

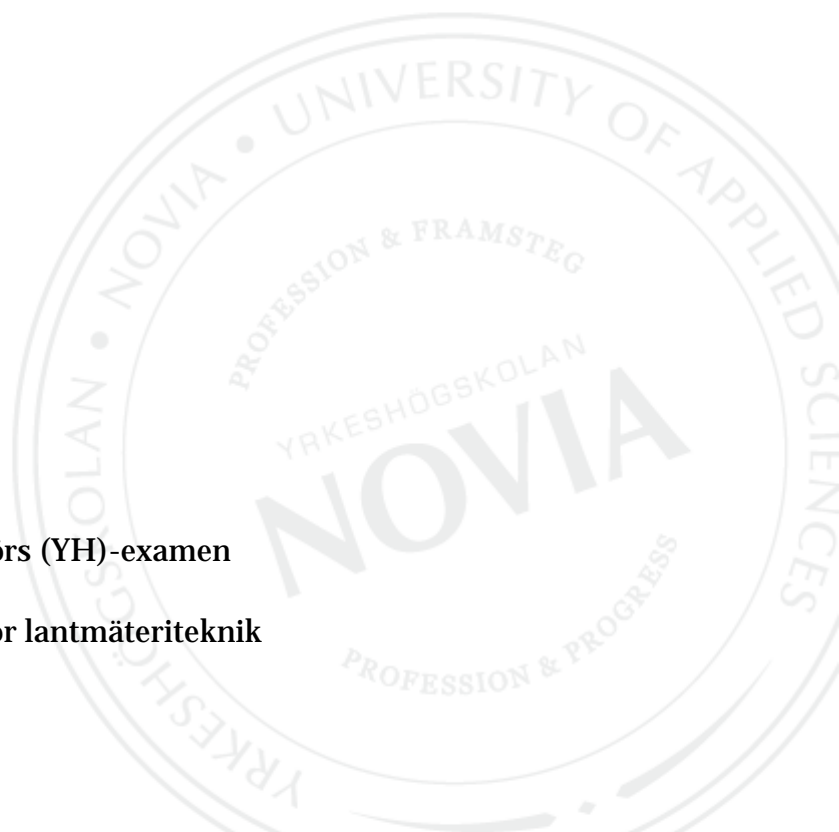
# **Utvärdering av maskinstyrning**

Tommy Åbacka

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för lantmäteriteknik

Vasa 2011



## EXAMENSARBETE

Författare: Tommy Åbacka

Utbildningsprogram och ort: Lantmäteriteknik, Vasa

Handledare: Sem Timmerbacka

Titel: *Utvärdering av maskinstyrning*

---

Datum 24.5.2011

Sidantal 47

---

### Abstrakt

Arbetet gjordes åt Ab Ostromap Oy och behandlar maskinstyrning inom jordbyggnadsbranschen och dess olika områden. Syftet med arbetet var att undersöka hur ett maskinstyrningssystem är uppbyggt och hur man går till väga vid ett projekt där maskinstyrning används, vilka utmaningar som där finns och vad man bör tänka på när man skapar referensmodeller till jordbyggnadsprojekt.

För att få en inblick i detta gjordes en fördjupning i Scanlasers 3D-system för grävmaskiner, hur det är uppbyggt och vilka möjligheter som finns med det. En undersökning hur man kan skapa referensmodeller till maskinstyrningssystem gjordes i programmen Geo och 3D-Win. Personer som kommit i kontakt med maskinstyrning intervjuades för att få en uppfattning om hur det är att använda maskinstyrningssystem i det verkliga livet.

Enligt utredningen är maskinstyrning ett välutvecklat och bra hjälpmedel inom jordbyggnadsbranschen som bidrar med sådana fördelar som t.ex. förbättrad kvalitet och minskade kostnader. Att skapa referensmodeller kan vara en tidskrävande process, beroende på projektets art och hur utgångsritningarna skapats. I intervjuerna kom det fram att användning av systemet i praktiken fungerar bra, men att det också har sina svaga sidor.

---

Språk: svenska

Nyckelord: maskinstyrning, positionering, referensmodell

---

Förvaras: webbiblioteket Theseus.fi

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Tommy Åbacka

Kolitusohjelma ja paikkakunta: Maanmittaustekniikka, Vaasa

Ohjaaja: Sem Timmerbacka

Nimike: *Koneohjauksen arviointi*

---

Päivämäärä 24.5.2011

Sivumäärä 47

---

### Tiivistelmä

Opinnäytetyö tehtiin Ab Ostromap Oy:lle ja käsittelee koneohjausta maanrakentamisteollisuudessa ja sen eri alueilla. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten koneohjausjärjestelmä on rakennettu ja miten edetä projektissa, jossa käytetään koneohjausta. Tavoitteena oli myös selvittää minkälaisia haasteita siinä on ja mitä pitäisi ajatella, kun luodaan referenssimalleja maanrakentamisprojekteihin.

Jotta saadaan käsitys tästä, tehtiin syvempi tutkimus Scanlaserin kaivinkoneille tarkoitettu 3D-järjestelmästä, miten se on rakennettu ja minkälaisia mahdollisuuksia sillä on. Tutkimus siitä, miten luodaan referenssimalleja koneohjausjärjestelmiin, tehtiin 3D-Win ja Geo ohjelmissa. Ihmisiä, jotka ovat olleet yhteydessä koneohjaukseen, haastateltiin, jotta saataisiin käsitys siitä, millaista on käyttää koneohjausjärjestelmää tosielämässä.

Tutkimuksen mukaan koneohjaus on hyvin kehittynyt ja hyödyllinen työkalu maanrakentamisteollisuudessa, joka tuo mukanaan sellaisia etuja kuten parannettu laatu ja alennetut kustannukset. Referenssimallien luominen voi olla aikaa vievä prosessi, riippuen projektin luonteesta ja siitä, miten alkupiirustukset on luotu. Haastatteluissa ilmeni, että järjestelmä toimii käytännössä hyvin, mutta sillä on myös heikkoutensa.

---

Kieli: ruotsi      Avainsanat: koneohjaus, paikannus, referenssimalli

---

Arkistoidaan: verkkokirjastossa Theseus.fi

## BACHELOR'S THESIS

Author: Tommy Åbacka  
Degree programme: Land Surveying  
Supervisor: Sem Timmerbacka

Title: *Evaluation of machine control*

---

Date 24.5.2011

Number of pages 47

---

### **Abstract**

The Bachelor's thesis work was done for Ab Ostromap Oy and deals with machine control in the earthmoving industry and its different areas. The purpose of this study was to examine how a machine control system is constructed and how you proceed in a project where machine control is used, what kind of challenges there are and what you should think about when creating reference models for soil building.

To get a glimpse of this a deeper study was made of Scanlaser's 3D-system for excavators, to see how it is structured and what kind of possibilities there are with it. A study of how you create reference models for machine control systems was made in the 3D-Win and Geo programs. People who have been in contact with machine control were interviewed with the purpose of getting an idea of how you use machine control systems in real life.

The study shows that machine control is a well developed and useful tool in the civil engineering industry, which contributes to advantages such as improved quality and reduced costs. Creating reference models can be a time consuming process, depending on the nature of the project and on how the output drawings are created. The interviews revealed that using the system in practice works well, but it also has its weaknesses.

---

Language: Swedish      Key words: machine control, positioning, reference model

---

Filed at the web library Theseus.fi

# Innehållsförteckning

ABSTRAKT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	Inledning.....	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Syfte.....	2
1.3	Avgränsning.....	2
1.4	Metod.....	2
2	Tidigare forskning .....	3
2.1	Kai Niemeläs examensarbete.....	3
2.2	Heikki Lehkonens examensarbete .....	3
2.3	Stefan Svenssons examensarbete.....	4
2.4	Jesper Davidssons och Andreas Karremos examensarbete .....	4
2.5	Sammanfattning .....	5
3	Positionering.....	5
3.1	Allmänt om positionering .....	5
3.2	GNSS .....	6
3.2.1	GPS.....	6
3.2.2	GLONASS.....	6
3.2.3	Galileo .....	7
3.2.4	Satellitpositioneringsmetoder .....	7
3.2.5	Felkällor vid GNSS-mätning.....	9
3.3	Takymeter .....	10
3.4	Laser.....	11

3.5	Allmänt om maskinstyrning.....	12
3.5.1	Användningsområden.....	14
3.5.2	Fördelar.....	14
3.5.3	Tillverkare .....	15
3.5.4	Maskiner .....	15
3.6	Grävmaskin.....	16
3.6.1	Enfallsgrävsystem.....	16
3.6.2	Tvåfallsgrävsystem.....	17
3.6.3	Grävsystem i 3D .....	17
3.7	Bandschaktare.....	18
3.7.1	Manuella system.....	18
3.7.2	Självjusterande system .....	18
3.7.3	3D-system.....	19
3.8	Väghyvel.....	19
3.8.1	2D-system.....	20
3.8.2	3D-system.....	20
4	Scanlasers 3D-system för grävmaskin.....	21
4.1	Komponenter.....	21
4.2	Allmänt om UMC 3D .....	22
4.3	Dataformat i UMC 3D .....	23
4.3.1	Referensmodeller.....	23
4.3.2	Övriga format .....	25
4.4	Bestämning av en grävmaskins geometri .....	26
4.4.1	Inmätning av grävmaskinsgeometri med GeoPad.....	26
4.4.2	Utförande.....	27
4.5	Positioneringsprincip i UMC 3D .....	28
4.5.1	Inmatning av inmätta värden i UMC 3D.....	29
4.6	Enkla referensmodeller i UMC 3D.....	31

4.7	Skapande av referensmodeller .....	32
4.7.1	Allmänt .....	32
4.7.2	Skapande av modell i Geo .....	33
4.7.3	Skapande av modell i AutoCAD och 3D-Win .....	36
4.8	Uppdatering av modell på redan grävt område.....	39
4.9	Behov av annan höjdreferens än GNSS.....	40
4.10	Tillvägagångssätt vid nytt projekt.....	40
5	Intervjuer .....	41
5.1	Skolning .....	42
5.2	Kunskap .....	42
5.3	Utmaningar för att skapa problemfritt projekt .....	43
5.4	Utgångsmaterial .....	43
5.5	Utrustning .....	44
5.6	För- och nackdelar .....	44
5.7	Noggrannheten i systemen.....	45
5.8	Maskinisters åsikter och olika typer av projekt .....	45
6	Slutsats.....	46
6.1	Förslag till vidare forskning.....	47
7	Källförteckning.....	48

# 1 Inledning

Maskinstyrning för entreprenadmaskiner fungerar som ett positioneringsstöd i en, två eller tre dimensioner och användningen av maskinstyrningssystem blir allt vanligare ute på arbetsplatserna. Systemen använder sig av mätinstrument såsom GNSS, takymeter eller laser för att kunna guida eller styra olika typer av maskiner. Användning av maskinstyrning ger en rad fördelar som t.ex. minskad utsättning, färre yrkesarbetare och mindre schaktmängder, vilket bidrar till att kostnaderna för ett projekt minskar. Detta examensarbete kommer att beskriva möjliga system som finns tillgängliga för de vanligaste entreprenadmaskinerna, nämligen grävmaskin, bandschaktare och väghyvel, samt så kommer stegen från planerarens ritningar till en färdig fungerande helhet på arbetsområdet att behandlas.

## 1.1 Bakgrund

Maskinstyrning har utvecklats och blivit vanligare på senare år, därför har man inom den traditionella mätningen reagerat på detta då den nya tekniken bildar en möjlig konkurrenssituation mellan traditionell mätning och maskinstyrning. Ab Ostromap Oy har bett mig göra en rapport om hur maskinstyrningssystem fungerar och hur man går till väga vid ett maskinstyrningsprojekt, främst gällande de mätningstekniska frågorna. Eftersom företaget hittills inte kommit i kontakt med den nya tekniken och den eventuellt kommande konkurrenssituationen kan förutsättningarna för en möjlig tilläggsprodukt i företagets produktsortiment kartläggas i och med detta examensarbete.

Förslaget att behandla maskinstyrning i mitt ingenjörsarbete kom från min uppdragsgivare Ab Ostromap Oy med initiativ av Stefan Hagman under min praktikperiod sommaren 2010. Beslutet att tacka ja till denna typ av projekt var inte svårt eftersom tekniken runt maskinstyrning är intressant och behandlar flera olika områden, samt därför att maskinstyrning var för mig personligen en helt ny bekantskap.



## 1.2 Syfte

Syftet med denna rapport är att öka förståelsen om maskinstyrning och dess olika områden. Med en betoning på att förstå skeden mellan planerarens ritningar till färdig modell i maskinen, vad som krävs för att kunna skapa ritningar för maskinstyrning och vilka problem som där finns. Ytterligare en orsak till detta arbete är att jag som snart ska ut i arbetslivet får en ökad kunskap om ämnet maskinstyrning. Eftersom den traditionella utsättningen på större anläggningsentreprenader kommer att bli mindre i framtiden är kunskap inom området viktigt i ett jobb ute i produktionen.

## 1.3 Avgränsning

I teoridelen kommer olika positioneringsmetoder att beskrivas samt olika maskinstyrningssystem för de vanligaste entreprenadmaskinerna. Som fördjupning kommer Scanlasers 3D-system att behandlas, med inriktning på grävmaskin eftersom det är den vanligaste entreprenadmaskinen. Det innebär att det kommer att finnas en genomgång av hur man går till väga för att använda deras system, vilken utrustning som behövs och hur man skapar modellen som används i maskinen. I rapporten kommer inte ekonomiska frågor att lyftas fram.

## 1.4 Metod

Eftersom tillgången till akademisk litteratur inom ämnet är begränsad har till största delen broschyrmaterial, Internet och intervjuer använts för informationsinhämtning. Personer som arbetat med maskinstyrning har intervjuats och deras åsikter i ämnet kommer att presenteras. Även olika program som behövs för att skapa referensmodeller har fungerat som källor.

## **2 Tidigare forskning**

### **2.1 Kai Niemeläs examensarbete**

I Kai Niemeläs ingenjörarbete var uppgiften att forska i maskinstyrningens noggrannhet, användbarhet, tillförlitlighet och nyttan med att använda tekniken inom jordbyggnads- och grävarbeten. Noggrannheten kontrollerades genom att mäta höjder på ett schaktområde före och efter att ett maskinstyrningssystem monterats på en grävmaskin. Information om maskinstyrningens användbarhet redde ut genom att personer som kommit i kontakt med maskinstyrning svarade på ett frågeformulär. Noggrannheten på höjden och tillförlitligheten i grävsystem med GNSS-positionering konstaterades vara bra om man jämför med toleranser inom grävarbeten. Enligt frågeformulären kom det fram att de som använt maskinstyrning tyckte att systemet var nödvändigt och inverkade positivt på arbetsmotivationen, eftersom maskinisterna alltid hade de rätta höjderna att arbeta med. Utrustningen ansågs vara enkel att använda för det mesta, men även problem förekom. Dessa problem skulle kunna förebyggas genom att installera utrustningen med omsorg och ordna tillräckligt med skolning för de som ska använda systemet. (Niemelä, 2009)

### **2.2 Heikki Lehkons examensarbete**

Heikki Lehkonen har i sitt diplomarbete bl.a. behandlat fördelar och nackdelar med 3D-maskinstyrning i grävmaskiner. Hur arbetsledningen, mätningsspersonalen och maskinisterna bör utbildas för att kunna använda systemet och hur man gör modeller till 3D-styrdatorena behandlades också till en del. I rapporten kom det fram att 3D-maskinstyrning till största delen fungerar bra, även om utrustningen inte alltid fungerade helt felfritt. I vissa av de på arbetsplatserna undersökta systemen förekom funktionsavbrott, men till dessa problem hittades ingen förklaring. Satellitpositionering med RTK-teknik visade sig ha tillräckligt hög noggrannhet för grävmaskinsarbeten, men man bör komma ihåg att GNSS inte fungerar överallt pga. hinder som skymmer sikten, där kan användning av takymeter vara det enda alternativet. Ibrukttagandet av systemet kräver en del utbildning

av personalen och maskinisterna bör göra en del ändringar i sina arbetsrutiner. Systemet ersätter inte maskinisternas skicklighet, men är till stor hjälp. Den största fördelen med maskinstyrning är den minskade utsättningen, men även en mera effektiv användning av grävmaskinerna ansågs vara viktigt. Modelleringen kan ta lång tid, men nyttan syns i att maskinisterna hela tiden har tillgång till materialet och utsättningsbehovet minskar kraftigt. (Lehkonen, 2008)

### **2.3 Stefan Svenssons examensarbete**

Stefan Svensson har i sitt examensarbete forskat i om det går att uppnå samma nytta på mindre jordbyggnadsprojekt som på större. Undersökningen har gjorts genom intervjuer av produktionschefer, mätningstekniker och maskinister ute på arbetsplatser. För att få en kostnadsuppfattning har en jämförelse gjorts på ett schakt, projektet gjordes utan maskinstyrning. En kostnadskalkyl gjordes på projektet både med och utan maskinstyrning, enligt kalkylen skulle maskinstyrning bidra till lägre kostnader. De intervjuade visade sig vara positiva till att börja använda maskinstyrning på mindre projekt, men enligt dem finns det problem med bristande kunskap om hur man enkelt gör den teoretiska modellen och dålig kunskap inom maskinstyrning. Enligt rapporten är maskinstyrningstekniken idag tillräckligt utvecklad för att användas på mindre områden. För att få fler användare bör några saker förbättras, nämligen: kompetensen om hur den teoretiska modellen skapas, GNSS-förberedda maskiner, satellittäckningen och maskinisternas kompetens. (Svensson, 2008)

### **2.4 Jesper Davidssons och Andreas Karremos examensarbete**

I Jesper Davidssons och Andreas Karremos examensarbete var uppgiften att analysera brister och svårigheter inom maskinstyrning. Analysen utfördes genom att jämföra projekt där maskinstyrning fungerat bra med sådana projekt där det inte fungerat så bra. Genom att studera dessa projekt kom de fram till tre punkter som är av stor vikt vid maskinstyrning. Dessa punkter är underlag i form av ritningar, kommunikation mellan aktörer och yttre omständigheter som skog och byggnader. Enligt Davidsson och Karremo fungerar maskinstyrning bra och har goda utvecklingsmöjligheter, dock bör användaren ha god

kunskap om de processer som finns inom maskinstyrning för att ha en uppfattning om var problem uppstår och vad man kan göra för att förhindra att sådana sker. (Davidsson & Karremo, 2010)

## **2.5 Sammanfattning**

I den tidigare forskningen kommer det fram att maskinstyrning inom jordbyggnadsbranschen är ett bra och fungerande hjälpmedel, men det har även sina brister. Noggrannheten på satellitpositioneringen är tillräcklig för jordbyggnadsprojekt. I de fyra examensarbetena dök det inte upp användarupplevelser där takymeter skulle ha använts som positioneringsmetod, även om det i vissa fall är enda alternativet. Det mest positiva med tekniken är minskad utsättning, arbetet blir mera effektivt och man undviker att schakta för mycket. Det är dock inte bara att investera i ett 3D-maskinstyrningssystem och börja använda det, de kommande användarna behöver skolning för att behärska systemet och uppgörande av referensmodeller är en tidskrävande uppgift.

## **3 Positionering**

### **3.1 Allmänt om positionering**

En grundförutsättning för att tredimensionella maskinstyrningssystem ska fungera är positionering av maskinen i plan och höjd. Enklare system som inte är 3D-system behöver inte alltid en positionering, utan en höjdreferens räcker. Positionering kan ske genom GNSS, takymeter eller planlaser. GNSS använder sig av satelliter för positionering. Takymetern orienterar sig genom att mäta avstånd och vinklar till kända punkter i terrängen. Med GNSS och takymeter går det att tredimensionellt styra en maskin, dvs. både i plan och höjd. En planlaser används för att ge en höjdreferens, inte för positionering i planet.

## 3.2 GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite Systems) är ett samlingsnamn för de olika satellitbaserade positioneringssystem som finns. Med hjälp av dylika system kan man navigera och bestämma positioner på jorden. Det finns flera olika GNSS-system, men de största är amerikanska GPS (Global Positioning System), ryska GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) och europeiska Galileo. (Engfeldt & Jivall, 2003, s. 4)

### 3.2.1 GPS

GPS är ett satellitbaserat navigations- och positionsbestämningssystem som är uppbyggt och förvaltas av det amerikanska försvaret. Projektet startades 1973 och blev klart för civil användning 1993. Systemet ger möjlighet till global positionsbestämning dygnet runt, oberoende av väder och i realtid. Dess uppbyggnad gör att det finns minst fyra satelliter tillgängliga jorden runt under 99,9 % av tiden. 24 satelliter garanteras av det amerikanska försvaret. Oftast finns det fler tillgängliga satelliter än så, t.ex. i april 2002 fanns det 27 st. Livslängden för dessa satelliter är specificerad till 7,5–10 år. (Engfeldt & Jivall, 2003, s. 5–9)

GPS-satelliterna har inklinationen 55 grader, dvs. kort uttryckt vilken latitud som satelliterna vänder vid. Detta motsvarar den danska ön Bornholms sydspets. Omloppstiden är 11 timmar och 57,97 minuter. Sett ur en användares synvinkel är GPS ett envägssystem, satelliterna sänder och användarna tar emot. Positionen som fås från GPS är i referenssystemet WGS-84. GPS-systemet är gratis att använda, dvs. det finns inga användaravgifter. (Engfeldt & Jivall, 2003, s. 5–9)

### 3.2.2 GLONASS

GLONASS är den ryska motsvarigheten till det amerikanska GPS. Systemet är uppbyggt och förvaltas av det ryska försvaret, projektet startade 1982. GLONASS är menat att innehålla 24 satelliter (21 + 3 i reserv). Med en medellivslängd på 4,5 år måste detta system fyllas på med nya satelliter betydligt oftare än GPS-systemet, vars satelliter har medellivslängden 7,5–10 år. GLONASS-satelliterna har inklinationen 64,8 grader, dvs. de

vänder strax söder om Uleåborg. Det innebär att GLONASS-satelliternas inklinations är mera gynnsam i Finland än vad GPS-satelliternas är. Omloppstiden är 11 timmar 15,73 minuter. (Engfeldt & Jivall, 2003, s. 9–11)

### **3.2.3 Galileo**

Galileo kommer att vara Europas egna globala satellitpositioneringssystem och blir kompatibelt med de två andra globala positioneringssystemen GPS och GLONASS. Galileo kommer att bestå av 30 satelliter (27 + 3 i reserv) och inklinationen kommer att vara 56 grader. Detta motsvarar ungefär latituden för Ölands sydspets i Sverige. EU (Europeiska Unionen) och ESA (European Space Agency) är ägare till detta projekt. (European Space Agency, 2010)

### **3.2.4 Satellitpositioneringsmetoder**

Det är i princip tiden det tar för signalen att gå från satelliten till mottagaren som mäts med en GNSS-mottagare. När man vet vilken utbredningshastighet satellitsignalen har, kan tiden omvandlas till avstånd. Genom att kombinera avståndsberäkningarna och satelliternas kända positioner kan mottagarens position bestämmas. Satelliternas positioner kan beräknas ur banddatainformation som kommer med satellitsignalen. Det finns två olika metoder för avståndsmätning mellan satellit och GNSS-mottagare, dessa är kodmätning respektive bärvågsmätning. (Engfeldt & Jivall, 2003, s. 13–14)

Den enklaste metoden för att positionsbestämma med satellitsystem kallas för absolut positionsbestämning, till detta behövs en GNSS-mottagare och mätning med minst fyra satelliter. Den här typen av positionsbestämning använder sig av kodmätning. Satelliterna sänder ut signaler som innehåller en kod, när den mottagna satellitsignalens kod jämförs med den kod som genererats i mottagaren framgår signalens gångtid, från vilken avståndet till satelliten kan räknas ut. Absolut positionsbestämning ger en noggrannhet under 10 m, vilket inte är tillräckligt för att kunna användas till maskinstyrning. (Lantmäteriverket, 28.1.2011)

För att få högre noggrannhet kan man använda sig av relativ mätning. Metoden baserar sig på att utnyttja satellitens bärvåg. Tillvägagångssättet kan förklaras som så, att GNSS-mottagarens position bestäms i förhållande till en känd punkt. Det behövs minst två mottagare för att man ska kunna mäta relativt, en på den kända punkten och en hos den som är ute och utför mätningen. För att få en korrigerad position måste man mäta till minst fyra gemensamma satelliter och då bildas det differenser mellan mätningarna av de båda punkterna, då kan de flesta felkällorna som försämrar mätnoggrannheten vid absolut mätning elimineras eller reduceras. De vanligaste metoderna som utnyttjar sig av relativ mätning är DGPS, RTK och statisk mätning. (Engfeldt & Jivall, 2003, s. 17)

Differentiell GPS eller DGPS innebär relativ kodmätning där man har en mottagare på en känd punkt, som med hjälp av skillnaden mellan den mätta positionen och den riktiga positionen kan beräkna korrektioner för avstånden till satelliterna. Dessa korrektioner sänds sedan till den rörliga mottagaren, vilken även kallas för rover. Noggrannheten för differentiell positionsbestämning är 0.5 – 5 m. (Engfeldt & Jivall, 2003, s. 17–18)

RTK står för Real Time Kinematic och betyder i praktiken relativ bärvågmätning i realtid. Det fungerar på det sättet att den rörliga mottagaren (rovern) tar emot bärvågsdata (korrektioner) från en mottagare som befinner sig på en position med kända koordinater och dessa data kombineras med rovers egna bärvågsdata. Rovern måste initialiseras, dvs. periodobekanta ska lösas för att fixlösning ska erhållas och detta kan göras på tre olika tillvägagångssätt, nämligen:

- känd punkt
- snabb statisk mätning
- ”flygande” bestämning av periodobekanta (OTF – On The Fly ambiguity resolution), kräver minst fem satelliter.

Vid introduktionen av RTK-tekniken var det vanligt att de två första metoderna användes vid bestämning av periodobekanta. Idag är flygande bestämning den mest använda metoden vid initialisering, dvs. när mottagaren är i rörelse. Tiden det går åt till initialiseringen är beroende av antalet satelliter, satellitgeometrin, avståndet till basstationen och mottagarens kvalitet, men tidsintervallet är allt från några 10-tal sekunder till några minuter. Om fixlösningen tappas måste den göras om. Noggrannheten vid den här typen av GNSS-mätningar är 1–3 cm i plan. (Engfeldt & Jivall, 2007, s. 34–35)

Under de senaste åren har den traditionella RTK-metoden blivit ersatt av nätverks-RTK-metoden som baserar sig på fasta basstationer. I Finland tillämpas detta genom en s.k. VRS-metod (Virtual Reference Station) och metoden går ut på att en virtuell basstation skapas i närheten av kartläggningsmottagaren (mätaren). Denna virtuella basstation bestäms med hjälp av observationer från det fasta basstationsnätet och avbildning av olika felkällor. (Lantmäteriverket, 28.1.2011)

Kortfattat går mätning med VRS-teknik till enligt följande. Mätaren sänder data om sin position via en GSM/GPRS-uppkoppling till VRS-datacentralen som skapar en virtuell basstation i närheten av mätarens position. Datacentralen placerar observationsdata från den närmaste belägna egentliga basstationen i den virtuella basstationen samt bestämmer och interpolerar de felkällor som påverkar mätningarna på den platsen där den virtuella basstationen finns. RTK-korrigeringar skickas från datacentralen till kartläggningsmottagaren som om de skulle komma från den virtuella basstationen. (Lantmäteriverket, 28.1.2011)

Mätning med ovanstående tillämpade nätverksmetod medför bättre noggrannhet än användning av traditionell RTK-teknik, eftersom man nästan helt kan eliminera felet som beror på avståndet mellan basstationen och kartläggningsmottagaren. Andra fördelar är inbesparingar av både tid och kostnader, eftersom det är möjligt att avstå från en egen basstation och dess uppställning. (Lantmäteriverket, 28.1.2011)

### **3.2.5 Felkällor vid GNSS-mätning**

Det finns flera olika faktorer som kan påverka på ett negativt sätt vid satellitbaserad positionsbestämning, dessa kallas för felkällor. Satellitens utbredningshastighet påverkas av jordatmosfärens jonosfär och troposfär, vilket leder till fel satellitavstånd. Jordens atmosfär utgör just nu den största felkällan. Jonosfären påverkas av solen och tycks variera i perioder på elva år. Flervägsfel är en felkälla som innebär att satellitsignalen inte kommer direkt till mottagaren utan reflekteras t.ex. via ett fönster och först då kommer till mottagaren, även detta ger fel i mätning av avståndet mellan satelliten och mottagaren. Satellitgeometrin påverkar mätningens noggrannhet, här menas satelliternas inbördes position i rymden. Satelliterna bör vara väl utspridda för att uppnå ett bra resultat. Satellitgeometris goda och dåliga sidor uttrycks matematiskt genom DOP-tal (Dilution Of



Precision). Det finns flera olika DOP-tal, desto mindre DOP-talen är desto mindre påverkar de noggrannheten vid mätningen. (Lantmäteriverket, 28.1.2011)

Andra möjliga felkällor är dålig signalkvalitet och satellitens banbestämningar (bandata). Signalkvaliteten säger hur dämpad eller störd satellitsignalen är av atmosfären eller miljön kring punkten och blir sämre när satelliten rör sig lågt över horisonten. Därför är det inte rekommenderat att använda sådana satelliter som ligger på en höjd under tio grader i förhållande till horisontalplanet. Satelliternas bandata sänds kontinuerligt i ett satellitmeddelande, dvs. information om satelliternas positioner. Utsända bandata är förutsedda och har ett medelfel på ca två meter, vilket medför fel i mätningarna som ökar med avståndet mellan basstationen och kartläggningmottagaren. (Engfeldt & Jivall, 2007, s. 40–47)

### **3.3 Takymeter**

Takymetern, även kallad totalstation, är en kombination av en teodolit (vinkelmätare) och en elektronisk avståndsmätare (EDM). En takymeter mäter elektroniskt och med hög precision horisontalvinklar, vertikalkvinklar och avstånd. Data som samlas in vid mätningen kan t.ex. förvandlas till koordinater i ett lämpligt koordinatsystem, samt avståndet och riktningen till en utsättningspunkt eller en referenslinje. (Mätniklas, 4.2.2011)

Den första takymetern kom år 1971. Takymetern utvecklades till att bli mera användbar och lättanvänd och år 1988 kom det första instrumentet med automatisk prismaålsning med aktivt prisma. Numera behövs det endast en person som mäter eftersom instrumentet kan styras på avstånd med hjälp av en radiolänk mellan instrumentet och styrenheten. Den första enmanstakymetern kom 1990. (Mätniklas, 4.2.2011)

Beroende på vilken modell av takymeter som används kan man endera mäta mot ett prisma eller mäta reflektorlöst. Ett prisma sitter vanligtvis på ett teleskopiskt rör som kan ändras längd på vid behov. Det finns även en typ av reflextejp som t.ex. kan fästas på en vägg och fungera som prisma. När man mäter reflektorlöst behövs inget prisma utan man kan direkt sikta mot föremålet man vill mäta, t.ex. mot en husvägg. (Mätniklas, 4.2.2011)

För att ha nytta av en takymeter på en arbetsplats behövs instrumentet orienteras med hjälp av kända referenspunkter ute i terrängen. Till orienteringen av instrumentet kan teknikerna

fri station och känd station användas. Vid användande av fri station bör man ha minst två punkter (helst flera) med kända positioner för att instrumentet ska kunna beräkna var det befinner sig i förhållande till de kända punkterna. Man mäter till de kända punkterna och instrumentet kan då räkna ut sin position och riktningsvinkel. Om man vill ha med höjd i mätningen så kan de kända punkterna ha höjd, om de inte har en känd höjd kan höjden tas från en höjdreferens som mäts in skilt. Desto fler referenspunkter som används desto större säkerhet har man i mätningen. Vid användning av känd station vid uppställning av instrumentet så placeras takymetern på en känd punkt och man mäter mot ett s.k. bakobjekt som också har kända koordinater. Eftersom båda punkterna har kända koordinater så kan instrumentet beräkna "vartåt den siktar" och är färdig att användas till den tänkta mätningen. Även flera bakobjekt kan användas för att få en bättre säkerhet i mätningen. (Mätniklas, 4.2.2011)

Med en takymeter kan man mäta nästa överallt om man har fri sikt mellan instrumentet och prismet. Det innebär att det har vissa fördelar jämfört med GNSS-mätning eftersom man inte är beroende av fri sikt mot skyn. Denna teknik medför hög noggrannhet (om utgångspunkterna är väl inmätta) och det är även möjligt att mäta i skog och inomhus. Med användning av reflektorlös teknik vid takymetermätning är det även möjligt att mäta in sådana objekt som är svåra att komma åt, t.ex. en skorsten på ett högt hus. Nackdelar med takymetermätning är att fri sikt inte alla gånger är så lätt att få, man bör ha fri sikt till utgångspunkterna och till det man ska mäta, dvs. tät skog och kuperad terräng kan ställa till problem. Det kan innebära att instrumentet måste flyttas för att man ska få mätt allt det som behövs kartläggas eller utsättas. Med tanke på maskinstyrning är styrning med takymeter mera noggrann än styrning med GNSS, men med GNSS har man större frihet eftersom man inte är beroende av utgångspunkter och fri sikt mellan instrumentet och maskinen. (Mätniklas, 4.2.2011)

### **3.4 Laser**

Laser används inom många olika områden, även inom anläggnings- och byggsidan har man nytta av laserns egenskaper. De olika typerna av laserinstrument som används inom anläggnings- och byggbranschen är bl.a. följande:

- planlaser

- enfalls- och tvåfallslaser
- rörläggingslaser.

En planlasers funktion kan beskrivas som så att lasern ger ut en ljussignal som roterar runt en axel, vanligtvis med rotationshastigheten 5–15 varv/sekund och bildar således ett plan. Denna ljussignal kan plockas upp av en mottagare som vanligtvis är fäst på en mätstång, mottagarens sensor läggs på den höjden så den träffas av ljusplanet. Med hjälp av detta instrument kan då höjder kontrolleras eftersom höjden nu är ”flyttbar”. (Mätniklas, 4.2.2011)

Enfalls- och tvåfallslaser kan beskrivas som avancerade modeller av en planlaser. Här är funktionsprincipen långt densamma, men förutom att ett plan bildas så kan en lutning ställas in på planet. Hos en enfallslaser finns ett plan som fallet kan ställas in på och hos tvåfallslasern kan två plan ställas in. Med tvåfallslasern måste dock de två olika planen vara vinkelräta mot varandra. Fallet kan ställas in med hög noggrannhet och är bra vid t.ex. rörläggning om man vill ha en viss lutning på rören. (Mätniklas, 4.2.2011)

Rörläggingslaser används som namnet säger vi rörläggingsarbeten och kan enkelt förklaras på följande sätt. Lasern placeras vanligtvis på eller in i det första röret som lagts på en sträckning eller i vattengången på en brunn och den skickar ut en laserstråle. En lös måltavla placeras sedan på följande rör som läggs för att dessa ska kunna positioneras rätt och få rätt lutning, följande rör justeras tills laserstrålen syns där man vill att den ska synas på måltavlan. (Mätniklas, 4.2.2011)

### **3.5 Allmänt om maskinstyrning**

Maskinstyrning inom jordbyggnadsbranschen innebär att olika entreprenadmaskiner styrs eller guidas av ett eller flera mätinstrument. Beroende på utrustning och behov kan maskinstyrningen ske i en dimension (höjd), i två dimensioner eller i tre dimensioner (plan + höjd). Möjliga positioneringskällor är GNSS, takymeter, laser eller en tidigare utsatt referenspunkt som används som utgångshöjd. Med användning av GNSS eller takymeter som positioneringskälla kan maskinen styras i tre dimensioner (3D). Laser ger endast möjlighet till guidning i höjddled. I de flesta maskiner styr föraren själv maskinen och använder systemet endast som hjälp för att kunna kontrollera hur man ligger till i plan eller

höjd i praktiken i förhållande till den teoretiska modellen. I maskiner såsom väghyvlar och bandtraktorer kan maskinens blad styras automatisk. (Rios mätteknik, 11.2.2011)

De enklaste maskinstyrningssystemen innehåller en laser och en mottagare. Mottagaren placeras på maskinens skopa eller blad och den roterande laserns stråle träffar mottagaren när skopan eller bladet är i närheten av rätt höjd. Mottagaren är försedd med pilar eller lampor som visar vartåt skopan eller bladet bör flyttas för att nå rätt höjd. Vid användning av denna teknik finns det inte möjlighet till automatiserad maskinstyrning utan maskinföraren gör själv de korrektioner som behövs. (Topgeo, läst 16.2.2011)

En mera avancerad teknik är automatiserad höjd- eller lutningssystem. Metoden gör att behovet av att kontrollera höjden manuellt försvinner. På bladet monteras två lasermottagare, en lasermottagare och en lutningssensor eller så kan också ultraljudsensorer användas. Dessa mottagare eller sensorer ”berättar” via en kontrollbox åt hydrauliksystemet på maskinen hur bladet bör flyttas i förhållande till en referens och bladet justeras automatiskt. Även om systemet blivit installerat kan maskinen fortfarande köras manuellt om så krävs. (Topgeo, 16.2.2011)

Normalt när ett område ska byggas, planeras och skapas en digital modell av området, en ritning. Denna teoretiska modell förflyttas till terrängen genom utsättning av olika markeringsobjekt. Den manuella utsättningen kan åtminstone delvis elimineras med användning av 3D-maskinstyrning. Enkelt förklarar fungerar 3D-maskinstyrning så att en digital modell av arbetsområdet sätts in i ett styrsystem i en typ av entreprenadmaskin, styrsystemet visar med hjälp av positioneringsinformation från endera GNSS eller takymeter, tillsammans med information från maskinens olika sensorer, hur skopan eller bladet ska flyttas för att få den eller det i rätt läge jämfört med den teoretiska modellen. Informationen visas inne i hytten på maskinen och skopans eller bladets position kan då justeras av föraren eller automatiskt som i vissa maskiner där hydrauliksystemet själv kan göra förflyttningen. GNSS-antennerna eller takymeterns prismor monteras på strategiska ställen på maskinen beroende på vilken maskin som används, detsamma gäller de olika sensorerna. (Topgeo, 16.2.2011)

### 3.5.1 Användningsområden

Maskinstyrningssystem kan användas inom flera olika typer av projekt, exempelvis inom följande: (Svensk Byggnadsgeodesi, 21.2.2011)

- vägbyggen
- järnvägsbyggen
- industriprojekt
- rörledningsarbeten
- byggprojekt
- andra projekt där jordschaktning ingår.

### 3.5.2 Fördelar

Användning av maskinstyrning ger bl.a. följande fördelar jämfört med traditionell utsättning: (Svensk Byggnadsgeodesi, 21.2.2011)

- Endast begränsad utsättning behövs.
- Ökad kapacitet.
- Ökad möjlighet att arbeta i mörker och dimma.
- Mindre personalkrävande.
- Risk för fel reduceras eftersom den manuella datahanteringen minskar.
- Produktionshastigheten ökar.
- Behovet av markeringsmaterial så som stakkäppar och färg minskar betydligt.
- Förbättrad noggrannhet.
- Ökad säkerhet eftersom runt maskinen befinner sig färre människor.

### 3.5.3 Tillverkare

Idag finns det flera olika tillverkare av maskinstyrningssystem på marknaden. Nedan följer en del av dem: (Svensk Byggnadsgeodesi, 21.2.2011)

- Prolec
- Mikrofyn
- Novatron
- Spectra Precision
- Topcon
- Gomaco
- Lko
- Plasser & Theurer
- Axiomatic BPS
- Trimble
- Wirtgen.

### 3.5.4 Maskiner

Här följer olika maskintyper som olika former av maskinstyrning kan användas på: (Svensk Byggnadsgeodesi, 21.2.2011)

- grävmaskin
- bandschaktare
- väghyvel
- asfaltläggare
- asfaltfräs

- betongläggare
- hjullastare
- spårutläggmaskiner
- spårriktningsmaskiner
- spårinmätningssvagn
- muddringsverk.

### **3.6 Grävmaskin**

Vid användning av maskinstyrningssystem tillsammans med grävmaskin finns det fyra olika möjligheter att tillgå. Beroende på behov och krav kan man välja bland enfalls-, tvåfalls-, tilt- och 3D-system. (Scanlaser broschyr, Effektiv maskinstyrning, s. 3)

#### **3.6.1 Enfallsgrävsystem**

Ett enfallssystem i en grävmaskin kan bestå av tre vinkelsensorer och en kontrollbox. De tre vinkelsensorerna placeras på maskinens bom, sticka och skopfäste. Den sensor som sitter på stickan har en inbyggd lasermottagare. Höjden till systemet nollställs genom ett laserplan eller en fysisk höjdreferens, t.ex. kantsten. Den önskade höjden och lutningen ställs in i kontrollboxen och denna typ av system visar lutning endast i en riktning. Om du ligger för högt eller för lågt med skopan visas detta genom en pildisplay. Tekniken kan användas t.ex. vid släntarbeten, rörläggning och undervattensarbeten. (Scanlaser broschyr, Effektiv maskinstyrning, s. 4–5)

### 3.6.2 Tvåfallsgrävsystem

Ett tvåfallsgrävsystem har förutom de komponenter som ett enfallssystem har, också en svängsensor, sensorer för både längd och tvärfall och i vissa fall också en tiltsensor. Svängsensorn eller ”kompassen” på maskinen placeras på motvikten på maskinen och den behövs för att systemet ska minnas riktningen på lutningen. Fördelen med det är att du kan flytta maskinen utan att systemet tappar riktningen. Längd- och tvärfallssensorerna registrerar hur grävmaskinen lutar och kompenserar för detta. Det betyder att du kan gräva med rätt lutning och höjd även när maskinen står på ojämn mark. Till systemet kan även en tiltsensor monteras. Den berättar åt grävsystemet hur skopan är tiltad och kompenserar för höjdfel som detta medför. Korrekt tiltning av skopan visas för maskinisten. Sensorn används om maskinen är försedd med tiltskopa, används med fördel vid schaktning i slänt eller dike. Tvåfallssystem kan användas där enfallssystem används men möjligheten till två lutningar gör systemet mera användbart. (Scanlaser broschyr, Effektiv maskinstyrning, s. 6–7)

### 3.6.3 Grävsystem i 3D

Tekniken i ett 3D-system är enkelt sagt ett avancerat tvåfallssystem. Till tvåfallssystemet läggs till komponenter som möjliggör positionering. Detta förverkligas endera genom GNSS-mottagare samt antenn som placeras på maskinen eller användning av takymeter (placerad på marken inom synhåll för maskinen) och ett prisma som är monterat på maskinen. I hytten på grävmaskinen monteras en styrdator som endera kan vara samma enhet som kontrollboxen eller en skild enhet, beroende på vilken tillverkares system som används. Datorn får positioneringsinformation av endera GNSS eller takymeter och information om skopans läge av grävsystemet. Dessa data matchas mot den digitala modellen och styrdatorn visar hur du bör gräva för att komma till rätt nivå. (Scanlaser broschyr, Effektiv maskinstyrning, s. 8–9) Om GNSS används finns möjlighet till både enkel och dubbel GNSS-antenn, fördelen med dubbla antenner är att styrdatorn då alltid vet i vilken riktning maskinen står. Användning av en antenn gör att maskinföraren måste



rotera maskinen när denna flyttas på arbetsområdet så att styrsystemet får reda på riktningen. (Emtö & Tanhuanpää, 2010, s. 10)

### **3.7 Bandschaktare**

En bandschaktares maskinstyrningssystem innehåller inte lika många sensorer som en grävmaskin eftersom där finns färre rörliga delar. Möjliga system är bl.a. manuella, automatisk höjjustering och 3D-system. (Mikrofyn, 1.3.2011)

#### **3.7.1 Manuella system**

Med ett manuellt system menas att maskinisten själv måste ställa bladet på maskinen. I enklare maskinstyrningssystem på bandschaktare kan följande komponenter användas: kontrollbox, lasermottagare, tvärfallsensor och en tvåfallslaser. Kontrollboxen placeras inne i hytten på maskinen så att maskinisten kan se den. På bladet placeras en mast som lasermottagaren är fäst på, även tvärfallssensorn placeras på bladet. Masterna kan vara endera så att man ställer in höjden manuellt eller så är de självjusterande. Höjden på masterna måste ställas in för att de ska vara i höjd med laserplanet när maskinen rör sig i terrängen. På arbetsområdet placeras lasern så att laserplanet når maskinen. Lasermottagaren och tvärfallssensorn överför data åt kontrollboxen som visar information åt maskinföraren i kontrollboxens display. En annan lösning för ett manuellt system är att man istället för en lasermottagare och en tvärfallssensor har två lasermottagare. Båda tillvägagångssätten ger information om bladets lutning till kontrollboxen. (Mikrofyn, 1.3.2011)

#### **3.7.2 Självjusterande system**

Med självjusterande system avses att data sänds till det självjusterande hydrauliksystemet och hydrauliksystemet justerar bladets läge, kontrollboxen räknar ut med hjälp av information från sensorerna hur bladet bör flyttas för att nå den inprogrammerade och

önskade höjden. Här behövs en automatisk hydraulstyrningsenhet kopplas till maskinen. De övriga komponenterna kan vara likadana som i de manuella systemen. Om man använder systemet med en lasermottagare och en tvärfallsensor så måste maskinisten köra i samma riktning som lutningen, med två lasermottagare är det möjligt att köra i alla riktningar. (Mikrofyn, 1.3.2011)

### **3.7.3 3D-system**

Med tredimensionell maskinstyrning på en bandschaktare behövs inte någon laser eller lasermottagare. Styrsystemet får information om både maskinens position i plan och höjd genom GNSS eller takymeter. I stället för lasermottagare placeras en GNSS-antenn eller ett prisma på maskinens blad. Annars är upplägget av komponenter likt de två föregående systemen, en styrdator behövs som visar både grafiskt och teoretiskt hur man ligger till jämfört med den teoretiska modellen som finns som referensmodell i styrdatorn. Styrning med takymeter används när hög precision behövs, GNSS ger inte lika hög noggrannhet. (Mikrofyn, 1.3.2011)

Det finns även system med två GNSS-antennor där båda antennerna placeras på bladet. Då behövs ingen tvärfallsensor, bladets lutning fås direkt från de båda antennernas koordinatdifferens i höjddled. (Trimble, 1.3.2011)

## **3.8 Väghyvel**

Grundprincipen för maskinstyrningen på väghyvlar är den samma som på både grävmaskin och bandschaktare, dock skiljer sig utrustningen något. På väghyvlar finns ofta flera blad, men det är det som är placerat mitt under maskinen som använder sig av maskinstyrning. Förutom de tidigare nämnda höjdreferenskällorna laser, takymeter och GNSS, kan här användas ultraljudssensorer som visar hur man ligger till i höjddled. Möjliga lösningar är styrning i 2D och 3D. (Scanlaser, 1.3.2011)

### 3.8.1 2D-system

2D-system hos väghyvlar har ganska långt samma upplägg som bandschaktarsystem där sensorer och dylikt placeras på bladet. Ytterligare sensorer som används är bladsensor, rotationssensor, längdfallssensor och ultraljudsensor. Bladsensorn fungerar som bandschaktarens tvärfallssensor och känner av bladets lutning i maskinens tvärled. Rotationssensorn innehåller en potentiometer som känner av bladets rotationsvinkel. Längdfallssensorn placeras på ramen och mäter lutning i maskinens längdled. Ultraljudsensorn mäter avstånd med hög precision, den placeras på bladet och mäter avståndet till höjddreferenser som t.ex. kantstenar eller ett uppspant snöre. Även här kan hydrauliken styras automatiskt beroende på vilket system som används. Det finns flera olika tillvägagångssätt, på bladet kan placeras två ultraljudsensorer, endast en lasermottagare, en ultraljudsensor och en lasermottagare och även användning av två lasermottagare är en möjlighet. (Scanlaser, 1.3.2011)

### 3.8.2 3D-system

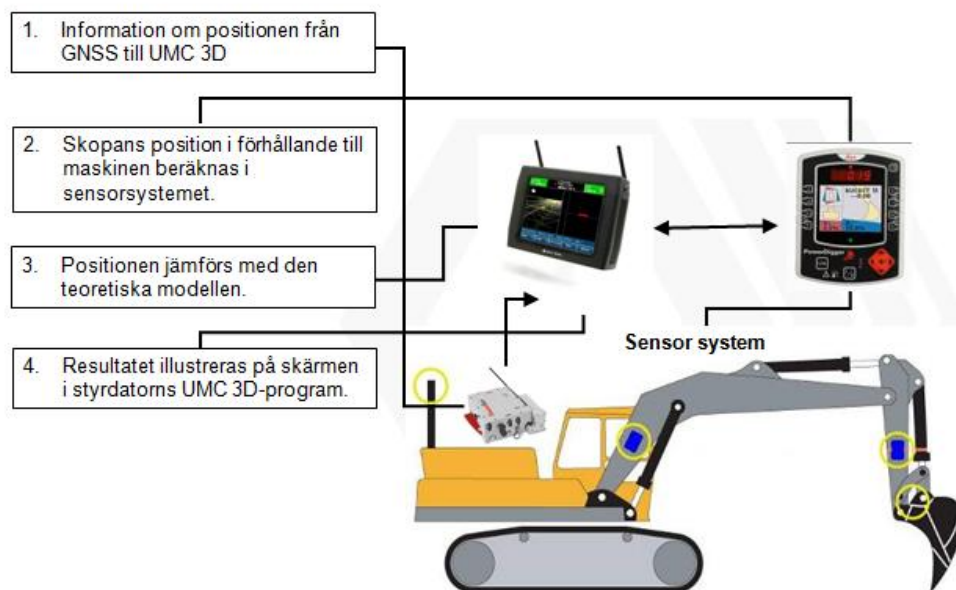
Användning av 3D-system på väghyvlar innebär samma tilläggsutrustning som hos grävmaskin och bandschaktare. Positioneringen sker endera genom GNSS eller takymeter, GNSS-antennen eller prismet placeras också här på bladet och till kontrollboxen behövs en styrdator som innehåller en modell över arbetsplatsen. (Scanlaser, 1.3.2011) Lika som på bandschaktare finns det system som innehåller två GNSS-antenner som gör att styrsystemet alltid vet vartåt maskinen är riktad och hur bladet lutar. Användning av takymeter vid positionering är vanligt vid noggranna arbeten. (Trimble, 1.3.2011)

## 4 Scanlasers 3D-system för grävmaskin

### 4.1 Komponenter

I Scanlasers 3D-maskinstyrningssystem för grävmaskin finns följande upplägg av komponenter. (Scanlaser broschyr, Effektiv maskinstyrning, s. 6–7)

- Tre vinkelsensorer som är monterade på bom, sticka och skopa.
- Tiltssensor monterad på skopa med tillhörande kopplingsbox.
- Pildisplay
- Prisma eller GNSS-mottagare med en eller två antenner.
- Kompass, ifall styrning med takymeter och prisma eller GNSS med en antenn.
- Kontrollbox för sensorsystemet samt 3D-styrdator eller kombinerad kontrollbox och 3D-styrdator. Styrogrammet är i det här fallet UMC 3D.



Figur 1. Informationsflöde i Scanlasers 3D-system med GNSS. (UMC 3D training, u.å.)

## 4.2 Allmänt om UMC 3D

UMC 3D (Universal Machine Control 3D) är utvecklad av Svensk Byggnadsgeodesi AB och är en programvara för 3D maskinstyrning. Programvaran är baserad på SBG:s maskinstyrningsprogramvara GeoROG. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 17)

Systemet samordnar data från ett positionsinstrument (GNSS eller takymeter), med data från ett maskinsystem (längder, lutningsvinklar och rotationsvinklar) för att sedan beräkna koordinater på skopan eller bladet. Skopans eller bladets koordinater jämförs sedan med en teoretisk punkts koordinater i den referensmodell man valt. Skillnaden som kommer av beräkningen visualiseras grafiskt på skärmen i styrdatorn. I vissa system kan skillnaden omvandlas till signaler som sänds via maskinsystemet för att automatiskt styra hydrauliken. Maskinstyrning underlättar med att undvika problem med vertikala kurvor, ändringar i bredder och lutningar i anläggningsprojekt. Systemet guidar maskinen till korrekt position, oberoende av hur ytan ser ut. (SBG broschyr: GeoROG – Det universella systemet för 3D-maskinstyrning )

UMC 3D-programmet används i två styrdatorer, CB16 och GeoROGv8. Förutom 3D-applikationen innehåller programvaran även ett 2D hyvelsystem. Denna 2D-applikation är en produkt från den danska tillverkaren Mikrofyn och är baserad på Mikrofyn:s CB 14 hyvelsystem. UMC 3D är märkesoberoende och det betyder att detta inbyggda 2D-system tillsammans de flesta externa 2D-system på marknaden kan användas tillsammans med UMC 3D. Det samma gäller GNSS-mottagare och takymetrar, instrument från de flesta tillverkarna kan användas med systemet. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 17)

## 4.3 Dataformat i UMC 3D

### 4.3.1 Referensmodeller

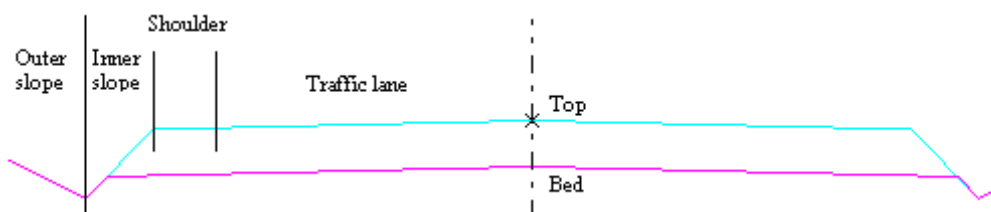
Med en referensmodell menas en teoretisk representation av en yta, linje eller punkt. Skopans mätta och beräknade position jämförs med referensmodellen i styrprogrammet. Beroende på vilken referensmodelltyp som används så kan olika utdata presenteras i arbetsläget i UMC 3D. Exempel på utdata är sektion, sidomått, schakt- och fyllvärde och tvärlutning. Som följande beskrivs typer av referensmodeller som kan användas i styrprogrammet UMC 3D. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 63–65)

De terrängmodeller som används i UMC 3D är av formatet \*.trm och kan beskrivas som en digital representation av en yta, t.ex. schaktbotten eller markyta. Terrängmodellen är uppbyggd av ett oregelbundet nätverk av trianglar mellan punkter, varje triangel beskriver en plan yta. Punkterna kan vara med t.ex. totalstation eller ekolod mätta punkter i terrängen, men de kan också vara teoretiska och hämtas ur en ritning som sedan görs till en terrängmodell. (Geo användarmanual, 2008, s. 445)

Väglinjemodeller är uppdelade i tre olika filformat, \*.lin, \*.prf och \*.skv. Den horisontella definitionen av modellen (vägen eller linjen) utgörs av en linjefil \*.lin. Den vertikala definitionen av modellen (vägen eller linjen) beskrivs av en profilfil \*.prf. Lutningen på vänster och höger sida om linjen beskrivs av en skevningsfil \*.skv. Den här uppbyggnaden gör att väglinjemodellen beskriver två ytor på båda sidorna om centrumlinjen. När man jobbar med väglinjemodeller i UMC 3D, måste de tre olika filerna som en väglinjemodell består av, ha samma namn. När \*.lin-filen väljs i ett projekt kommer de två andra filerna att väljas automatiskt, så länge de finns lagrade i samma projekt. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 63–65)

En volymbeskrivningsmodell består av samma delar som en väglinjemodell, men därutöver innehåller den en definitionsfil (\*.mbs) och en normalsektionsdatadel (\*.nsd). Modellen kan beskrivas som en komplex vägmodell där alla element av vägen är definierade ortogonalt utifrån centrumlinjen. Ett villkor kan sättas för marken, t.ex. fyll, schakt och berg. Villkorets egenskaper skapas i Geo. Beroende på vilken typ av villkor som används för ytan, byggs volymbeskrivningen upp med olika element (lutningar) och

överbyggnader. Om man vill jobba med en volymeräkningsmodell i UMC 3D, behövs endast definitionsfilen (\*.mbs) väljas. De andra filerna (\*.lin, \*.prf, \*.skv, \*.nsd) följer automatiskt med eftersom definitionsfilen innehåller information om vilka filer som är knutna till referensmodellen, dock krävs det att alla filerna måste finnas i samma projekt. I figur 2 visas ett exempel av en sektion i en volymeräkningsmodell. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 63–65)



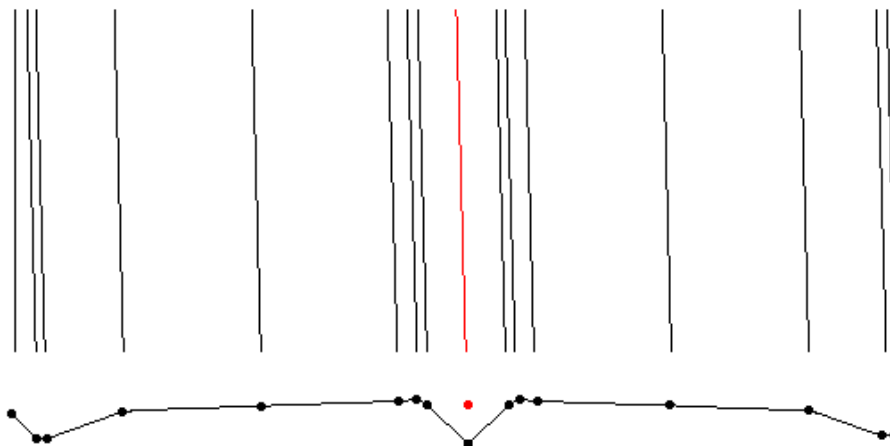
Figur 2. En sektion i en volymeräkningsmodell. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 63)

En baslinjemodell är i sin enklaste mening en baslinje mellan två punkter i en koordinatfil. Modellen används för att få ortogonal utdata från en baslinje, man får också beräknat utdata från förlängningen av baslinjen. Koordinatfilerna är av typerna \*.geo eller \*.pxy och de innehåller tredimensionella punkter som identifieras med punktnummer. Till varje enskild punkt kan ett antal koder och attribut knytas. Koordinatfilerna kan förutom fria punkter också innehålla fria linjer. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 63–65)

Två enkla referensmodeller som kan användas i UMC 3D är höjdreferensmodeller och punktreferensmodeller. Höjdreferensmodeller har formatet \*.hrf och definieras som en horisontell yta med konstant höjd och punktreferensmodeller har formaten \*.geo eller \*.pxy som är vanliga koordinatfiler. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 63–65)

En linjemodell är en vägmodell som innehåller en centrumlinje med både horisontell och vertikal definition (\*.lmd och \*.lin) och en koordinatfil (\*.geo) med polylinjer. Brytlinjerna som definierar en vägkonstruktion finns i koordinatfilen. I kör läget i UMC 3D beräknas sidomått, sektion, osv. tillsammans med deltahöjden till referensmodellen. I en linjemodell kan också finnas information om överbyggnaden, om modellen är uppbyggd på det sättet kan man välja ett specifikt lager att referera mot. I figur 3 visas 2D-översikt och

tvärsnitt av en linjemodell, i tvärsnittsvyn är elementen beräknade baserat på koordinatfilen och ut från centrumlinjen. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 63–65)



Figur 3. En linjemodell sedd i 2D-perspektiv och som tvärsnitt. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 64)

### 4.3.2 Övriga format

I UMC 3D kan alla SBG-format användas, men också några externa format kan importeras direkt in i systemet. Exempel på sådana format är LandXML och LandXML.org. LandXML är ett dataformat som är menat för utbyte mellan olika program, sådana filer kan innehålla bl.a. koordinater, profiler, terrängmodeller och linjer (Geo användarmanual, 2008, s. 640). Övriga dylika format är PLN, Carlson format (i UMC 3D skapas polylinjer i \*.geo format) och CL, Carlson format (i UMC 3D skapas horisontella linjer i \*.lin format). (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 63–65)

Exempel på format som inte direkt kan importeras till UMC 3D är Excel, ASCII och CAD-formaten DWG och DXF. För att få dessa till fungerande filer i styrprogrammet måste de tas in i Geo och där konverteras till SBG-format. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 63–65)

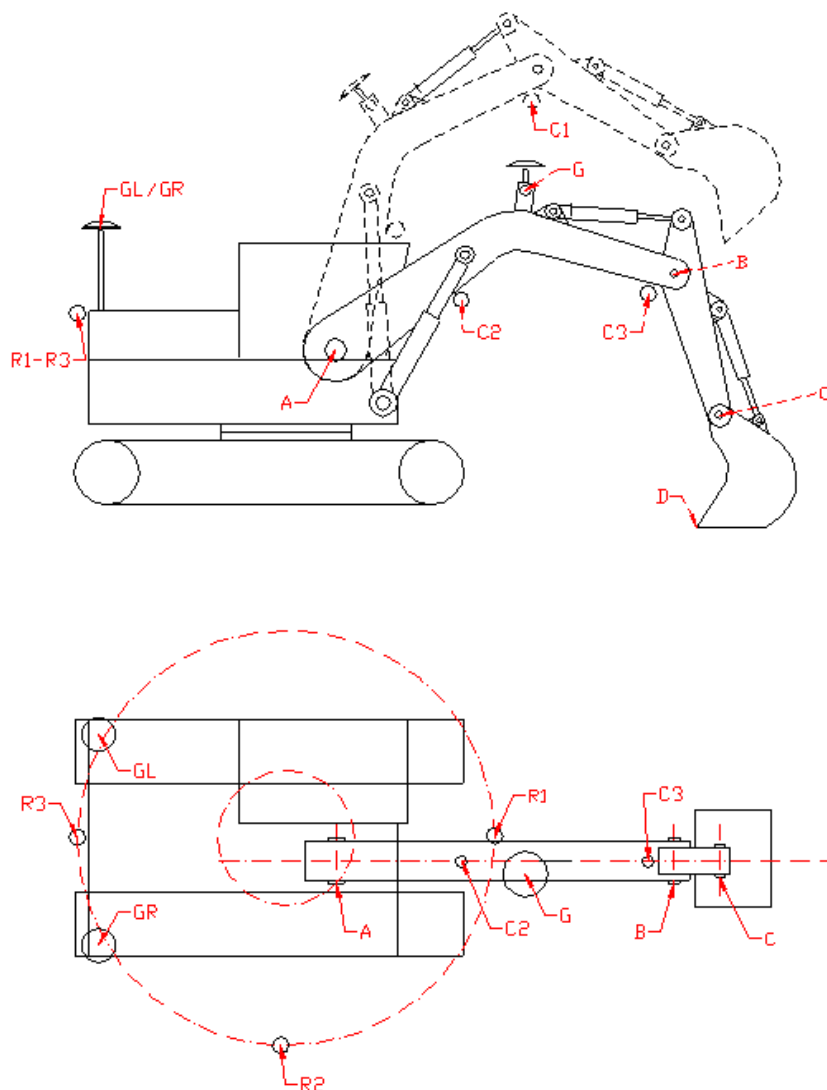


## 4.4 Bestämning av en grävmaskins geometri

Vid användning av UMC-3D i en grävmaskin bör information om maskinens geometri matas in i programmet. Geometrin fås genom mätning av ett antal strategiska punkter på maskinen. Dessa mätningar utförs med takymeter. Geometri som måste vara känd är längden på bom, sticka, skopa samt positionsgivarens/positioneringsgivarnas placering på maskinen. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 158)

### 4.4.1 Inmätning av grävmaskinsgeometri med GeoPad

Innan UMC 3D kan börja användas måste geometrin för grävmaskinen bestämmas. En möjlighet är att använda mjukvaran GeoPad med en takymeter vid inmätningen. GeoPad är en produkt framtagen av SBG AB och är en mjukvara för mätning i fält som passar i flera olika tillverkares handdatorer, takymetrar och GNSS-instrument. Vid inmätningen mäts ett antal förutbestämda punkter på maskinen, dessa punkter har alla ett specifikt namn. Punkterna sparas i en \*.geo fil varefter GeoPad kan räkna ut de avstånd och vinklar som krävs för 3D maskinstyrning. Det som är av intresse här är de relativa koordinaterna, man vill få ut inbördes vinklar och avstånd mellan punkterna, därför har det aktuella koordinatsystemet ingen betydelse. I vilken ordning punkterna mäts har heller ingen betydelse så länge de har rätt namn. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 164–165)



Figur 4. Punkter som ska mätas in vid bestämning av en grävmaskins geometri. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 165)

#### 4.4.2 Utförande

Ovan finns två figurer som visar vilka punkter som måste mätas in och vilken namn de har, övre figuren visar en grävmaskin från sidan och den undre illustrerar en grävmaskin sedd från ovan. I den övre figuren kan även ses att en GNSS-antenn är placerad på bommen, numera placeras antennen eller antennerna på maskinens kropp, på maskinens bakre parti. Som mätinstrument fungerar en takymeter och som prismet används klisterprismet som fästs på direkt på maskinen och vanliga prismet. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 165–166)

Först placeras maskinen på ett så plant underlag som möjligt, takymetern ställs upp ca 25 m från grävmaskinen så att alla punkter kan mätas in. Stationsetablering görs, vilket koordinatsystem som används är icke-relevant eftersom inbördes avstånd mäts. Ställ maskinen så att hyttsidan står 180° mot takymetern. Mät punkten R1, vrid maskinen 90° och mät R2 och vrid ytterligare 90° och mät R3. Alla tre punkterna mäts med samma prisma och de mäts för att få fram maskinens rotationscentrum och maskinkroppens lutningar som kallas pitch- och rollvinklar. Sedan sätts skopan ner på marken och resten av mätningarna görs, maskinen får inte flyttas innan kontrollmätningarna gjorts och vinklarna jämförts med grävmaskinsystemet. Därefter mäts C1, C2 och C3, dessa punkter befinner sig på grävarens centrumlinje och spänner upp ett plan i vilket skopan rör sig. A, B, C är punkter på bommens leder, de mäts med klisterprismor som placeras på tapparna i lederna. Punkten D mäts med vanligt prisma och då bör man minnas att ange vilken signalhöjd prisma har. Dessa fyra punkter projiceras på planet C1-C2-C3 och längder och vinklar beräknas på bom, sticka och skopa. GL och/eller GR mäts (positioneringssensorerna) och även här behövs signalhöjden beaktas för att få fram rätt GNSS-antennhöjd. Uppmätta värden sparas som en \*.geo fil. I GeoPad finns en funktion som heter Grävmaskinberäkning, välj det och den nyss lagade filen. Värden på vinklar och avstånd beräknas, dessa jämförs med dem som finns inknappade i grävsystemet och UMC 3D. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 165–166)

Koordinaterna på skopans referenspunkt beräknas utifrån information från 2D-systemet och positionsgivaren, dvs. GNSS-antennen eller prisma. 2D-systemet beräknar skopans position i förhållande till en fast punkt på maskinkroppen, vilken punkt som används som referenspunkt beror på vilket 2D-system som används. 2D-systemet ger information från lutningssensorer (och/eller rotationssensorer) på skopan, stickan, bommen och maskinkroppen (längd- och tvärfall). (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 158)

#### **4.5 Positioneringsprincip i UMC 3D**

Koordinater för maskinen tillhandahålls av en positioneringssensor, GNSS eller takymeter som monteras på maskinen. Två punkter måste ha kända koordinater för att programmet

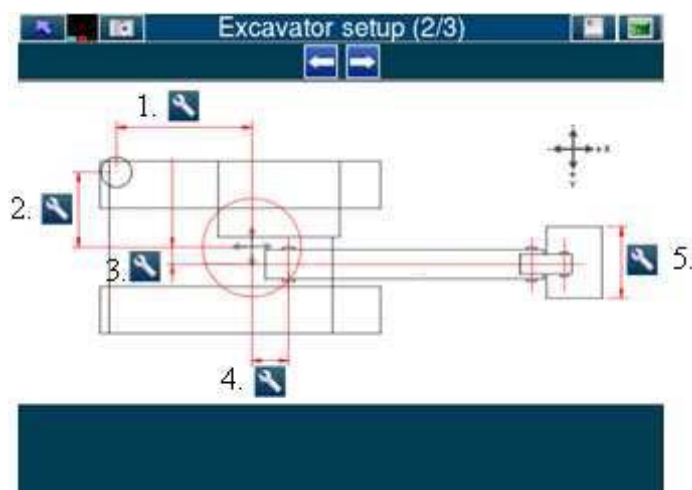
ska kunna beräkna position och orientering av maskinen. Det finns två olika möjligheter att bestämma dessa punkter. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 158)

Två positioneringssensorer, GNSS monteras på maskinens kropp. Antennerna tar emot satellitsignaler kontinuerligt och när deras position är känd vet programmet också positionen i 3D för skopans referenspunkt hela tiden, även när maskinen är i rörelse på arbetsområdet. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 158)

En positioneringssensor, GNSS eller prisma är monterad på maskinen, dvs. en till känd punkt måste fås fram. Genom att rotera maskinen när den står stilla kommer positioneringssensorns rotation att bilda en cirkelbåge. Rotationscentrum, eller cirkelns mittpunkt, kan beräknas från tre punkter mätta från denna rörelse utmed cirkelbågen. För att beräkna koordinater för rotationscentrum använder sig UMC 3D-programmet av start, mitt- och slutpunkten på cirkelbågen. Detta innebär att man får ett bättre resultat när längre bågar används. När man gör på detta sätt fås två punkter som är kända: rotationscentrum och positioneringssensorn. Om man flyttar grävmaskinen så att maskinen inte längre roterar runt samma centrumpunkt, måste rotationsrörelsen göras på nytt för att få fram koordinater på rotationscentrum. I UMC 3D kan toleransen programmeras in hur mycket maskinen får flyttas innan man måste rotera maskinen på nytt, programmet meddelar maskinisten när maskinen flyttats utanför den användardefinierade toleransen. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 158)

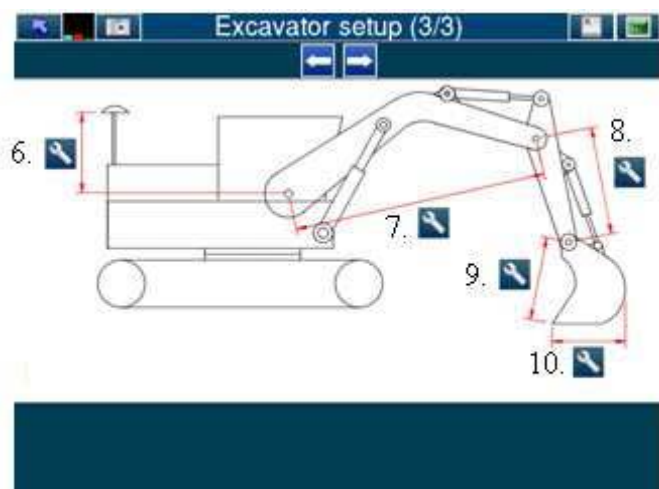
#### **4.5.1 Inmatning av inmätta värden i UMC 3D**

När maskinens geometri är mätt, matas dessa data in UMC 3D-programmet. På grävmaskininställningens första sida väljer man vilket 2D-system som används. Beroende på vilket 2D-system som används så skall olika typer av data matas in i programmet. Nedan i figurerna visas möjliga data som bör tas redas på och var de knappas in. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 160)



Figur 5. Inmatning av en grävmaskins geometri i UMC 3D. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 160)

1. GNSS X, avståndet från positioneringssensorn till rotationscentrum i maskinens X-led.
2. GNSS Y, avståndet från positioneringssensorn till rotationscentrum i maskinens Y-led.
3. Rolllängd
4. Pitchlängd
5. Skopans bredd



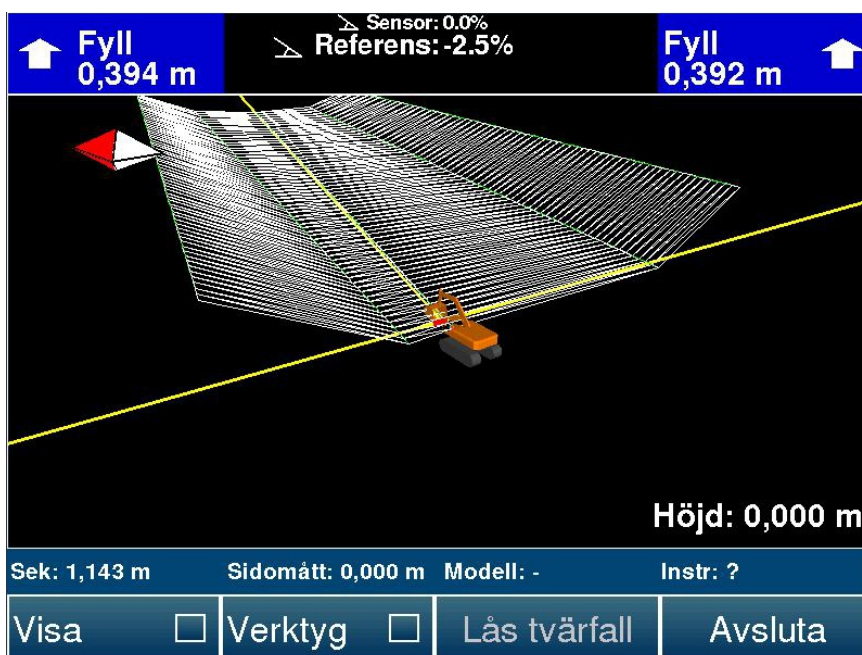
Figur 6. Inmatning av en grävmaskins geometri i UMC 3D. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 160)

6. Stånghöjd
7. Bomlängd
8. Sticklängd
9. Skoplängd
10. Skopdjup

#### 4.6 Enkla referensmodeller i UMC 3D

Maskinstyrning i 3D kan också vara till nytta på små och enkla projekt eftersom man med hjälp av UMC 3D kan laga enkla referensmodeller i fält, direkt i maskinen. Modellen kan göras i ett befintligt projekt eller så kan man göra den i ett helt nytt projekt. Referensmodellen är uppbyggd av en centrumlinje och av en, två eller inga tvärlinjer på båda sidorna om centrumlinjen. Lutningen kan vara olika för start- och slutpunkten, dvs. om man t.ex. i startpunkten har lutningen 2 % åt båda sidorna så kan lutningen i slutpunkten vara en annan, t.ex. -3 %. Dessutom kan längderna åt båda sidorna vara olika vid start- och slutpunkten. Centrumlinjens start- och slutpunkt kan definieras på tre olika sätt: användning av skopans referenspunkt för inmätning och registrering av punkterna, användning av punkter ur en fil eller manuellt ange koordinater för punkterna. Vid inmätning av punkterna krävs det att maskinen är positionerad genom takymeter eller GNSS, vilket inte krävs i de andra två tillvägagångssätten. Referensmodellen går att editera vid ett senare tillfälle om så önskas via filhanteringen i programmet, om man t.ex. vill ändra höjden på en punkt i modellen. Vid skapande av modell i UMC 3D uppstår följande tre filtyper: (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 115–123)

- Ytan definieras av en terrängmodell (\*.trm).
- Centrumlinjen i modellen definieras av en väglinje (\*.lin).
- Brytlinjerna definieras av en koordinatfil (\*.geo).



Figur 7. Enkel referensmodell i UMC 3D. (UMC 3D)

## 4.7 Skapande av referensmodeller

### 4.7.1 Allmänt

Det vanligaste formatet som görs om till maskinstyrningsformat är CAD-format såsom \*.dwg och \*.dxf. Vanligtvis när en ritning kommer från planeraren är den inte i rätt koordinatsystem och punkterna och linjerna i ritningen har inte höjddata, dvs. ritningen är i 2D. Man måste alltså få ritningen i rätt koordinatsystem och göra om punkterna och linjerna så att de har 3D-koordinater, detta görs manuellt. Vid användning av UMC 3D kan Geo programvaran användas, men modeller kan också skapas t.ex. i 3D-Win. I 3D-Win kan man importera filer med CAD-formaten \*.dwg och \*.dxf och av dem laga t.ex. triangulerade terrängmodeller, väggeometri och enskilda punkter som sparas som LandXML-filer. Dessa LandXML-filer kan överföras till UMC 3D. Den enklaste modellen är att överföra en \*.dwg- eller \*.dxf-fil som används som hjälpmodell i 2D, till detta ger maskinens styrsystem skopans plushöjd. På det sättet ser maskinisten var han befinner sig på arbetsplatsen, men har inte en riktig 3D-modell som han arbetar mot. Detta tillvägagångssätt gör att man kan få filer i UMC 3D som har flera onödiga lager, dvs.

rensning kan behövas. Om man går via Geo-programmet så kan alla de referensmodeller som redan blivit nämnda under ”Dataformat i UMC 3D” skapas och överförs till UMC 3D. (Sven-Erik Emtö, personlig kommunikation, 7.3.2011)

Några saker är viktiga att tänka på när man gör om planerarens ritningar till maskinstyrningsformat. När man rensar de befintliga ritningarna bör man ha på klart vilka lager i ritningen som är av betydelse och vilka lager som bör vara med för att få en tillräcklig omfattande modell för det kommande projektet. Rensningen av rådata är nödvändig för att få fram tydliga modeller. Här gäller det att kommunicera med beställaren av modellen eller modellerna och gemensamt komma fram till en lösning. Detta innebär att också beställaren bör veta en hel del om det kommande projektet. Denne bör granska ritningarna så att det kommer fram vad som är viktigt att få fram i modellerna. Nedan kommer att visas hur man lagar en simpel terrängmodell i programmen Geo och 3D-Win. (Sven-Erik Emtö, personlig kommunikation, 7.3.2011)

#### **4.7.2 Skapande av modell i Geo**

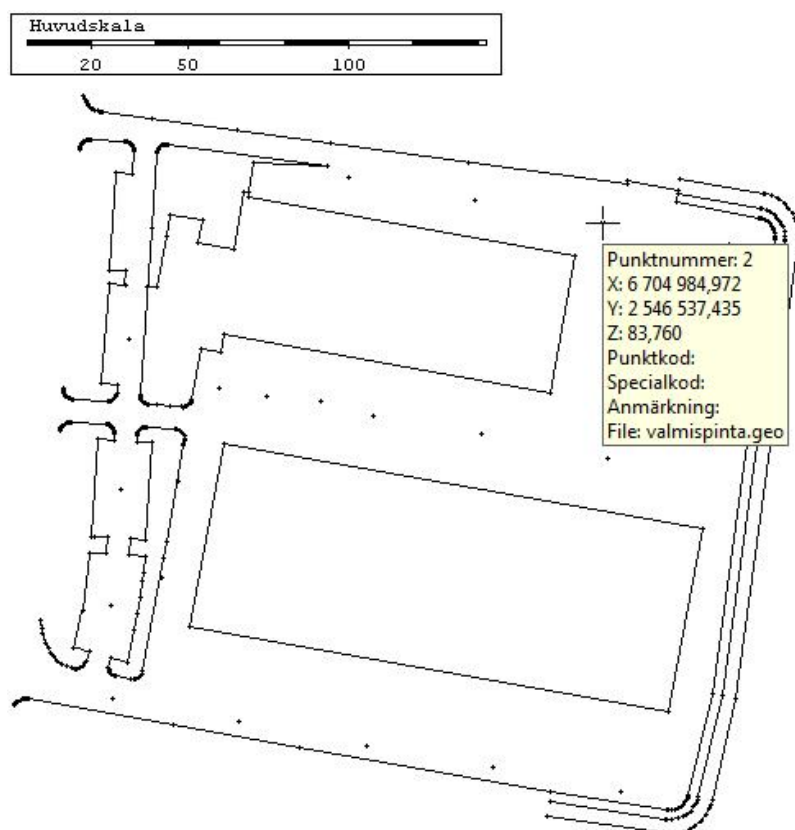
I Geo kan skapas flera typer av referensmodeller som kan köras i UMC 3D (se 4.3 Dataformat i UMC 3D). Nedan visas ett exempel på rådata i \*.dwg-format som lagats till en terrängmodell. Så här kan det se ut när ritningarna till ett nytt projekt kommer från planeraren. I ritningen finns det många olika lager som inte är till nytta för själva byggandet och kan klassas som onödiga vid skapande av modell, exempel på dessa är text och olika mönster. I detta skede är ritningen i fel koordinatsystem och alla punkter och linjer har höjden 0. (Geo Construction 2007, 3.4.2011)





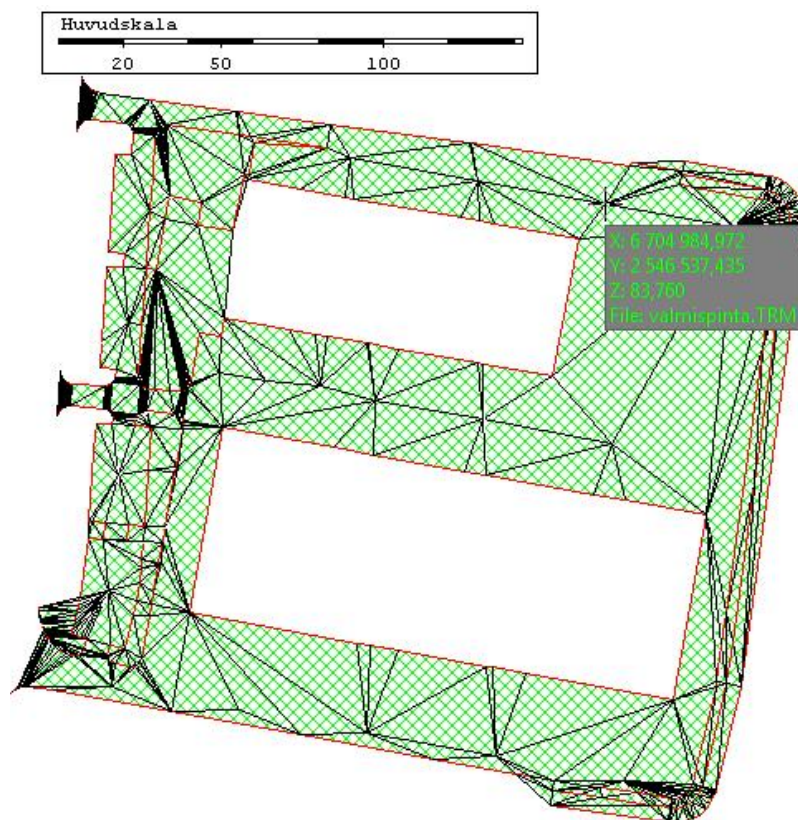
Figur 8. Exempel på rådata i Geo. (Geo Construction 2007)

I figur 9 visas vilka delar av ritningen som tagits med för att det skall vara möjligt att göra en terrängmodell av den planerade färdiga ytan på tomten. Den här filen har formatet \*.geo och är en koordinatfil som endast innehåller punkter och linjer, här har punkterna och linjerna tilldelats en höjd och de är i rätt koordinatsystem. Här ser man tydligt hur mycket onödiga lager som fanns i originalfilen, man bör förstås hålla i minnet att i detta projekt har flera referensmodeller gjorts och detta är bara ett exempel på en sådan. I större projekt skapar man vanligtvis flera referensmodeller, eftersom byggandet sker i flera olika skeden. (Geo Construction 2007, 3.4.2011)



Figur 9. En \*.geo-fil i Geo. (Geo Construction 2007)

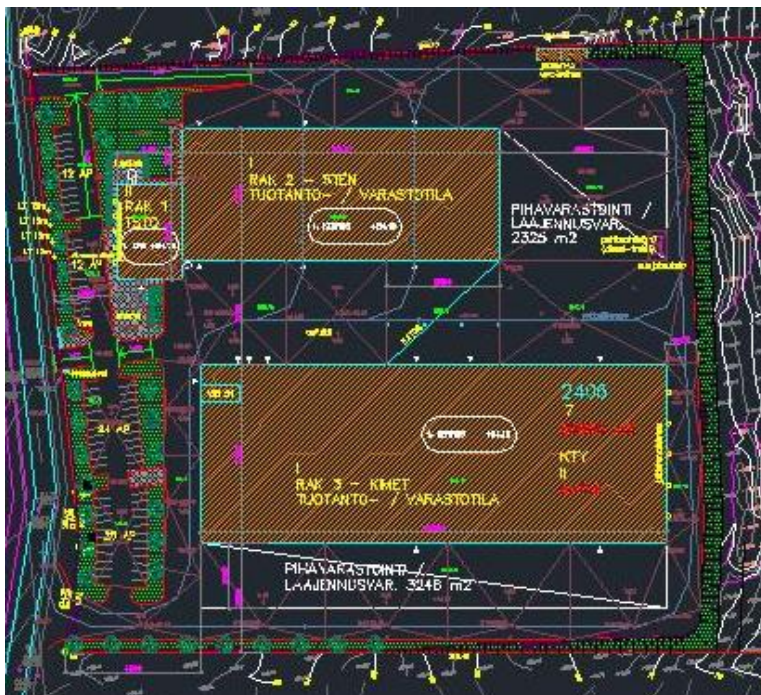
I figur 10 visas den slutliga terrängmodellen (\*.trm) som skapats utifrån \*.geo-filen. Alla dessa tre visade filer kan användas i UMC 3D, den första (\*.dwg/\*.dxf) kan endast användas som hjälpmodell, medan de två andra kan användas som referensmodeller. Eftersom det i en referensmodell finns så många olika punkter som ska ha rätt höjder och koordinater kan det i vissa fall förekomma fel i modellen. Ett sätt att granska modellen är att i Geo visa modellen i grafiskt 3D-visningsläge. Eftersom modellerna kan täcka ett relativt stort område och man har små höjdskillnader så kan fel vara svåra att upptäcka, då kan man överdriva höjdskalan så att det är lättare att hitta fel innan modellen överförs till UMC 3D. (Geo Construction 2007, 3.4.2011)



Figur 10. En terrängmodell i Geo. (Geo Construction 2007)

### 4.7.3 Skapande av modell i AutoCAD och 3D-Win

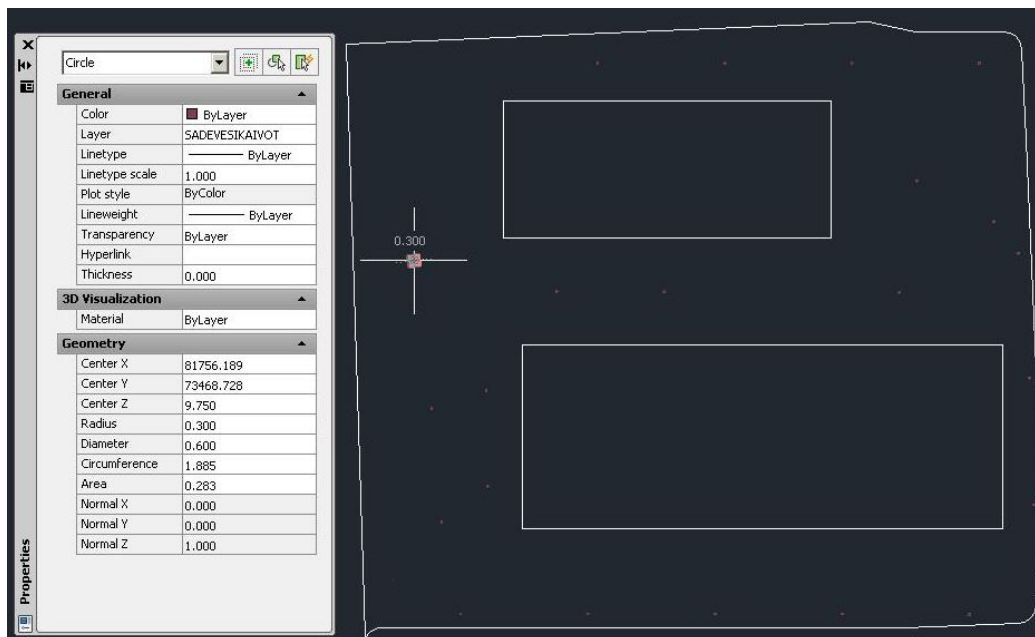
I 3D-Win kan t.ex. terrängmodeller, väggeometri och enskilda punkter skapas som kan köras i UMC 3D (3D-Win, 22.4.2011). När utgångsmaterialet kommer från planeraren i \*.dwg- eller \*.dxf-format så gäller samma sak här som när man skapar modell i Geo, onödiga lager och dylikt rensas bort. Vanligtvis så har man inte endast 3D-Win när man hanterar ritningar, AutoCAD är också vanligt. När man rensar bort onödiga detaljer från de ursprungliga ritningarna så är 3D-Win en aning klumpigt program att använda, men det är möjligt att få arbetet gjort i det programmet också. Nedan visas hur man kan gå till väga vid modellskapande med AutoCAD och 3D-Win, det går som sagt också att enbart använda 3D-Win. Första bilden är en oredigerad ritning som öppnats i AutoCAD (AutoCAD 2010, 22.4.2011).



Figur 11. Rådata (\*.dwg) i AutoCAD. (AutoCAD 2010)

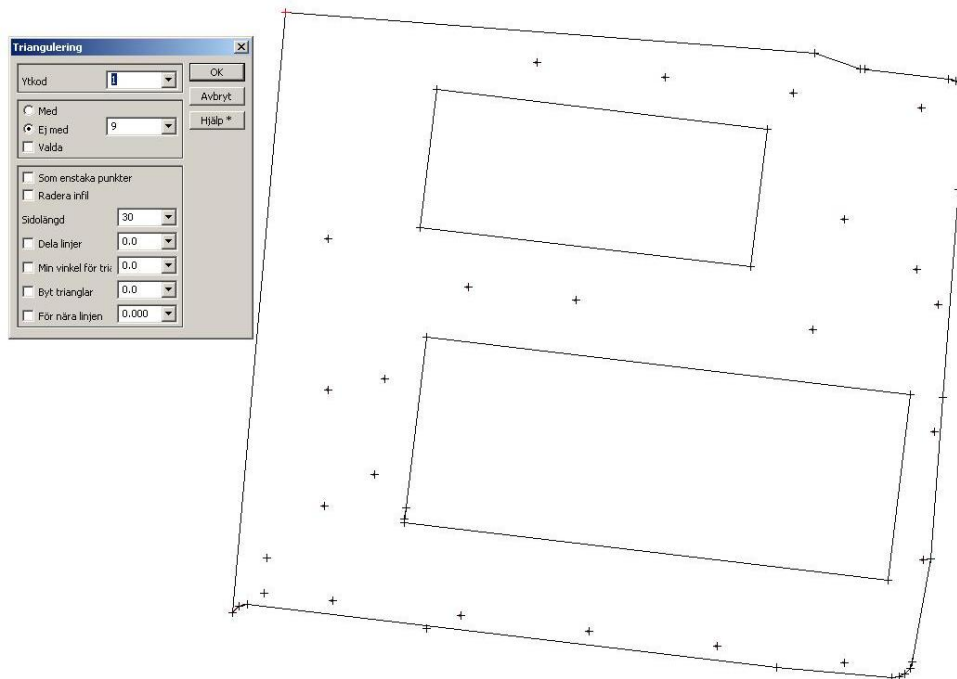
I nästa steg har en stor del data tagits bort från ritningen och höjder sätts in för att det skall vara möjligt att skapa en terrängmodell, kvar finns platsen för byggnaderna och enstaka punkter som skall föreställa färdiga höjder på den färdiga ytan. Höjderna kan också sättas in i 3D-Win och ritningen kan justeras till rätt koordinatsystem i båda programmen. I figur 12 är markören placerad på en punkt i ritningen som visar att punkten har höjd. (AutoCAD 2010, 22.4.2011).





Figur 12. Rensad ritning i AutoCAD. (AutoCAD 2010)

I det sista steget har den justerade ritningen tagits in i 3D-Win och där kan man som på bilden visas, triangulera höjderna i ritningen. Man får då en terrängmodell (\*.trm) som kan via LandXML-formatet överföras till UMC 3D. När punkterna och linjerna triangulerats sparas de som en LandXML-fil i 3D-Win, här behöver man alltså inte gå via Geo för att skapa referensmodeller som går att använda i UMC 3D. Andra datatyper som kan skapas och som lämpar sig för UMC 3D är t.ex. väggeometri och enskilda punkter. (3D-Win, 22.4.2011)



Figur 13. Rensad och höjdsatt ritning som trianguleras i 3D-Win. (3D-Win)

## 4.8 Uppdatering av modell på redan grävt område

Om en modell uppdateras under ett projekt och man vill beakta det som redan blivit grävt på ett visst ställe i modellen som ska uppdateras, så finns det möjlighet för det i UMC 3D. Man använder sig av en modifierbar modell, det är en rutnätsmodell som är uppbyggd av plana rutor. En terrängmodell kan konverteras till en rutnätsmodell direkt i styrprogrammet, där kan också storleken på rutorna kan ställas in. Rutnätsmodellen används normalt tillsammans med en terrängmodell. De plana ytorna har en höjd och när skopan på grävmaskinen passerar ytan uppdateras höjden på rutorna. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 152–154) När man ska uppdatera modellen och man behöver data som säger hur det hittills är grävt på området, så tar man ut modifieringsfilen ur UMC 3D och tar in det i det program som man gör de behövliga ändringarna i. Efter förändringarna tar man in den uppdaterade modellen i styrprogrammet igen. Här behövs alltså ingen skild mätkarl som mäter in den grävda ytan, utan programmet mäter i samband med att ytan grävs. (Emtö, personlig kommunikation, 20.3.2011)

Den modifierbara rutnätsmodellen är också användbar vid projekt där man inte ser var man gräver, t.ex. muddringsarbeten. Då kan man ha en referensmodell som man strävar till (den

är på önskad nivå) och den modifierbara modellen visar genom olika färger hur långt över eller under skopan är från referensmodellen. Rutnätsmodellen kan också användas för volymeräkningar direkt i styrprogrammet. (UMC 3D användarmanual, 2008, s. 152–154)

#### **4.9 Behov av annan höjdreferens än GNSS**

Tanken att man skulle använda sig av en annan höjdreferens än GNSS i samband med maskinstyrning är inte omöjligt teoretiskt sett. Noggrannheten för GNSS anses då inte vara tillräcklig i höjdled, men för närvarande använder sig inte Scanlasers system sig av en skild höjdreferens. Man bör tänka på vad en grävmaskin är ämnad för, det är svårt och inte ändamålsenligt att försöka använda en grävmaskin med noggrannheter som är mindre än 1 cm. En grävmaskin används för jordbyggnadsarbeten och liknande projekt, där är noggrannheten hos ett välfungerande GNSS-system tillräcklig. En möjlighet till den noggrannare höjdreferensen vore användning av takymeter, men det kan försvåra arbetet. Användning av takymeter kräver ändå någon form av mätningkunskap, man kan inte kräva att en grävmaskinist skall ha stora kunskaper inom det området. Det skulle då betyda att någon typ av mätningpersonal skulle ställa upp takymetern, vilket innebär extra kostnader för entreprenadfirman. Maskinstyrning är menat som ett redskap som kan användas för att få ner kostnaderna hos olika entreprenadprojekt. (Emtö, personlig kommunikation, 20.3.2011)

#### **4.10 Tillvägagångssätt vid nytt projekt**

För att kunna laga referensmodeller i rätt koordinatsystem, bör man för det mesta vid ett nytt projekt mäta in befintliga punkter med GNSS i närheten av området och därifrån laga ett lokalt koordinatsystem. Befintliga koordinatsystem som t.ex. KKJ kan också användas, det är dock sällan man använder sig av existerande koordinatsystem. De befintliga punkterna mäts in i WGS-84-koordinatsystemet, som sedan matchas in med lokala koordinater i plan och höjd. Ritningarna transformeras till det lokala koordinatsystemet, om man inte använder sig av befintligt koordinatsystem. (Emtö, personlig kommunikation, 6.4.2011)

Det är vanligast att man använder egen basstation när man använder Scanlasers 3D-system för grävmaskin. Med tanke på bekvämlighet vore användning av VRS-metoden den ideala lösningen, men det är väldigt ovanligt i Finland idag. Största problemet med VRS-tekniken idag är att korrektionssignalen kommer dåligt fram på vissa områden och ibland sker det hopp i höjdlid vid positioneringen. Korrektionssignalen kommer via Internet (GPRS) och det är inte problemfritt. Som en enskild person kan man inte göra så mycket om internetförbindelsen bryts, systemet är ganska sårbart. När man använder egen basstation kommer korrektionssignalen via radioförbindelse till mätningssmottagaren, om det krånglar är felet enklare att lokalisera än om man skulle använda VRS. Basstationen behöver inte placeras på en känd punkt på arbetsområdet, positionen etableras som navigerad genom att man mäter in kända punkter. Detta ger stor frihet i var man kan placera basstationen. Basstationen kan också i stället placeras på en punkt som har kända koordinater i det använda koordinatsystemet. Räckvidden mellan basstation och rover är 1–2 km med 1 w effekt på radiosignalen, med effekten 10 w kommer man upp till 7–10 km. Topografin på projektområdet utgör en viktig faktor när man talar om signalens räckvidd. En fördel med egen basstation är att flera kan få nytta av den på samma gång utan tilläggskostnader i form av användarlicenser, men man bör komma ihåg att införskaffningen av basstationen utgör en utgiftspost. Användning av befintlig basstation är också möjlig som källa för korrektionssignal, räckvidden är då ungefär 30 km och noggrannheten i höjd blir i praktiken snabbt sämre med ökande avstånd från basstationen. Här används GPRS som dataförbindelse. (Emtö, personlig kommunikation, 6.4.2011)

## 5 Intervjuer

De som har blivit intervjuade har svarat på frågor allmänt gällande maskinstyrning. Idén med intervjuerna har varit att skaffa en uppfattning om hur maskinstyrning fungerar i praktiken, vad som krävs för att skapa fungerande projekt med tekniken och vilka hinder som finns. Frågorna har utformats med hjälp av min uppdragsgivare. Följande personer har svarat på frågorna: Ulf Sjöström lantmätteriingenjör hos AF Gruppen i Norge, Markku Kinnunen arbetsledare på Rakennusliike Lehto och Märten Qvist lantmätteriingenjör på MRP Risberg OY.



## 5.1 Skolning

När man talar om hur mycket skolning som behövs innan man kan använda sig av ett maskinstyrningssystem är de intervjuade av ganska likadana åsikter. Skolningstiden eller inläringstiden beror på vilket utbyte man vill ha av utrustningen. En grävmaskinist behöver inte mycket skolning för att klara av enkla och vanliga uppdrag. Det räcker med en genomgång med någon som använt systemet tidigare och litet övning. Det tar dock litet längre tid att anpassa grävtekniken med att ofta titta på skärmen som visar hur man ska gräva. För den som skapar modellerna till grävmaskinisterna kan det finnas behov för litet mera skolning, men mest lär man sig genom att öva och prova sig fram. Det är bra att ha kontakt med personer som har djupare kunskap om de olika systemen och på så sätt få tips om problem förekommer. Komplexitetsgraden hos maskinstyrning är olika i de olika systemen, vissa system är så pass enkla att maskinisterna själva kan positionera maskinen med takymeter, medan andra system kan vara invecklade att använda. Den eventuella skolningen ordnas av leverantören, men hos företagen kan även vana användare skola upp nya användare. Det finns också leverantörer som inte ordnar någon utbildning alls.

## 5.2 Kunskap

De tillfrågade var alla av den åsikten att de i princip kan göra alla arbetsmoment som dyker upp i samband med ett nytt projekt, allt från skapande av modell till uppställning av GNSS-basstation. En av de intervjuade ansåg att detta är en kostnads-, resurs-, och tidsfråga och han menade att omfattande servicearbeten av utrustningen som t.ex. installation, grundkalibrering, uppgradering av system och byte av sensorer är så pass arbets- och tidskrävande att de låter leverantören sända servicemanskap. Även större modeller brukar de oftast beställa från byggherre eller konsult. Man kan även ha serviceavtal med leverantören.

### **5.3 Utmaningar för att skapa problemfritt projekt**

När det handlar om de största hindren för att få maskinstyrning att fungera problemfritt i nya projekt gällande den fysiska utrustningen så var en åsikt att de haft svårt med att få servicen att löpa. Servicepersonalen kommer nog, men problemet kanske inte alla gånger går att åtgärda direkt när de anlät eftersom felet inte lokaliserats i förhand och därför saknar de en viss komponent för att kunna åtgärda problemet. Fel som förekommit är kabelbrott, sensorer som går sönder, låsning av GNSS-enheter när strömmen tagit slut och fukt som kommer in i displayer. Det borde läggas mera press på tillverkaren att ta fram störningsfri utrustning. Andra problem som uppstått hos en av de intervjuade är att de har blivit tvungna att förstärka fästen där GNSS-utrustningen fästs. Problem gällande mjukvaror eller mätningstekniska frågor har varit svårigheter med att överföra koordinatsystem till GNSS-mottagare på grund av att något program saknats och att fel typer av kablar använts. Att skapa koordinatsystem anses i sig inte vara något större problem, men det är något tidskrävande. En av de tillfrågade tyckte att de skulle vara bra att redan i inledningsskedet, när ritningen planeras och ritas, veta om man kommer att använda maskinstyrning i projektet. Då skulle man kunna laga ritningen i rätt koordinatsystem och med höjder direkt från början.

### **5.4 Utgångsmaterial**

Gällande vilken typ av utgångsmaterial de tillfrågade använder i diverse projekt så nämns både egenproducerade ritningar och modeller och material som kommer från byggherre eller konsult. Vid större projekt kommer utgångsmaterial vanligtvis utifrån och till största delen är det olika typer av CAD-ritningar, skärningar och detaljritningar som fungerar som utgångsmaterial. Största utmaningen med utgångsritningar är att få dem i rätt koordinatsystem och att skapa höjddata åt linjer och punkter. En av de intervjuade sade att de i vissa projekt får ritningar färdigt i 3D-format, men de måste ändå justeras i vissa fall.

## 5.5 Utrustning

När man talar om vilken utrustning de intervjuade har kommit i kontakt med, så har två av dem erfarenhet av Scanlaser levererade 3D-system för grävmaskin och de har båda varit nöjda med det. Det är svårt att tala om vilken tillverkares system var och en använder, ett helt system består av många olika komponenter och det finns då också möjlighet att använda komponenter av olika märken. Till exempel i Scanlasers 3D-system kan styrdatorn vara både produkter från Mikrofyn, SBG och Leica. Den tredje tillfrågade har kommit i kontakt med en mängd olika maskinstyrningssystem, det vanligaste systemet de använder är Mikrofyn som de har i många maskiner. Andra system är Georog, Leica och Prolec. Även andra system har använts, men inte i grävmaskiner så de anses inte vara relevanta för denna rapport.

## 5.6 För- och nackdelar

De intervjuade har nämnt att maskinstyrning bl.a. bidrar till sådana fördelar som att mätning i fält minskar avsevärt, noggrannheten ökar och arbetsledningens arbete underlättas. Kvaliteten på arbetet blir bättre eftersom resultatet stämmer bättre jämfört med det planerade. Det blir tidsbesparing i form av att det går fortare att genomföra ett projekt, materialinbesparingar genom att man inte schaktar för mycket. Nackdelar med systemet är att det är ganska sårbart, det är många saker som ska fungera samtidigt. Ett exempel som en av de intervjuade nämner var när en GLONASS-satellit började sända ut fel data. Då det sedan kom besked om vad felet var så måste satelliten kopplas bort i varje maskinstyrningsenhet som använder sig av GNSS vid positioneringen. Det ledde till mycket ståtid för maskinerna och det var ett större projekt med många maskiner. Andra nackdelar som nämns är att inköpspriset på systemen är ganska högt och att det ställs ganska stora krav på mätningssingenjören som ska ha bra koll på de olika systemen.

## 5.7 Noggrannheten i systemen

Alla de intervjuade personerna tycker att noggrannheten hos maskinstyrning är helt tillräcklig för jordbyggnadsbranschen. En av de tillfrågade personerna påpekade dock att det är viktigt att man kalibrerar maskinen ofta, ca en gång i veckan och oftare om skopan slits mycket. Dessutom bör maskinföraren kontrollera skopans referenspunkt mot en känd punkt flera gånger varje dag, eller så kan skäret eller grävskopan kontrolleras mot värden som fås från en mätningmottagare eller takymeter. Maskinisten måste också upplysas om vilka begränsningar systemet har, gäller då främst system med GNSS-styrning. Systemet har inte den garanterade noggrannheten som behövs för att göra geometriska kontroller. Till exempel kan man inte lita på att korrekt fall uppnås på ett rör om fallet är litet och detta har mätts med en grävmaskins skopa. Inmätningar som tolererar en noggrannhet på 5–10 cm kan dock utföras.

## 5.8 Maskinisters åsikter och olika typer av projekt

Maskinisterna som använder sig av systemen är nöjda och säger att de inte vill vara utan det på framtida projekt. De har bättre koll på läget och vet hela tiden var de gräver och behöver inte t.ex. fundera på var en viss rörlinje går om det skall grävas nära den, rörlinjens position visas i modellen. Maskinisterna börjar då istället ställa stora krav på de som skapar modellerna. Vissa klagomål har förekommit, men de är ofta relaterade till att föraren inte känner till systemet och dess möjligheter och begränsningar. De tillfrågade har varit inblandade på flera olika typer av projekt där maskinstyrning med grävmaskiner använts, bl.a. vägarbeten, cykelvägsarbeten, rondellbyggen, muddring, husbyggnadsprojekt, kommunalteknik, hamnbyggen och fyllning i sjöar.

## 6 Slutsats

Maskinstyrning är idag ett välutvecklat och bra hjälpmedel inom jordbyggnadsbranschen som bidrar med många fördelar hos utförda projekt, bl.a. ökad kvalitet och sänkta kostnader. Det är dock många saker runt systemet som ska fungera för att man ska få en önskvärd helhet. De tekniska komponenterna i ett system är många och kunskap är en viktig faktor. Egenskaper och begränsningar hos de tekniska komponenterna behandlades väldigt ytligt i denna rapport, men i intervjuerna och i den tidigare forskningen kom det fram att de är något sårbara ute på fältet och att man bör montera dem med omsorg. Att skapa referensmodeller behöver inte vara svårt, det största arbetet är redan gjort av de som lagt ritningarna. De har planerat det som skall byggas så att det skall passa in på det ställe det är menat att byggas. Det kan dock vara tidskrävande att laga modellerna beroende på hur pass omfattande projekt det handlar om och hur ritningarna gjorts. Om ritningarna skapats i 2D så betyder det betydligt mera arbete än om de skapats färdigt med höjddata. Att ändra koordinatsystem i en ritning är i sig inte svårt och att skapa ett lokalt koordinatsystem, som för det mesta behövs i ett projekt, är enligt de intervjuade inte heller invecklat att utföra. Det är viktigt att tänka på vad som bör vara med i en referensmodell eftersom det i originalritningarna många gånger finns mycket data som inte behövs för modellskapandet, därför är kommunikationen mellan de som utför entreprenadarbetet och den som skapar modellen viktig.

En mätningstekniker eller ingenjör kommer troligtvis inte att bli arbetslös i framtiden i och med att maskinstyrning blir vanligare, men arbetsuppgifterna kommer att ändras. Det är de som ska laga modellerna och förstå systemen som monteras på maskinerna. Att se modellskapandet och annat som där hör till som en tilläggsprodukt i Ab Ostromap Oy:s tjänster är ingen omöjlighet, men större entreprenadfirmor har ofta egen mätningpersonal som är kapabla att göra dessa referensmodeller och eftersom maskinstyrning avlastar mätningpersonalen har de möjligtvis mer tid för sådana uppgifter. Idag finns det dock många firmor inom jordbyggnadsbranschen som behöver mätningstjänster, så det är inte omöjligt att få detta till en fungerande produkt i framtiden.

## **6.1 Förslag till vidare forskning**

Om fortsatt forskning skulle göras inom ämnet så skulle ett förslag vara att fördjupa sig i att göra referensmodeller. Man kunde försöka att skapa modeller från planerarens ritningar till ett riktigt projekt och få det att fungera i praktiken och skapa ett lokalt koordinatsystem på projektområdet som används i modellerna.

## 7 Källförteckning

AutoCAD 2010

Davidsson, J. & Karremo, A. (2010). *Kunskap – maskinstyrningens framgångsfaktor* Opublicerad avhandling för Ingenjörsexamen. Lunds Universitet, LTH Ingenjörshögskolan, Helsingborg.

Emtö, S-E. & Tanhuanpää, V-M. (2010) *Kynnyskysymyksiä koneohjauslaitteiden hankinnassa.* (u.o).

Engfeldt, A. & Jivall, L. (2003) *Så fungerar GNSS.* (LMV-rapport 2003:10). Gävle.

Engfeldt, A. & Jivall, L. (2007) *Introduktion till GNSS.* (LMV-rapport 2007:11). Gävle.

European Space Agency (u.å)  
[http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC\\_galileo\\_0.html](http://www.esa.int/esaNA/GGGMX650NDC_galileo_0.html) (läst: 24.1.2011)

Geo (2008) *Användarmanual.*

Geo Construction 2007

Lantmäteriverket (u.å)  
<http://www.maanmittauslaitos.fi/sv/node/3200> (läst: 28.1.2011)

Lehkonen, H. (2008). *Kaivukonetöiden toteutus 3D-koneohjauksen avulla.* Opublicerad avhandling för diplomingenjörsexamen. Tampereen Teknillinen Yliopisto, Byggnadsteknik, Tammerfors.

Mikrofyn (u.å)  
[http://www.mikrofyn.net/Download/gb/MikroDozer\\_gb.pdf](http://www.mikrofyn.net/Download/gb/MikroDozer_gb.pdf) (läst: 1.3.2011)

Mätniklas (u.å)  
<http://www.matniklas.se> (läst: 4.2.2011)

Niemelä, K. (2009). *3D-koneohjauksen soveltuvuus kaivostyöhön ja maarakennukseen*. Opublicerad avhandling för ingenjörsexamen. Savonia Ammattikorkeakoulu, Tekniikka, Kuopio.

Rios mätteknik (u.å)  
<http://www.rios.se> (läst: 11.2.2011)

Scanlaser broschyr (u.å). *Effektiv maskinstyrning*.

Scanlaser (u.å)  
[http://www.scanlaser.se/se/mikrograde-2d-cb14\\_1223.htm](http://www.scanlaser.se/se/mikrograde-2d-cb14_1223.htm) (läst: 1.3.2011)

Scanlaser (u.å)  
[http://www.scanlaser.fi/fi/mikrofyn-mikrograde-2d\\_1223.htm](http://www.scanlaser.fi/fi/mikrofyn-mikrograde-2d_1223.htm) (läst: 1.3.2011)

Scanlaser (u.å)  
[http://www.scanlaser.fi/fi/mikrofyn-mikrograde-3d\\_1221.htm](http://www.scanlaser.fi/fi/mikrofyn-mikrograde-3d_1221.htm) (läst: 1.3.2011)

Svensk Byggnadsgeodesi (u.å)  
<http://www.sbg.se/excavator.html> (läst: 21.2.2011)

Svensk Byggnadsgeodesi (u.å)  
<http://www.sbg.se/products/georog.html> (läst: 25.2.2011)

Svensk Byggnadsgeodesi broschyr (u.å) *GeoROG - Det universella systemet för 3D-maskinstyrning*.

Svensson, S. (2008). *Maskinstyrning – i mindre anläggningsprojekt*. Opublicerad avhandling för Ingenjörsexamen. Lunds Universitet, LTH Ingenjörshögskolan, Helsingborg.

Topgeo (u.å)  
[http://www.topgeo.fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=121&Itemid=126](http://www.topgeo.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=121&Itemid=126)  
(läst: 16.2.2011)

Trimble (u.å)  
<http://www.trimble.com/gcs900dg-dzr.shtml> (läst: 1.3.2011)



Trimble (u.å)

<http://www.trimble.com/gcs900dg-mg.shtml> (läst: 1.3.2011)

UMC 3D (2008) *Användarmanual.*

UMC 3D demoversion

UMC 3D (u.å) *UMC 3D - Universal software solution for 3D Machine Control.*

3D-Win

