, nopeudensäätöpotentiometri ja sähköinen ohjaamon turvaporttikytkin ovat myös testattavissa tässä valikossa.



Kuva 19. Toiminnan tarkastusvalikko

## 6. 3D-PAIKANNUSLAITTEEN TARKKUUS

Maanrakennustyössä käytettävän reaaliaikaisen paikannuksen tarkkuus tulisi olla noin 2cm luokkaa, jotta laitteista saatava hyöty on todellista. Myös laitteiden toimintavarmuus on erittäin tärkeä seikka. Koneilla työskennellään kiireellisissä olosuhteissa, usein urakkatöissä ja konetyön onnistuminen vaikuttaa useiden muiden henkilöiden tehtäviin ja työmaan aikatauluihin.

### 6.1. Z-koordinaatin mittaustiedon tarkkuus ja toistovarmuus

Kesän 2011 aikana 3D-laitteiden käyttäjien ja muiden alan ammattihenkilöiden parissa tekemiä haastattelujen perusteella (hiljaisen tiedon hankinta) tulin siihen johtopäätökseen, että suurimman virheen paikannuslaitteen koordinaattitietoon aiheuttaa korkeuden mittaus.

Seuraavassa taulukossa on elokuussa 2011 tässä työssä kyseessä olevan Novatronin koneenohjauslaitteen korkeuden mittaustulokset. Mittaukset tapahtuivat satunnaisesti kolmen mittauspisteen, Z1, Z2 ja Z3 suhteen. Pisteet ovat merkitty 500mm paksuun betonilaattaan, joka on sijoitettu kovalle ja liikkumattomalle maaperälle osoitteessa Konetie 51, 90630 Oulu. X / Y koordinaatistossa pisteen 1 koordinaatit ovat 7216600,14 / 479050,92. Pisteen 2 koordinaatit ovat 7216601,96 / 479050,93. Pisteen 3 koordinaatit ovat 7216600,96 / 479053,05

Mittauksia on yhteensä 45 kpl. Testissä on otettu huomioon myös kaivukoneen osien geometria ja kaivulaitteen eri asennot. Kone ajettiin joka mittauskerralla eri suunnasta betonilaatan lähelle, ennalta määrittelemättömälle paikalle. Kolmen eri pisteen koordinaatit mitattiin samalla kaivukoneen alavaunun sijainnilla. Mittauksien aikana kaivulaitteen asennot vaihtelivat erittäin paljon. Asentojen vaihtaminen osoittaa kaivukoneen anturien ja kauhan kalibrointitarkkuuden. Z-koordinaatin arvo on ilmoitettu metreinä ennalta määrätystä merenpinnan keskikorkeudesta, eli geoidista.

Koordinaateille on laskettu keskihajonta, joka kuvaa havaintojen poikkeamaa keskiarvosta. Kolmen keskihajonnan keskiarvo on 0,011m, josta voidaan havaita mittausten keskimääräiseksi virhealueeksi 2,2 cm. Tuloksessa ei ole huomioitu mittauksen suorituksessa tapahtuvia virheitä. Virheitä tapahtuu havainnoitaessa kauhan asemaa koneen hytistä merkittyyn paikkaan nähden. Arvioitu virhe mittauksen suorituksessa on 5 mm.

**Taulukko 1. Korkeuskoordinaattien mittaus 3D-koneenohjauslaitteella.**

pvm	klo	Z1(m)	Z2(m)	Z3(m)
19.8.	13.30	19,01	19,04	19,07
22.8.	13.45	19,02	19,01	19,04
22.8.	14.00	19,00	18,99	19,05
22.8.	14.15	18,98	19,01	19,06
22.8.	14.30	18,99	19,01	19,03
22.8.	14.45	18,99	19,02	19,05
22.8.	15.00	18,98	19,01	19,07
22.8.	15.10.	18,99	19,01	19,06
22.8.	15.20	18,98	19,00	19,04
24,8	7,45	18,98	19,01	19,06
24,8	7,55	18,98	19,01	19,06
24,8	8,00	18,99	19,02	19,05
24,8	8,10	18,99	19,02	19,06
24,8	8,15	18,98	19,01	19,05
24,8	8,20	18,98	19,00	19,06
Keskiarvo		18,99	19,01	19,05
Keskihajonta		0,012	0,011	0,011

Testin tuloksen perusteella laitevalmistajan antama informaatio koneenohjauslaitteen mittaustarkkuudesta pitää erittäin hyvin paikkansa vaikka satunnaisia muuttujia on todella paljon, esimerkiksi kaikki GPS-virhelähteet, laitteen asennus- ja kalibrointivirheet, ohjelmavirheet, käytön aiheuttamat virheet ja mittausvirheet testin aikana. Mittaustulosten toistovarmuus oli erittäin hyvä. Yhtään virheellistä korkeuslukemaa ei esiintynyt, vaan kaikki tulokset ovat keskenään samalla asteikolla.



## **6.2. Teknisen tuen rooli 3d-laitteen toimivuudessa**

Laitevalmistajan henkilökunnan ja teknisen tuen rooli on erittäin tärkeä asennus- ja testivaiheessa, jotta kaikki arvot saadaan varmasti kohdalleen ennen koneen viemistä työmaaolosuhteisiin. Tekninen tuki pystyy korjaamaan myös laitteen käyttäjän mahdolliset virheasetukset etätyöskentelynä jos käyttäjä pyytää ongelmaan apua. Uusien ohjelmaversioiden päivitys voidaan tehdä GSM-modeemin avulla, mutta myös tämä on mahdollista tehdä teknisen etätuen toimesta.

## 7. YHTEENVETO

Lähtökohtaisesti mietin, että usean erilaisen tekniikan ja tieteen alan yhdistäminen yhdeksi kokonaisuudeksi on haastavaa ja samanlaisia kokemuksia myös sain opinnäytetyön aikana. 3D-mallinnus yhdistettynä reaaliaikaiseen tarkkaan paikannukseen, laitteiden mittaustarkkuuden toteaminen ja hydrauliiikan toimintojen säätäminen koneen kuljettajaa miellyttäväksi, sekä geodesiaan perehtyminen veivät aikaa suunniteltua enemmän. Ajankäytön hallintaa auttoi erittäin paljon projektisuunnitelman tekeminen.

Maansiirtokoneet ja sähköhydrauliset laitteet olivat minulle entuudestaan tuttuja, mutta tietotekniikan yhdistäminen useaan toimintoon luotettavalla tavalla ja laitteiden toimintavarmuus yllättivät usein työn aikana. Tulin siihen tulokseen, että hyvin suunniteltu ja tarkka asennustyö on erittäin tärkeä seikka toimivuuden kannalta. Myös perusteelliset mittaus- ja säätötoimet, sekä testaukset ovat tärkeitä tehtäviä ennen valmiin laitekokonaisuuden luovuttamista asiakkaalle. Näiden asioiden hyvällä hoitamisella vältetään kalliit reklamaatiot ja odotustunnit kiireisillä maanrakennustyömailla.

Uusien teknisten laitteiden käyttäminen ja koneen kuljettajan tulosvastuu vaatii kokonaisvaltaista perehtymistä aiheeseen ja usean eri asian hallintaa. Käyttäjän on osattava maanrakennustöiden ja koneen ajotaidon lisäksi tehdä huoltotyöt ja kalibroida lisälaitteet, sekä havaita olosuhteet ja mahdolliset viat, jotka aiheuttavat paikannuksen virheitä. Maan sisään mahdollisesti väärin sijoitetut putket, kaivot ja kaapelit ym. teettävät moninkertaisen työn ja saavat aikaan suuria kustannuksia, jos virheitä tulee ja niitä joudutaan korjaamaan..

Windows-pohjaiset ohjelmat ja laitteet, sekä väylätekniikan mukaantulo ovat helpottaneet työkonoiden toimintojen säädettävyyttä huomattavasti. Enää ei tarvitse hankkia jokaista ohjainyksikköä varten omaa kallista testilaitetta, vaan yksi kannettava tietokone käy työkaluna kaikkiin sovelluksiin. Ohjelmistojen lataus ja päivitykset toimivat Internetin kautta. Laitteiden valmistajien ja maahantuojien palveluksessa olevat ammattihenkilöt pystyvät hoitamaan useita neuvonta- ja korjaustehtäviä omasta toimipisteestään. Etäkäytön hyvä puoli on myös se, että huoltohenkilökunnan määrää ei tarvitse lisätä ja kaukana sijaitsevien laitteiden ongelmat voidaan selvittää ja korjata nopeasti.

Paikannuslaitteiden nopean kehittymisen seurauksena on, että uutta kirjallista aineistoa asiasta ei ole saatavilla suomen kielellä. Tämän johdosta pyrin etsimään tietoja WWW-sivuilta ja eri laitevalmistajien lähteistä.

Työn tuloksena valmistui myös opiskelu- ja tehtävämateriali Oulun Aikuiskoulutuskeskukselle koneenohjauslaitteen käytön perusteiden opettamiseen ja tehtävien vaatimusten mukaiseen harjoitteluun, sekä opetushallituksen määräyksiä vastaavan näyttötutkinnon suorittamiseen. Tulevana tehtävänä on erilaisten maastomallien piirtäminen CAD-ohjelmalla, joka otetaan käyttöön marraskuun 2011 aikana.

## 8. LÄHDELUETTELO

/1/ Airos, Korhonen, Pulkkinen, Satelliittipaikannusjärjestelmät, 1. painos  
Puolustusvoimien teknillinen tutkimuslaitos, 2007.

/2/ BOSCH, Sähköhydraulinen proportionaalihydrauliikka teoriassa ja käytännössä, 1.  
painos, Robert Bosch GmbH, 1993.

/3/ Bürkert Oy, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.burkert.fi/FIN/363.html>] 18.8.2011.

/4/ Festo Oy, [WWW-dokumentti],  
[ <http://www.festo-didactic.com/int-en/services/symbols/hydraulic-din-iso-1219/valves/proportional-directional-control-valves-4-3-way-proportional-valve,directly-actuated,spring-centred-6.1.6.1.htm?fbid=aW50LmVuLjU1Ny4xNy4zMj4xMjMxLjY3ODM>]  
20.7.2011.

/5/ Geo Center Oy, [WWW-dokumentti],  
[<http://geocente.shop.Centeroy,sigmatic.fi/product/8/stonex-r9-autolock-alv-0>]  
5.10.2011.

/6/ Geotrim oy, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.geotrim.fi/Tuoteryhma.asp?ID=376>  
5.10.2011.]

/7/ Hydraforce Hydraulic LTD, [WWW-dokumentti],  
[<http://www.hydraforce.com/electro/Elec-pdf/3-440-1.pdf>]  
21.10.2011.

/8/ Ilmatieteen laitos, [WWW-dokumentti],  
[<http://ilmatieteenlaitos.fi/ilmakeha-ja-saailmiot>]  
14.9.2011.

/9/ Ilmatieteen laitos, [WWW-dokumentti],  
[<http://ilmatieteenlaitos.fi/ionosfaari>]  
14.9.2011.

/10/ Ingres, Arduino, [WWW-dokumentti],  
[[http://www.google.fi/imgres?q=arduino+pwm&um=1&hl=fi&biw=1280&bih=668&tbm=isch&tbnid=jPjQy4sqF4DBmM:&imgrefurl=http://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM&docid=X\\_2wytIXyDv\\_WM&w=400&h=438&ei=sqFrTvuDBozdsgbd19DwBA&zoom=1&iact=hc&vpx=188&vpy=86&dur=2579&hovh=235&hovw=215&tx=114&ty=107&page=1&tbnh=165&tbnw=151&start=0&ndsp=15&ved=1t:429,r:0,s:0](http://www.google.fi/imgres?q=arduino+pwm&um=1&hl=fi&biw=1280&bih=668&tbm=isch&tbnid=jPjQy4sqF4DBmM:&imgrefurl=http://www.arduino.cc/en/Tutorial/PWM&docid=X_2wytIXyDv_WM&w=400&h=438&ei=sqFrTvuDBozdsgbd19DwBA&zoom=1&iact=hc&vpx=188&vpy=86&dur=2579&hovh=235&hovw=215&tx=114&ty=107&page=1&tbnh=165&tbnw=151&start=0&ndsp=15&ved=1t:429,r:0,s:0)]  
20.7.2011.

/11/ Ingres, Greenwich, [WWW-dokumentti],  
[[http://www.google.fi/imgres?q=greenwich+longitude&hl=fi&gbv=2&biw=1280&bih=668&tbm=isch&tbnid=OJgJbgPTQ1pwfM:&imgrefurl=http://www.factmonster.com/dk/encyclopedia/mapping.html&docid=4gHida11t7EbsM&w=502&h=285&ei=NnOKTu7-Bo\\_ssgbT0sCbAg&zoom=1&iact=rc&dur=500&page=4&tbnh=106&tbnw=186&start=55&ndsp=18&ved=1t:429,r:17,s:55&tx=39&ty=55](http://www.google.fi/imgres?q=greenwich+longitude&hl=fi&gbv=2&biw=1280&bih=668&tbm=isch&tbnid=OJgJbgPTQ1pwfM:&imgrefurl=http://www.factmonster.com/dk/encyclopedia/mapping.html&docid=4gHida11t7EbsM&w=502&h=285&ei=NnOKTu7-Bo_ssgbT0sCbAg&zoom=1&iact=rc&dur=500&page=4&tbnh=106&tbnw=186&start=55&ndsp=18&ved=1t:429,r:17,s:55&tx=39&ty=55)]  
28.9.2011.

/12/ Ingres, Satelliittigeometria, [WWW-dokumentti],  
[[http://www.google.fi/imgres?q=satelliittigeometria&um=1&hl=fi&biw=1280&bih=668&tbm=isch&tbnid=XkrBe9l2R4UawM:&imgrefurl=http://fi.wikipedia.org/wiki/Satelliittipai\\_kannus&docid=iBrMUE0AqZCh2M&w=220&h=211&ei=oJhsTqiACo2VswaTrJiYAAQ&zoom=1&iact=hc&vpx=232&vpy=219&dur=1681&hovh=168&hovw=176&tx=52&ty=70&page=1&tbnh=168&tbnw=176&start=0&ndsp=15&ved=1t:429,r:5,s:0](http://www.google.fi/imgres?q=satelliittigeometria&um=1&hl=fi&biw=1280&bih=668&tbm=isch&tbnid=XkrBe9l2R4UawM:&imgrefurl=http://fi.wikipedia.org/wiki/Satelliittipai_kannus&docid=iBrMUE0AqZCh2M&w=220&h=211&ei=oJhsTqiACo2VswaTrJiYAAQ&zoom=1&iact=hc&vpx=232&vpy=219&dur=1681&hovh=168&hovw=176&tx=52&ty=70&page=1&tbnh=168&tbnw=176&start=0&ndsp=15&ved=1t:429,r:5,s:0)]  
19.9.2011.

/13/ Indexator Ab, [WWW-dokumentti],  
[www.indexator.se]12.5.2011.

/14/ Indexator Ab, [WWW-dokumentti],  
[http://www.indexator.se/default.asp?id=4412&ptid=&column=Namn&value=RT+40B+B  
18-B18%2C+Multi-B18] 17.6.2011.

/15/ Indexator Ab, [WWW-dokumentti],  
[http://multi.mediapaper.nu/?PubId=33E8075E9970DE0CFEA955AFD4644BB2]  
17.6.2011.

/16/ Laurila Pasi, Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet, 2. Painos, Tornion kirjapaino,  
2008.

/17/ Maanmittauslaitos, [WWW-dokumentti],  
[http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/koordinaatit/3d-koordinaatistot]  
8.8.2011.

/18/ Maanmittauslaitos, [WWW-dokumentti],  
[http://www.maanmittauslaitos.fi/toiminta]  
8.8.2011.

/19/ Miettinen Samuli, GPS - käsikirja, 3. Painos, WS Bookwell oy, 2006.

/20/ Mitre Corporation, [WWW-dokumentti],  
[http://www.mitrecaasd.org/proj\_images/satnav/segment.gif]  
18.6.2011.

/21/ Novatron Oy, [WWW-dokumentti],  
[http://www.novatron.eu/fi/vision3d.html]  
21.5.2011

/22/ Novatron Oy, [WWW-dokumentti],  
[http://www.novatron.fi/fi//downloads] 21.5.2011

/23/ Poutanen Markku, GPS-paikanmääritys, Karisto Oy, 1998.

/24/ Puolustusvoimat, [WWW-dokumentti],

[<http://www.puolustusvoimat.fi/wcm/658d1080428c8d79900bd2e60feb2862/PVTTJulkaisu12.pdf?MOD=AJPERES>] 11.5.2011

/25/ Ursa ry, [WWW-dokumentti],

[<http://www.ursa.fi/wiki/uploads/SatelliittiOpas/inklinaatio.jpg>]

15.10.2011

/26/ Wiki, Metropolia AMK, [WWW-dokumentti],

[<http://wiki.metropolia.fi/pages/viewpage.action?pageId=12160522>]

28.5.2011