

# GNSS-styrning

Information för platschefer

---

GNSS-control  
Information for site managers

---

Robin Nabrink, Andreas Svensson

Fakulteten för hälsa, natur- och teknikvetenskap

---

Examensarbete

---

22,5 HP

---

Malin Olin

---

2013-12-02

---

## Sammanfattning

Maskin-/GNSS-styrning är en maskin som kan styras med en integrerad mätutrustning. Med maskinstyrning kan maskinisten i en grävmaskin mäta under utförandet och kan göra utsättning och inmätning på ställen där det kan vara besvärligt, till exempel under vattenytan. Även på riskområden som i djupa schakter och bergslänter är det fördelaktigt.

Denna teknik är relativt ny och behövs för att kunna konkurrera med ledande företag i byggbranschen. Allt för att kunna avsluta ett arbete med kvalitet på kortast tid till lägst pris.

På de flesta ställen där GNSS-styrning tillämpats har det framgått att det är ekonomisk försvarbart. Trots detta appliceras inte maskinstyrning på alla arbeten där det är möjligt. Det beror delvis på att det går att öka platschefers kunskap för denna teknik.

För att öka platschefers kunskap har vi tagit fram ett informationsblad som frambringar både fördelar och begränsningar med maskinstyrning som är intressanta för denne. För att kunna genomföra detta intervjuades de parter som kommer närmast i kontakt maskinstyrning under utförandet. Nämligen platschefer och mättekniker.

Genom intervjuerna har det framgått att tid kontra ekonomi avgör om det är lämpligt att använda maskinstyrning på arbetsplatsen. Platschefens beslut avgörs i första hand utifrån ett ekonomiskt perspektiv, med det finns även andra förutsättningar och begränsningar som ges. Valet var därför att framhålla den ekonomiska biten mest men även arbetsmiljö, miljö och kvalitet har lyfts fram.

Med maskinstyrning undviker man stopp i produktion eftersom maskinen rent teoretiskt kan köra konstant eftersom denne hela tiden arbetar mot den digitala ritningen. Man kan även minska behovet av yrkesarbetare och mättekniker. Arbetet blir alltså effektivare.

Ur miljösynpunkt så minskar maskintimmarna, därmed minskar utsläppen från maskinerna till naturen. De främsta begränsningarna med maskinstyrning är fri sikt mot satelliter, radiokontakt och att noggrannheten inte kan bli bättre än ett par centimeter.

## **Abstract**

Machine/GNSS-control is a combined word for a machine with certain measurement equipment. Machine-control makes it possible for the operator in an excavator to do measures under circumstances which could be difficult or nearly impossible to do traditionally, such as underwater. It is also advantageous in deep excavations and in mountain plains.

This technique is relatively new and needed to be able to compete with the leading companies in the construction industry. Anything to be able to finish the work with quality in the shortest time and at the lowest price.

It has shown that in places where GNSS-control has been used it has also been economical and viable. Although it is not machine control applied on all worksites where it is possible. That is partly because it is possible to increase the site managers' knowledge of this technology.

In order to increase the site managers' knowledge, we have developed an information sheet that brings both benefits and limitations of machine-control that are interesting to them. In order to do this we have interviewed the parties that are in immediate contact with machine-control during the execution. Namely, site managers and measurement techniques.

Through the interviews, it appeared that time versus economy determines whether it is appropriate to use the machine control in the workplace. Site manager's decisions are determined primarily from an economic perspective, but there are also other prerequisites and limitations. The choice was therefore to emphasize the economic part the most, but also health and safety, environment and quality have been emphasized.

Machine control avoids stops in the production because the machine could theoretically run constantly by itself towards the digital drawing. It can also reduce the need for workers and measurement techniques. The work does become more effective. From an environmental perspective it reduces engine hours, thereby reducing emissions from the machines to the environment. Limitation with machine-control is that the GPS needs a clear view for the satellites, radio contact and that the accuracy cannot be better than a few centimeters.

# Innehållsförteckning

<b>Sammanfattning</b> .....	<b>1</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>2</b>
<b>1. Inledning</b> .....	<b>1</b>
1.1 Bakgrund.....	1
1.2 Mål.....	2
1.3 Syfte.....	2
<b>2. Teori</b> .....	<b>3</b>
2.1 Satellitnavigering .....	3
2.1.1 GPS.....	3
2.1.2 GLONASS.....	4
2.1.3 Galileo.....	4
2.2 Mätmetoder .....	5
2.2.1 Kodmätning .....	6
2.2.2 Bärvägsmätning.....	6
2.3 Positionsbestämningsmetoder.....	7
2.3.1 Absolut positionsbestämning.....	8
2.3.2 Relativ positionsbestämning.....	8
2.3.2.1 Statisk mätning .....	9
2.3.2.2 DGPS.....	9
2.3.2.3 RTK.....	9
2.3.2.3.1 Enkelstations-RTK.....	10
2.3.2.3.2 Nätverks-RTK.....	10
2.3.2.3.2.1 SWEPOS .....	10
2.4 Felkällor .....	11
2.4.1 Atmosfärspåverkan .....	11
2.4.1.1 Jonosfären.....	11
2.4.1.2 Troposfären.....	12
2.4.2 Klockfel.....	12
2.4.3 Bandatafel.....	12
2.4.4 Flervägsfel .....	13
2.4.5 Satellitkonfiguration .....	13
2.4.6 Sikthinder .....	13
2.5 Generellt om maskinstyrning.....	14
2.5.1 Grävmaskin.....	15
2.5.1.1 Enfallssystem.....	15
2.5.1.2 Tvåfallssystem .....	16
2.5.1.3 3D och GNSS-styrning.....	17
2.5.2 Bandschaktare.....	18
2.5.2.1 Manuella system.....	18
2.5.2.2 Hydrauliska system .....	19
2.5.2.3 3D-system .....	19
2.5.3 Väghyvel.....	20
2.5.3.1 Tvåfallssystem .....	20
2.5.3.2 3D-system .....	20
<b>3. Metod</b> .....	<b>21</b>
<b>4. Resultat</b> .....	<b>23</b>
<b>5. Analys</b> .....	<b>28</b>
<b>6. Slutsats</b> .....	<b>31</b>
<b>7. Tackord</b> .....	<b>32</b>

<b>8. Referenslista .....</b>	<b>33</b>
<b>9. Bilagor .....</b>	<b>37</b>

# 1. Inledning

## 1.1 Bakgrund

Bygg- och anläggningsbranschens jobb är alltid pressat tidsmässigt och ekonomiskt. Den som lägger lägst anbud och kan avsluta jobbet på kortast tid blir oftast mest intressant för byggherren. För att kunna konkurrera med ledande företag gäller det att använda den senaste och effektivaste tekniken på marknaden. Allt för att utföra arbetet på kortare tid, med hög precision och till lågt pris.

En av dessa tekniker som börjat användas på senare tid för att effektivisera bygg- och anläggningsarbeten är maskinstyrning. Maskinstyrning används som hjälpmedel till maskiner i form av integrerad mätutrustning. Dessa system är kompatibla med grävmaskiner, bandschaktare, hjullastare, borrhög och KC-maskiner.

En komplett utrustning består av ett grävsystem, GeoROG och GPS och eventuellt en dubbel-GPS. Med denna utrustning har maskinisten alltid sin position och kan arbeta utifrån en digitalritning i maskinen. Med dessa hjälpmedel kan arbetet utföras med mindre omfattning när det gäller utsättning och inmätning då maskinisten kan sköta mycket eller allt på egen hand. Detta kan gynna de viktigaste parametrarna i byggbranschen, nämligen ekonomi, miljö, arbetsmiljö och kvalitet.

Från anställda på Scanlaser och Skanska Sverige AB framgick det tidigt i studien att det går att öka platschefers kunskap för maskinstyrning och därmed applicera tekniken på fler arbeten där det är lämpligt.

I dagsläget är det kommunikationen mellan mätteknikern och platschefen som avgör om rätt teknik tillämpas på platsen. Mätteknikern besitter oftast den kunskapen som behövs för att kunna bedöma om det är fördelaktigt och förmedlar detta till platschefen som fattar beslut. Genom att öka platschefens kunskap när det gäller maskinstyrning kan man bättra på kommunikationen mellan de båda parterna vilket kan resultera i ett effektivare utförande.

## **1.2 Mål**

Ta fram den informationen platschefer behöver för att applicera maskinstyrning.

## **1.3 Syfte**

Ge platschefer en bredare grund att fatta beslut för maskinstyrning.

## 2. Teori

### 2.1 Satellitnavigering

Global Navigation Satellite Systems förkortas GNSS och är ett samlingsnamn för satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystem[1]. GNSS inkluderar det amerikanska Global Positioning System (GPS), det ryska Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS), det europeiska Galileo samt det kinesiska Compass[2].

Det första och mest kända GNSS som utvecklades var GPS i början på 1970-talet[3]. Detta system användes mest för navigering till sjöss och i luft, men landnavigeringen har ökat kraftigt på senare tid. Exempelvis är de moderna bilarna och mobiltelefonerna utrustade med en GNSS-mottagare.

Utöver navigering tillämpas GNSS med varierande noggrannhetskrav, till exempel inmätning, geodetisk stommätning, maskinguidning, deformationsmätning, meteorologiska studier och tidssynkronisering[4]. Med hjälp av stödsystemet Nätverks-RTK finns möjlighet till realtidsmätning med centimeternoggrannhet[5].

#### 2.1.1 GPS

NavStar GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) är ett amerikanskt system som utvecklades av det amerikanska försvaret 1973 och blev operationellt 1993[4]. Det finns minst 4 tillgängliga satelliter jorden runt under 99.9% av tiden som ger möjlighet till positionsbestämning över hela världen, dygnet runt, oberoende väder, i realtid. Det amerikanska försvaret som förvaltar systemet garanterar 24 satelliter totalt, oftast fler[6], i dagsläget finns 31 stycken tillgängliga[7]. Dessa satelliter är tillgängliga för allmänheten och är kostnadsfri.

Satelliterna övervakas och styrs av det så kallade kontrollsegmentet[6]. Det nuvarande segmentet består av en driftledningscentral, en suppleant driftledningscentral, 16 övervakningsstationer och 12 antenner placerade världen över som kontinuerligt registrerar satellitsignaler[18].



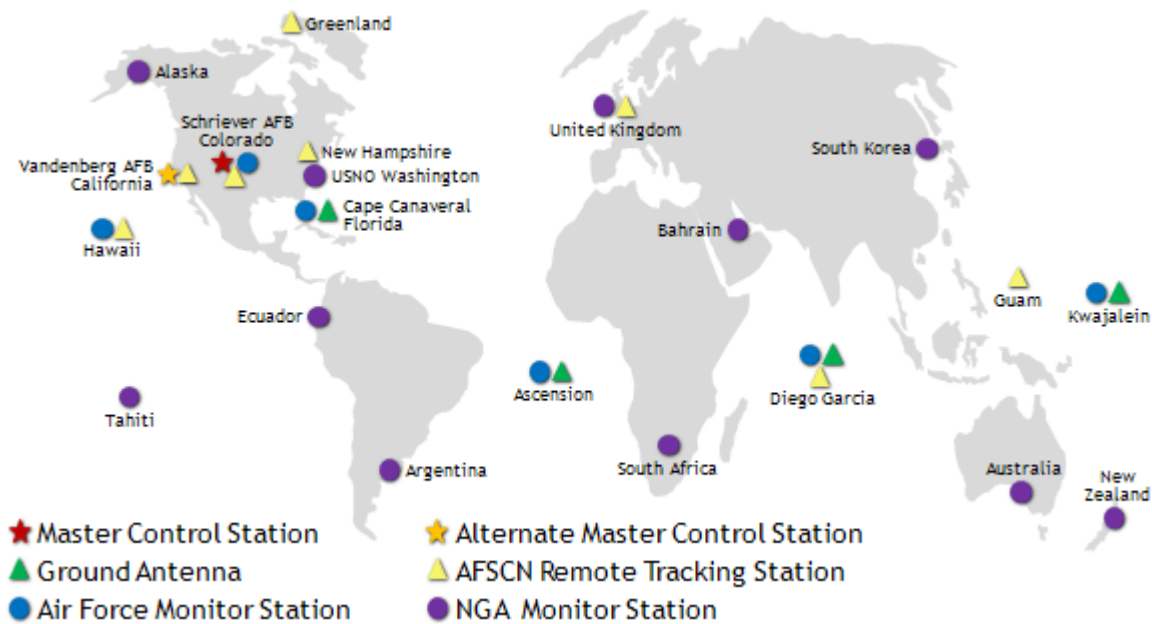


Fig. 1. [36]. Beskriver stationsspridning i världen.

### 2.1.2 GLONASS

GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) är ett ryskt system likt GPS med global täckning för militärt bruk. GLONASS blev operationellt några år efter GPS, närmare bestämt 1996[6]. Detta system ska också innehålla 24 satelliter (21 + 3 reserv) vilket det gör i dagsläget[8].

### 2.1.3 Galileo

Galileo är det europeiska svaret på satellitnavigeringssystemet. Detta system är i grunden civilt till skillnad mot de tidigare två nämnda, och ägs av den europeiska myndigheten GSA (European GNSS Supervisory Authority). Denna myndighet styrs av EU som har ett samarbetsavtal med den europeiska rymdstyrelsen ESA (European Space Agency). Systemet ska vara kompatibelt med GPS och GLONASS. Utvecklingen av Galileo-systemet började 1999[6]. Då systemet arbetar med både GPS- och Galileosignaler kommer GNSS ha möjlighet att tillämpas där det ställs högre krav på precision. Exempel på detta kan vara vägledning av blinda, öka framgången för svåra räddningsoperationer i berg samt bevaka människor som lider av Alzheimers sjukdom.

Tillgängligheten kommer dessutom förbättras då ett högre antal satelliter finns till förfogande. I kombination med satelliternas position kommer Galileo att uppnå en bättre täckning än andra system, vilket är intressant på höga breddgrader i norra

Europa, som för närvarande GPS inte täcker fullständigt. Det höga antalet satelliter bidrar till bättre tillgänglighet i större städer där höga hus bryter signalen mellan mottagare och satellit.

Systemet är planerat att vara i full drift år 2020 med totalt 30 stycken satelliter. I dagsläget finns 4 operativa satelliter i omloppsbanan[9].

En anledning till att göra ett europeiskt system är för att GPS, GLONASS och andra regionala system utvecklats av Japan och Kina i grunden är militärt. Dessa system som är tillgängliga för allmänheten kan exempelvis reduceras eller stängas ned vid en konflikt vilket skulle kunna vara förödande då samhället idag är såpass beroende av tekniken. Dessa störningar skulle bland annat inverka på affär, bank, transport, flyg och kommunikation vilket kan bli kostsamt i form av intäkter och trafiksäkerhet[10].

## 2.2 Mätmetoder

Positionsbestämning är möjlig med hjälp av en GNSS-mottagare som mäter tiden det tar för signalen att ta sig från satellit till mottagare. Eftersom satelliternas position och dess utbredningshastighet är kända (=ljusets hastighet) kan tiden omvandlas till ett avstånd[6]. För att få horisontal position krävs minst 3 stycken satelliter, och minst 4 satelliter för horisontal och vertikal position. Desto fler satellitsignaler mottagaren kan ta emot ju högre noggrannhet uppnås[11].

Det finns olika mät- och beräkningsmetoder för att bestämma position beroende på krav på noggrannhet och aktualitet. Beroende på krav skiljer man på navigering, kinematisk positionsbestämning och statisk positionsbestämning.

*Navigering* innebär förflyttning mellan punkt A och B med löpande positions- och kursuppdatering, vilket kräver positionsbestämning i realtid. *Kinematisk positionsbestämning* är då GNSS-mottagaren är i rörelse och beräkningen kan ske både i realtid och i efterhand. Vid *statisk positionsbestämning* kan GNSS-mottagaren stå stilla under några minuter upp till flera dygn beroende på hur noggrann mätning som krävs och beräkningen utförs i allmänhet i efterhand.

Kodmätning respektive bärvågsmätning är två olika metoder för avståndsmätning mellan mottagare och satellit.

## 2.2.1 Kodmätning

Från satelliten återskapas koden direkt i GNSS-mottagaren i form av en kopia. Den mottagna koden från satelliten jämförs med den som skapats i mottagaren och fördröjningen mellan de båda koderna mäts med hjälp av tidsmarkeringar.

Fördröjningen som uppmätts motsvarar den tid det tar för den utsända signalen att ta sig från satellit och mottagare, s.k. gångtid. Då utbredningshastigheten är känd kan man med hjälp av gångtiden beräkna avståndet mellan satellit och mottagare. Pseudoavstånd brukar detta avstånd kallas eftersom det i allmänhet innehåller fel som uppstår på grund av att mottagarklockan inte är fullständigt synkroniserad med satellitklockan[12].

Denna typ av mätning är enkel och går snabbt att utföra. Beroende på vilken typ av mottagare man använder kan noggrannhet mellan några decimeter till några meter uppnås[13].

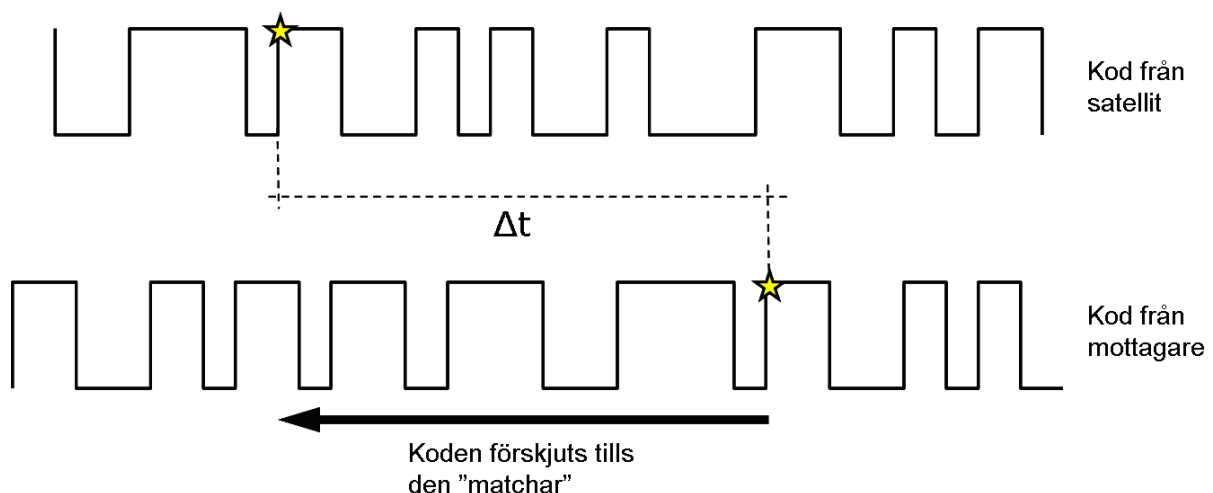


Fig. 2. [37]. Beskriver kodmätning.

## 2.2.2 Bärvägsmätning

Det skapas en signal i GNSS-mottagaren som har samma frekvens som GNSS-systemets bärväg. Signalfrekvensen som tas emot från satelliten kombineras med den frekvens som genererats i mottagaren. Signalens gångtid (fördröjning) kan inte mätas upp direkt på grund av att bärvägen inte innehåller några tidsmärken.

Avståndet mellan mottagare och satellit kan i princip uttryckas som ett antal hela bärvägsperioder plus del av period. Genom fasmätning, som är en relativt okomplicerad procedur kan man bestämma den delen av perioden. Antalet hela

perioder vid den tidpunkt då mätningen började, s.k. periodbekanta, måste bestämmas för att avståndet mellan mottagare och satellit ska kunna bestämmas[12]. Denna process kallas initialisering vid realtidsmätning. En s.k. fixlösning erhålls när initialiseringen är klar och innan denna är klar ger mottagaren en s.k. flytlösning.

Från den tidpunkt då mottagaren först låste på signalen räknas förändringen av antalet hela våglängder vid bibehållen låsning av satellitsignalen. Så kallade periodbortfall är då tillfälliga avbrott i signallåsningen uppstår, vilket leder till att ett okänt antal våglängder "förloras". Vid realtidsmätning sker denna korrigering automatisk i mottagaren eller i ett beräkningsprogram vid efterberäkning av data[6]. Med bärvågsmätning kan man uppnå noggrannheter ned till några millimeter med rätta förhållanden[13].

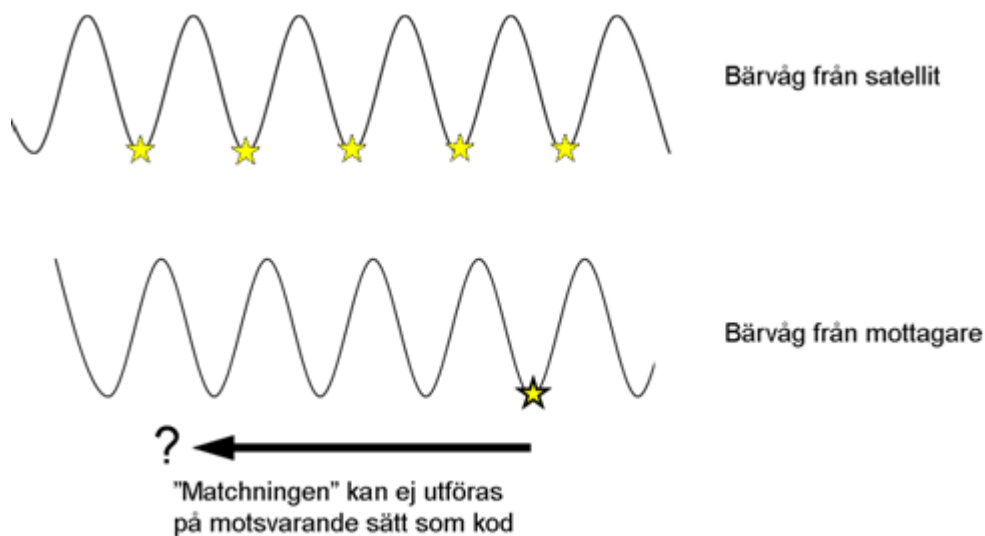


Fig. 3. [38]. Beskriver bärvågsmätning.

## 2.3 Positionsbestämningsmetoder

För att mottagarens position ska bestämmas måste avståndet till satelliterna kombineras med information om satelliternas positioner vid utsändningen av signalerna. Vid användning av en mottagare kallas det absolut positionsbestämning och då två eller flera mottagare arbetar tillsammans kallas det relativ positionsbestämning.

### **2.3.1 Absolut positionsbestämning**

Absolut positionsbestämning är den enklaste formen av positionsbestämning. Kodmätning används för att bestämma avstånd till satelliterna. Genom inbindning i rymden bestäms mottagarens position i direkt förhållande till satelliterna. Det krävs minst fyra satelliter för att bestämma tredimensionell position. De fyra obekanta (longitud, latitud, höjd och mottagarklockkorrektions) ska bestämmas[6]. Denna typ av positionsbestämning är den vanligaste vid navigering eller vid tillämpningar där hög noggrannhet inte krävs. Utförande kan göras med stillastående mottagare, statisk mätning, eller med rörlig mottagare.

### **2.3.2 Relativ positionsbestämning**

Är kraven högre vad gäller noggrannhet används relativ positionering. Det innebär att två eller flera mottagare mäter mot samma satelliter. Den ena mottagarens position bestäms i förhållande till en känd punkt. Denna mottagare utgör referensstationen och den andra mottagaren kallas rover, som är rörlig och mäter punkter som ska koordinatbestämmas[15]. Genom differensbildning mellan mätningar av de båda punkterna kan de flesta fel elimineras eller reduceras vid relativ mätning[6]. Genom att jämföra det mätta och det faktiska avståndet mellan stationerna kan korrektionsdata beräknas. Genom denna metod kan den rörliga mottagaren korrigeras och ge en noggrannare position[15]. Mottagarna måste minst mäta mot fyra gemensamma satelliter för att få en korrigerad position.

Referensstationen som etableras på en känd punkt kan antingen vara tillfällig eller som en fast installation. Den fasta referensstationen som antingen kan etableras i egen regi eller som en tjänst som kan användas av flera användare inom täckningsområdet[6].

Det tre vanligaste relativa mätmetoderna är statisk mätning, DGPS och RTK.

### 2.3.2.1 Statisk mätning

Statisk mätning innebär att mätdata samlas in kontinuerlig under en längre tid på samma punkt för att på så sätt öka noggrannheten. Dessa data förs sedan över till dator för efterbearbetning. Denna metod är lämplig då högsta noggrannhet eftersträvas[15].

Man kan komma ner på ett medelfel på 5-30mm i plan med denna metod.

### 2.3.2.2 DGPS

DGPS (Differentiell GPS) innebär relativ kodmätning eller bärvågsunderstödd kodmätning. En mottagare placerad på känd position beräknar skillnaden mellan den mätta positionen och den kända positionen och skickar korrektionen till den rörliga mottagaren (rovern)[6]. De fel som korrigeras med denna metod är alltså de mottagarfelen som uppstår dvs. klockfel och banfel hos satelliter samt fel av signal orsakade av passage genom jonosfär och troposfär[15]. Noggrannheten med den här metoden är 0,5-5m i plan[6].

### 2.3.2.3 RTK

RTK (Real Time Kinematic) ger positionen direkt ifält genom bärvågsmätning. Utöver att GNSS-mottagarna ska klara av bärvågsmätning krävs det också radiokommunikation som klarar av överföring av RTK-data mellan mottagarna i realtid. RTK-mätning av den enklaste formen sker med hjälp av två RTK-utrustningar: En referensstation med känd position och en rörlig mottagare (rover) placerad på den punkt man vill bestämma. Med hjälp av den relativa positioneringen erhålls en position med ett medelfel på 10-30mm i plan[16]. Den rörliga mottagaren måste initialiseras (periodbekanta ska lösas) för att fixlösning ska erhållas. Det finns tre olika sätt att åstadkomma detta på:

- Känd punkt
- Snabb statisk mätning
- "flygande" bestämning av periodbekanta (OTF – On The Fly ambiguity resolution), vilket kräver minst fem satelliter.

I dag används nästan uteslutande det sistnämnda för bestämning av periodbekanta[6]. Tidsåtgången för initialiseringen är från ca tio sekunder till några minuter, beroende på

förhållande. Det kan bero på bland annat antal satelliter, satellitgeometrin, avstånd mellan referensstation och rover samt stora eller snabba förändringar i jonosfär eller troposfär[16].

### 2.3.2.3.1 Enkelstations-RTK

Vid användning av enkelstations-RTK används data från enbart en referensstation. Arbetsområdet för detta fungerar upp till 30-40km från referensstationen. Man måste ha tillgång till två RTK-utrustningar, en referensstation samt en rover. Dessutom en egen datalänk för överföring av data[6].

### 2.3.2.3.2 Nätverks-RTK

Användning av nätverks-RTK innebär att ett antal fasta referensstationer fungerar i ett nätverk som ger användare tillgång till sömlös RTK-mätning med jämförbar kvalitet i hela täckningsområdet. Jämfört med enkelstations-RTK kan avståndet mellan de fasta referensstationerna ökas från 30-40km till ca 70km med bibehållen noggrannhet och initialiseringstid.

De permanenta referensstationerna skickar GNSS-observationer fortlöpande till en driftledningscentral, som samlar information över felkällor för att skapa en modell. Den rörliga mottagaren skickar data med ungefärlig position till centralen. Med den ungefärliga positionen och felmodellen "simulerar" driftledningscentralen en virtuell referensstation (VRS) i närheten av den rörliga mottagaren[17].

#### 2.3.2.3.2.1 SWEPOS

SWEPOS är det nationella nätet av fasta referensstationer för GNSS. Driftledningscentralen på Lantmäteriet i Gävle står för drift och underhåll av SWEPOS-nätet. Nätet består av 41 klass A-stationer och över 150 klass B-stationer[32]. Skillnaden mellan dessa är att klass A-stationer är gjuten i betong eller monterad på fackverksmast som står på berggrund medan klass B-stationer är antennen ofta placerad på hustak[31].

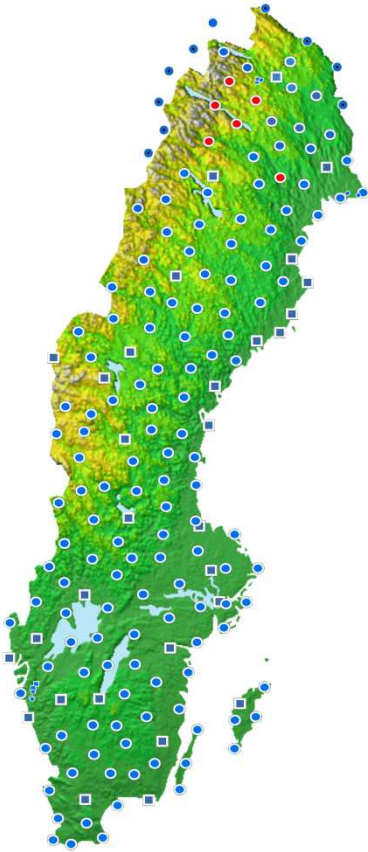


Fig. 4. [31]. visar spridningen av stationer i Sverige.

## 2.4 Felkällor

Det finns en rad olika faktorer man behöver beakta vid utnyttjandet av GNSS-mätning. Det kan handla om fel hos satellit, mottagare eller överföringen mellan satellit och mottagare. Med olika metoder kan dessa fel reduceras eller helt elimineras.

### 2.4.1 Atmosfärspåverkan

Satellitssignalen som skickas mellan satellitmottagare påverkas genom sin väg i atmosfären av jonosfären och troposfären. Signalen påverkas olika mycket beroende avstånd och tid på dygnet.

#### 2.4.1.1 Jonosfären

50-1000km ovanför jorden finns det skikt som kallas jonosfären. Solens strålning gör att elektroner frigörs och beroende på hur stor mängden fria elektroner är tar signalerna



från GNSS-satelliterna olika vägar och påverkas olika mycket. Bärvägsmätningarna blir kortare och kodmätningar blir längre samt att signalerna påverkas olika beroende på signalens frekvens. Signalvägen går att beräkna genom att mäta två frekvenser. Detta är huvudanledningen till att minst två olika frekvenser sänds från GNSS-satelliter.

Satelliter som står lågt på himlakroppen påverkas mest då dess signal måste färdas en längre sträcka genom jonosfären. Genom att ange ett värde för vilken elevationsgräns mottagaren ska ta emot signaler, kan man eliminera signaler från "dåligt" placerade satelliter. Ett normalt värde på elevationsgräns är ca 10-15 grader.

### **2.4.1.2 Troposfären**

Det skikt som återfinns ca 0-10km ovanför jordytan är Troposfären. I detta skikt finns molekyler som till exempel kväve, syre och vattenånga som fördröjer satellitsignalen. De fel som uppstår i troposfären hanteras genom en standardmodell över troposfären[6].

### **2.4.2 Klockfel**

Det uppstår ett klockfel då satellitklockan och mottagarklockan inte är helt synkroniserade med varandra. Den sända signalen sänds inte ut respektive tas inte emot vid exakt tid. Då satelliterna är utrustade med atomklockor med mycket hög precision är det oftast mottagarklockornas fel som är störst. De klockfel som uppstår går att reducera eller helt eliminera med hjälp av relativ mätning[35].

### **2.4.3 Bandatafel**

Satelliter sänder kontinuerligt ut banddata information, d.v.s. satelliters position. Den sända datan har ett medelfel på 3-5m vilket ger upphov till fel i mätningarna. Mätfelet uppgår till någon/några millimeter vid avstånd på <10-30km från referensstation.

Skulle man befinna sig längre ifrån eller har högre krav på noggrannhet kan efterberäkningar genomföras och på sätt få bättre noggrannhet.

#### 2.4.4 Flervägsfel

Flervägsfel uppstår då signalen från satellit till GNSS-antenn reflekteras på ytor som exempelvis plåttak, en spegelvägg eller en spegelblank vattenyta. Signalen har då tagit en längre väg och resulterar i ett avståndsfel. Man kan reducera detta med en anpassad antenn med jordplan (reflektion kan ej komma underifrån) och även genom signal- och databehandling[6].

#### 2.4.5 Satellitkonfiguration

Det finns ett kvalitetsmått för absolut positionsbestämning på geometrin, s.k. DOP-tal. DOP (Dilution of precision) är ett mått hur bra satellitgeometrin är. Ju bättre satelliterna är fördelade på himlavalvet desto bättre DOP-värde får man. De vanligaste DOP-tal är:

- GDOP (Geometrical DOP), vilket motsvarar positionsbestämning med tre positionskoordinater och klockfel.
- PDOP (Position DOP), vilket motsvarar endast tre positionskoordinater som obekanta[14].

#### 2.4.6 Sikthinder

För att få mottagarens position krävs det fri sikt till satelliten. Det kan handla om höga byggnader eller tät vegetation som gör att kontakt med tillräckligt många satelliter inte blir möjlig.

Vilken typ av skog det är påverkar GNSS-mätningen olika. Är det lövträdsskog går vanligen inga satellitsignaler igenom, medan signalen går igenom barrträdsskog, dock något dämpad vilket resulterar i sämre positionsnoggrannhet[6].

## 2.5 Generellt om maskinstyrning

Med maskinstyrning menas att en eller flera entreprenadmaskiner styrs av ett eller flera mätinstrument. Dess delsystem och olika sammansättningar kan anpassas efter arbetsmoment. Beroende på vilken kombination som tillämpas på maskinen kan styrningen ske i en, två eller tre dimensioner.

Den enklaste maskinstyrningen består av endast ett s.k. sensorsystem, som används för att bestämma styrningen i en riktning. Sensorsystemet bestämmer tvärfallet i riktningen för utförandet med hjälp av en referenspunkt. Ett mer komplext sensorsystem kan genomföra arbetet i två dimensioner. Då kan maskinen även roteras utan att en ny referenspunkt behövs. Förflyttas den så behöver maskinisten dock mäta in en ny punkt. Exempel på referenspunkter kan vara; GNSS-kordinater, sten, flukt, laserplan eller annan känd punkt.

En eller två GNSS-mottagare gör det möjligt att arbeta i 3-dimensioner. Den monteras oftast tillsammans med pitch- roll- och lutningssensorn på maskinens rotationscentrum. En sensor är monterad på vardera rörlig del fram till den punkt där arbetet skall utföras, oftast skopa eller blad. Tillsammans med GNSS-kordinater från mottagaren beräknas då den punkten där arbetet utförs på den teoretiska modellen. Maskinisten kan med hjälp av en GeoROG som är monterad i hytten se den digitala modellen.

Maskinstyrning var från början vanligast vid vägbyggen och järnvägsbyggen men blir allt vanligare på andra anläggningsarbeten. Det används i dagsläget för till exempel;

- Rörläggning
- Undervattensarbeten
- Planeringsarbeten
- Schaktning etc.

Noggrannheten för maskinstyrning varierar beroende på vilken kombination av delsystem som används.

## 2.5.1 Grävmaskin

Grävsystem i enfall och tvåfall utgår ifrån samma system med vinkelsensorer. Sensorsystemet består av tre olika sensorer. En bom-, skop- och eventuellt en sticksensor (se figur 5).

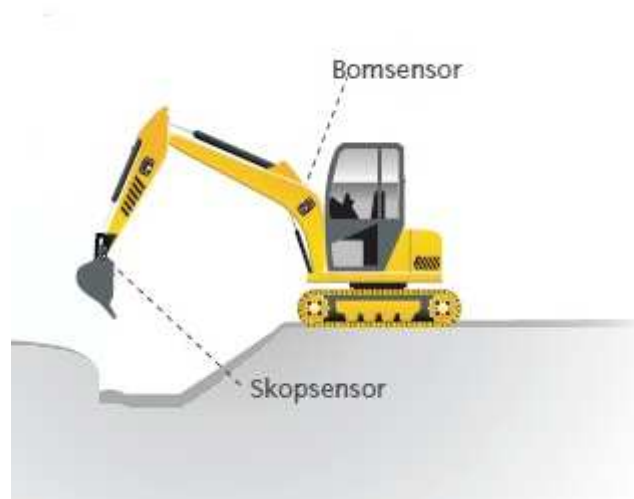


Fig. 5. [19]. Visar sensorerna placering i ett enfallssystem.

Sensorsystemet används för att bestämma skopans höjd utifrån en tidigare känd punkt, GNSS, totalstation eller ett laserplan[20]. Maskinisten kan då se i displayen placerad i hytten hur maskinen ligger i både plan och höjd i förhållande till det teoretiska underlaget.

### 2.5.1.1 Enfallssystem

I ett enfallssystem används det ovan nämnda sensorsystem för att bestämma skopans höjd. Sticksensorn har dessutom en inbyggd lasermottagare som kan användas som referenspunkt från till exempel en totalstation. Förutom en höjdreferens från lasermottagaren kan en fysisk höjd från till exempel flukt eller kantsten användas för att nollställa systemet. Förflyttas maskinen måste en ny referenspunkt användas.

I enfallssystemet arbetar man med en lutning och höjd i endast en riktning. Det ger maskinisten den information som krävs för att genomföra grävningen av sådan sort. Med hjälp av en kontrollbox i hytten avläses höjden på skopan eller önskat schaktdjup [19].

## Användningsområden för enfallssystem

Enfallssystemet lämpar sig bra vid arbeten där ett man har ett angivet djup för schaktning. I och med att maskinisten kan se djupet på skopan i displayen underlättar arbeten vid dålig sikt, exempelvis undervattensarbeten. Med enfallssystemet går det även att arbeta med en specifik lutning som är fördelaktigt vid slänt och rörlägningsarbeten.

### 2.5.1.2 Tvåfallssystem

I ett tvåfallssystem kan man arbeta med djup, lutning och avstånd [21]. Förutom de sensorer som används kombinerat med ett enfallssystem finns även en rotationssensor(kompass) monterad på maskinens motvikt (se figur 6). Denna sensor kompenserar för maskinens lutning, vilket gör att man kan arbeta med två olika lutningar, i längs- och tvärled (pitch och roll) [22].

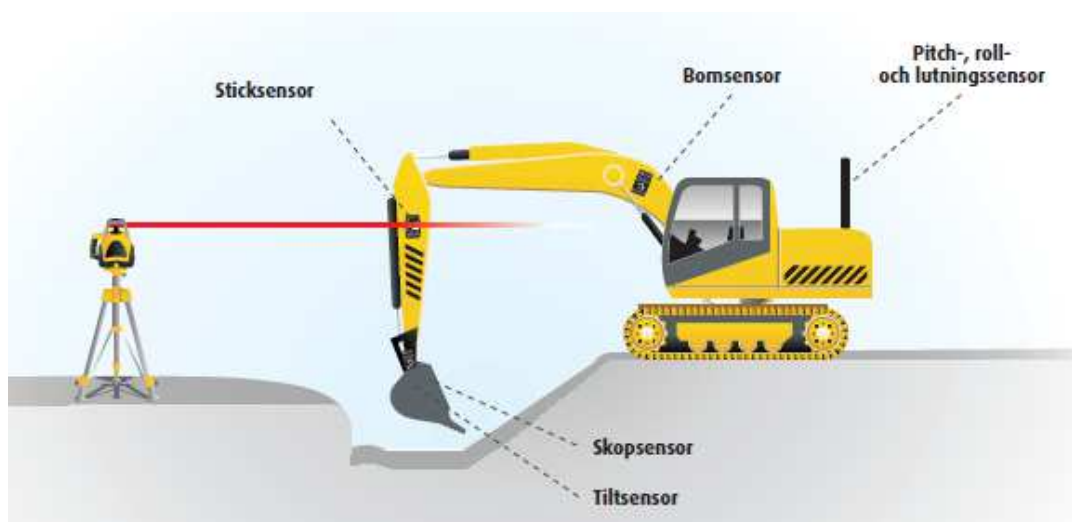


Fig. 6. [22]. Visar placeringen av de olika sensorerna i systemet.

Precis som i enfallssystemet, placerar maskinisten skopan mot en referenspunkt i form av till exempel en flukt, kantsten eller laserplan och skriver sedan in höjden. Flyttar maskinisten skopan används samma referenspunkt och denne får den nya höjden automatiskt. Skulle denne däremot flytta maskinen måste en känd punkt återigen användas[21].

## Tvåfallssystem med tilt

Om arbetet kräver en vriden skopa kan en tiltsensor monteras. Det innebär att systemet även kommer att kompensera för de höjdfel som denna vridning medför. Detta kan vara användbart när man arbetar på ojämn mark med tvåfallssystem och vid behov av tiltad/vriden skopa.



Fig. 7. [22]. visar en tiltsensor dess funktion.

## Användningsområden för tvåfallssystem

Utöver användningsområden med enfallssystem arbetar tvåfallssystemet i två dimensioner, längs- och tvärled. Detta system är fördelaktigt för arbeten som kräver utförande i två riktningar.

### 2.5.1.3 3D och GNSS-styrning

Förutom de sensorer som används i ett tvåfallssystem appliceras en eller två GNSS-mottagare för positionering mot en digital modell[23]. Maskinens styrsystem kan därmed beräkna GNSS-positionen för grävmaskinens skopa[21]. Denna position kan sedan tas emot av ett maskinstyrningssystem(GeoROG) som beräknar skillnaden mellan detteoretiska underlaget och skopans nuvarande position. Den kända punkten i detta system ärGNSS-kordinater.GeoROG'en visar maskinisten både visuellt och numeriskt hur skopans förflyttar sig på den digitala modellen.

Om en totalstation har en monterad GNSS-mottagare kan maskinen använda denna som referenspunkt för utförande i 3D. Maskinstyrningssystemet tar då emot koordinaterna genom en riktad laser mot en prisma på maskinen. Behövs högre precision används en bas- eller referensstation. Basstationen är placerad så att den är åtkomlig av alla maskiner som kräver access [21].

Ett grävsystem i 3D kan utrustas med en eller två GNSS-mottagare. Med en mottagare krävs det att maskinen roteras ett halvt varv varje gång maskinen förflyttas för att bestämma skopans position och riktning. Är grävsystemet utrustat med dubbla GNSS-mottagare utesluts detta moment, vilket gör denna lösning till det mest komplexa systemet [24]. I dagsläget används nästan alltid dubbla mottagare.

Ett grävsystem i 3D med GPS-styrning består alltså av tre olika delar [21].

- Positionering från GNSS eller totalstation
- Grävmaskinens sensorsystem
- GeoROG

## **2.5.2 Bandschaktare**

Maskinstyrningen hos en bandschaktare kan delas in i tre olika system. Manuella system, självjusterande system och 3D-system. Sensorsystemet hos båda dessa består av en lutningssensor. Skillnaden på detta system och det som appliceras på en grävmaskin är att en bandschaktare har färre rörliga delar och det krävs därmed inte fler sensorer för att bestämma skopans tvärfall [25] [26].

### **2.5.2.1 Manuella system**

Med det manuella systemet på bandschaktaren menas att bladet måste ställas in manuellt av maskinisten. Detta kan genomföras på två olika sätt. Antingen genom en lasermottagare monterat på masten vid bladet tillsammans med tvärfallssensorn. Eller ett enklare system där man använder en lasermottagare vid bandschaktarens rörliga del. Masterna kan vara så att man ställer in höjden manuellt eller så är de ställs in automatiskt. Båda tillvägagångssätten bestämmer lutningen på bladet [26].

### 2.5.2.2 Hydrauliska system

På en bandschaktare med självjusterande system används informationen från sensorsystemet och den önskade höjden tillsammans med en hydraulstyrningsenhet för att själv justera bladets läge. Resterande komponenter är oförändrade i jämförelse med det manuella systemet.

Är endast en lasermottagare monterad på bladets mast tillsammans med tvärfallssensorn måste maskinen köras i samma riktning som lutningen. Två mottagare tillåter däremot körning i alla riktningar [26].

### 2.5.2.3 3D-system

En bandschaktares 3D styrsystem består av tre olika delar:

- GeoROG
- Sensorsystem
- Positionering från GNSS eller totalstation

I 3D-systemet kan maskinen positioneras med hjälp av en totalstation eller GNSS. Där lasermottagaren sitter på tidigare nämnda systemet appliceras istället GNSS-mottagare eller en prisma. GeoROG'en visar både numeriskt och visuellt hur man ligger till i den digitala modellen.

GNSS ger inte lika hög noggrannhet som när man även använder en totalstation. Därför används det sistnämnda när hög precision krävs eller där GNSS tillgängligheten är dålig. Man kan även använda en basstation för högre noggrannhet med GNSS [25] [26].

I det mest komplexa 3D systemet appliceras två GNSS-mottagare på bladet. Då bestäms lutningen på bladet utan lutningssensor. Lutningen fås alltså från differensen mellan koordinaterna hos de båda mottagarna [24] [25].



### **2.5.3 Väghyvel**

Maskinstyrningssystemet liknar de som används på bandschaktare och grävmaskiner. Det enda som skiljer sig lite är att på en väghyvel finns ofta flera blad. Dessa är placerad framför förarhytten och kan ändras i tvärfall, höjd och rotationsled. Annars används totalstation, laser, känd punkt eller GNSS på samma sätt som referenspunkt. Tillgängliga system är tvåfalls och 3D [27].

#### **2.5.3.1 Tvåfallssystem**

Tvåfallssystemet har precis som bandschaktaren en lutningssensor placerad på bladet. Tillsammans med rotationsensor, längdfallssensor och ultraljudsenor utgör dessa ett komplett sensorsystem för väghyveln med tvåfallssystem[28]. Rotationssensorn är placerad i rotationscentrum för bladet, denna känner då av bladets roterande vinkel kring axeln. Längdfallssensorn är placerad på maskinens ram och mäter in lutningen i längdled. För att kunna lägga märke till uppstickande föremål eller avgränsningar används ultraljudssensorer.

För optimal användning mot arbetsmomentet går det att kombinera sensorerna och lasermottagaren på olika sätt. Vid arbete på jämn mark med så kallade stringlines behövs dubbla ultraljudssensorer. Behöver man nivåkontroll på jämn mark krävs endast en lasermottagare utan ultraljudssensor. Kombineras istället en ultraljudssensor med en lasermottagare som mäter höjd och tvärfall fungerar styrsystemet för jobb på ojämn mark. Tillämpas endast dubbla lasermottagare och en hydraulikenhet passar den för de flesta arbetsmomenten en väghyvel kan utföra [29].

#### **2.5.3.2 3D-system**

Tilläggsutrustningen för att kunna använda 3D system till väghyvel liknar de tidigare nämnda. GNSS används för positionering av maskinen. Men en totalstation används där tillgängligheten är dålig eller där hög precision krävs. Väghyvelns sensorsystem är samma som för tvåfallssystemet. För högre noggrannhet kan en referensstation eller basstation användas på samma sätt som för bandschaktare. Alltså en gemensam och tillgänglig för alla maskiner [28] [30].

### 3. Metod

Fakta som denna rapport bygger på kommer ifrån facklitteratur från biblioteket, kurslitteratur samt uppslagsverk på internet. För att få fram relevant litteratur som besvarar frågeställningen användes sökord som satellitnavigering, GPS, GNSS, Glonass, Galileo, kodmätning, bärvågsmätning, absolut positionsbestämning, relativ positionsbestämning, statiskt mätning, RKT, enkelstations RTK, nätverks RTK, Swepos, Felkällor GNSS, Maskinstyrning och GNSS-styrning. För att sedan bedöma hur tillförlitliga källorna är har informationen jämförts från olika författare.

Byggbranschen idag är pressad både tidsmässigt och ekonomiskt. Ekonomin är direkt beroende av tiden det tar att utföra ett arbete. Även om det är pressat får detta inte inkräkta på kvalitén. Med kvalité menas att utfört arbete motsvarar beställarens önskemål. Det är idag även stort fokus på arbetsmiljö och miljö. Alla dessa måste arbeta i jämvikt för strävan mot ett mer hållbart byggande. Därför valdes dessa förutsättningar samt begränsningar:

- Ekonomi
- Arbetsmiljö
- Kvalité
- Miljö

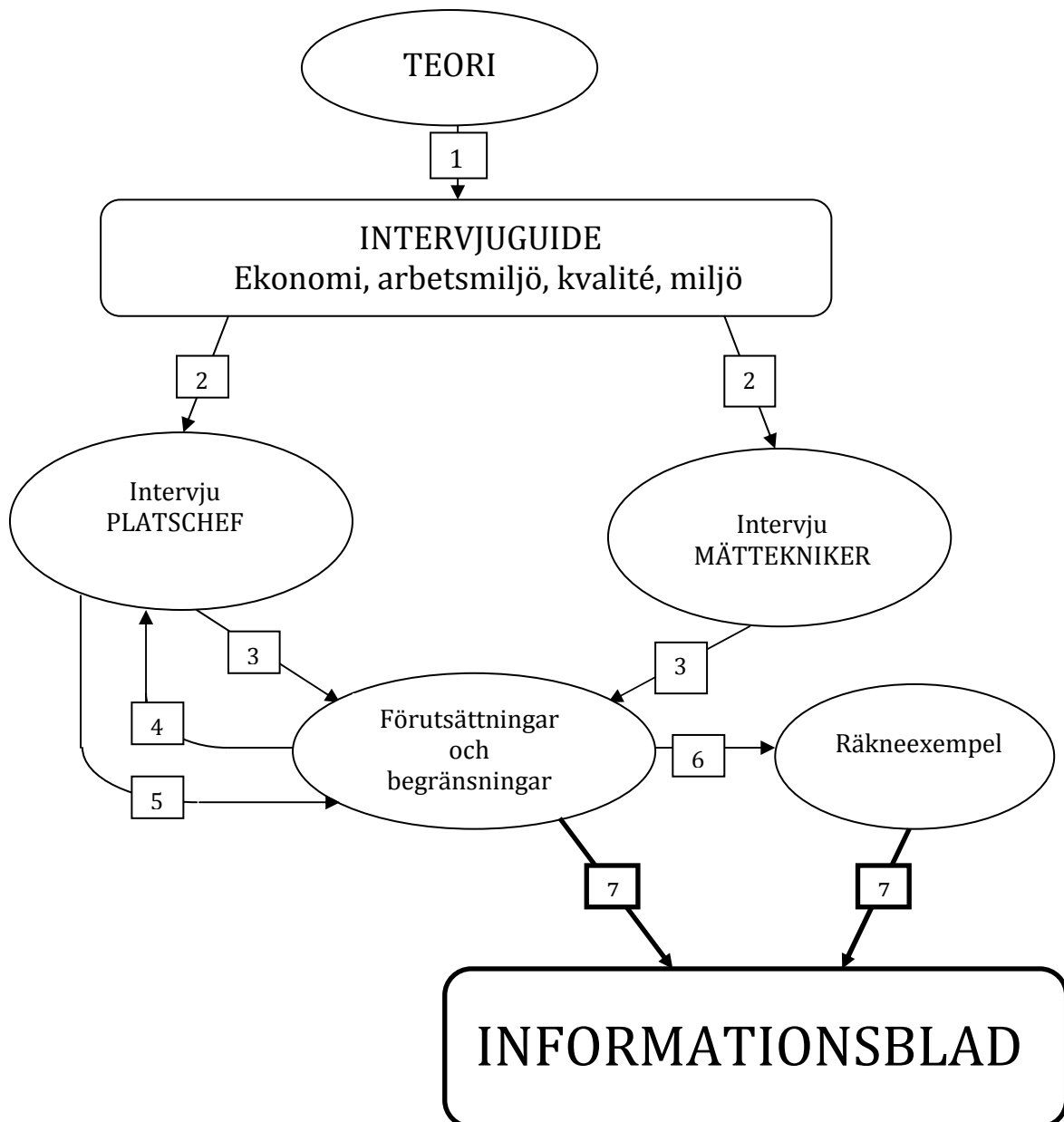
Dessa utgör olika teman till den kvalitativa intervjuguide där uppgiften är att ta reda på vilka förutsättningar och begränsningar som finns för dessa. Anledningen till att kvalitativ undersökning lämpar sig för denna studie är för att försöka förstå den intervjuades sätt att resonera och för att få en bredare förståelse av erfarenhet.

Eftersom erfarenhet och tankegång varierar beroende på vilken befattningen personen ifråga har så valdes att intervjua de som kommer i närmast kontakt med maskinstyrning; nämligen platschefer och mättekniker. Frågorna under intervjuerna kommer i sin tur att ha en låg standardisering. Med låg standardisering innebär att det inte finns några frågeformulär eller i förväg formulerade frågor. "Man formulerar sig t.ex. efter den intervjuades språkbruk, man tar frågor i den ordning de passar och den intervjuade får gärna styra ordningsföljden, följdfrågor formuleras beroende på tidigare svar"[33]. Målet med denna metod är för att skapa en diskussion kring de utvalda temana som tagits fram. Intervjuguiden finns som bilaga A i rapporten.

I slutändan kommer sammanställning av resultatet att presenteras för platschef för att komma åt det som för denne är mest intressant.

Det kommer även att kompletteras med ett räkneexempel. Till grund för detta räkneexempel är en kalkyl från ett vägarbete Skanska har utfört. I denna kalkyl är alla grävmaskinsarbeten utförda utan GNSS installerat. Dessa siffror jämfördes mot kostnader för samma utförande med GNSS installerat. GNSS kostnaderna samt en generell effektivisering är framtagna i samarbete med Skanska.

Hela processen presenteras i figuren nedan:



## 4. Resultat

Utifrån den teori som tidigare presenterats i rapporten samt de intervjuer som utförts påvisar att maskinstyrning har följande förutsättningar samt begränsningar ur en platschefs perspektiv. Detta resultat utgörs i form av ett informationsblad, vilket presenteras som bilaga B i rapporten.

### Ekonomi

Då maskinisten arbetar direkt mot digital ritning ges många fördelar:

- Behovet av utsättning från mättekniker minskar då maskinisten arbetar med samma digitala ritning. Detta medför att mätteknikern kan utföra andra arbeten.
- Minskar behovet av yrkesarbetare vid mätutförande arbeten som fluktning och lasermätning. Detta medför att yrkesarbetaren kan utföra andra arbeten.
- Undviker stopp i produktionen som uppstår då väntetid för utsättning, fluktning och lasermätning hade krävts.
- Maskinisten kan utföra inmätningar av exempelvis schaktbotten, berg och diverse objekt i mark.
- Minskade avvikelser vid exempelvis schakt- och fyllnadsarbeten genom direkt kontroll mot ritning, vilket minskar efterarbete.
- Minskade maskintimmar och bränsleåtgång då produktiviteten kan ökas vilket genererar i snabbare utförande av arbeten.

### Arbetsmiljö

- Risken för klämskador vid svängande maskin minimeras då behovet av yrkesarbetare och mättekniker vid mätutförande arbeten minimeras.
- Risken för skador vid ras minskar då behovet av yrkesarbetare i djupa schakter minskar.
- Risk för utmattning och skador minskar då bärande av utrustning och material som exempelvis stakkäppar undviks.
- Underlättar mätning vid riskområden. Exempelvis under vatten eller bergsslänter.

## **Kvalité**

- Maskinisten arbetar direkt mot digital ritning och får därmed bättre översikt över utförandet.
- Maskinisten blir mer involverad i arbetet och har bättre översikt som kan förbättra kvaliteten.
- Maskinisten kan mäta in under hela utförandet.
- Oberoende av väder eller tid på dygnet.
- Arbete kan utföras utan sikt, exempelvis under vatten.

## **Miljö**

- Minskade utsläpp till naturen genom minskad tidsåtgång.

## **Begränsningar**

- Lämpar sig inte vid hög bebyggelse eller tät skog då fri sikt till satelliter krävs.
- Krävs konstant radiokontakt vid basstations användning.
- Lämpar sig inte för mätning under centimeter noggrannhet.

Eftersom det inte går att dra någon generell gräns när GNSS-styrning skall tillämpas så får man väga upp olika ekonomiska aspekter för att tjäna in den extra kostnaden för GNSS-styrning. På nästa sida visas ett exempel där maskinstyrning är lönsamt.

## Exempel

Informationen är tagen från en kalkyl på ett vägarbete Skanska har utfört utan GNSS-styrning.

Detta exempel demonstrerar grovt hur man kan spara in tid och pengar på denna typ av utföranden.

Exemplet jämför arbetet utfört med och utan GNSS installerat på en grävmaskin. Även en generell effektivisering vid användandet av GNSS redovisas.

Nedan redovisas kostnader och utförandetid för detta specifika arbete:

Tabell. 1. [39]. Kostnader kommer från en kalkyl på ett vägarbete Skanska har utfört utan GNSS-styrning.

Grävmaskin	750 kr/tim
Yrkesarbetare	305 kr/tim
Maskinstyrning dubbel GPS	140kr/tim
Mättekniker	650kr/tim
Bassation/Nätverks-RTK	300kr/dag

Tabell. 2. [39]. Utförandetid kommer från ett vägarbete Skanska har utfört utan GNSS-styrning.

Jordschakt 2500 m3	kapacitet 42 m3/tim
Utläggning förstärkning 1300 m3	kapacitet 42 m3/tim
Utläggning bärlager 200 m3	kapacitet 16 m3/tim
Justering bärlager 2450 m2	kapacitet 50 m2/tim

**Utan GNSS:**

Vid utförandet utan GNSS installerat räknar vi med att en yrkesarbetare går med maskinen under hela utförandet för fluktning och lasermätning.

Vi räknar med att det kommer krävas ungefär 2 dagars utsättning av en mättekniker.

**Med GNSS:**

Vid användning av GNSS-styrning räknar vi med att denna utrustning ersätter yrkesarbetarens mät roll.

Vad gäller utsättning tror vi att det kommer krävas ungefär 1 dag av en mättekniker. Även en dagskostnad för installation av en basstation eller nätverks-RTK räknas med vid utnyttjande av GNSS-styrning.

**GNSS + Effektivisering**

Vid GNSS-styrning kan man öka produktiviteten genom att väntetid för fluktning och lasermätning kan elimineras. En generell effektivisering på 10 % är inte helt orimlig i dessa utföranden.

Tabell. 3. [39]. Effektiviseringsberäkning för maskinstyrning.

<b>Exempel</b>			<b>Effektivisering 10%</b>	
Utsättning 1 dag:	8*650=	5200 kr		
Utsättning 2 dagar:	16*650=	10400 kr		
GPS installation:	300*19=	5700 kr		5130 kr
<b>Jordschakt</b>				
	2500/42=	60 tim		54 tim
Grävmaskin:	60*750=	45000 kr		40500 kr
Yrkesarbetare:	60*305=	18300 kr		
Dubbel GPS:	60*140=	8400 kr		7560 kr
<b>Utläggning förstärkningslager</b>				
	1300/42=	31 tim		28 tim
Grävmaskin:	31*750=	23250 kr		20925 kr
Yrkesarbetare:	31*305=	9455 kr		
Dubbel GPS:	31*140=	4340 kr		3906 kr
<b>Utläggning bärlager</b>				
	200/16=	13 tim		12 tim
Grävmaskin:	13*750=	9750 kr		8775 kr
Yrkesarbetare:	13*305=	3965 kr		
Dubbel GPS:	13*140=	1820 kr		1638 kr
<b>Justering bärlager</b>				
	2450/50=	49 tim		44 tim
Grävmaskin:	49*750=	36750 kr		33075 kr
Yrkesarbetare:	49*305=	14945 kr		
Dubbel GPS:	49*140=	6860 kr		6174 kr
<b>Totalt antal timmar</b>				
	60+31+13+49=	153 tim		138 tim
<b>Totalt antal dagar</b>				
	153/8=	19 dagar		17 dagar

<b>Utan GNSS:</b>	<b>Med GNSS:</b>	<b>GNSS + Effektivisering:</b>
<b>171815 kr</b>	<b>147070 kr</b>	<b>132883 kr</b>



## 5. Analys

Resultatet är en sammanställning av teorin som vi tagit fram samt intervjustudier. Informationsbladet är till för att öka medvetenheten för platschefer när det gäller maskinstyrning. Eftersom erfarenhet och tankegång varierar beroende på vilken befattningen personen ifråga har så valde vi att intervjua de som kommer i närmast kontakt med maskinstyrning; nämligen platschefer och mättekniker.

Vi fick indikationer från personer direkt kopplade till maskinstyrning att det ofta är enbart mätteknikern som besitter den kunskap som krävs gällande ett beslut. Kan vi då öka kunskapen hos platschefer för att föra en diskussion med mätteknikern ökar chanserna för att ett mer korrekt beslut kan fattas. Då varje enskilt projekt inte är det andra likt är det svårt att göra ett beslutsunderlag utifrån arbetsplatsens förutsättningar.

Genom intervjuer har det framgått att tid kontra ekonomi avgör om det är lämpligt att använda maskinstyrning på arbetsplatsen. Ett beslut om maskinstyrning ska tillämpas eller inte är ur ett rent ekonomiskt perspektiv för platschefer, men det finns även andra förutsättningar och begränsningar som genereras. Förutom den avgörande ekonomiska biten har vi valt att lyfta fram arbetsmiljö, miljö och kvalitet.

### Ekonomi

Den största fördelen med maskinstyrning ur den ekonomiska aspekten är att man kan öka produktiviteten på olika sätt. Rent teoretiskt kan maskinisten köra konstant eftersom denne hela tiden arbetar mot den digitala ritningen. Vid mindre detaljerade moment kan maskinisten sköta utsättning och inmätning helt på egen hand utan hjälp av mättekniker. Ett exempel är större schaktmassor och fyllnadsarbeten där toleransen är inom några centimeter.

Maskinisten kan teoretiskt sett arbeta var som helst på hela arbetsområdet eftersom denne kan ha tillgång till digital ritning. Exempel: Skulle det vara väldigt regnigt och lerigt kan maskinisten behöva utsättning av mätteknikern på annan plats för att kunna utföra annat arbete. Detta kan medföra väntetid i produktionen. Med maskinstyrning kan då detta moment elimineras eftersom de båda arbetar utifrån

samma ritning. Maskinisten jobbar utifrån den digitala ritningen och kan där med minska avvikelser gällande exempelvis schaktmassor och fyllnadsmaterial.

Man kan avlasta yrkesarbetare som hade behövts vid till exempel fluktning och lasermätning. Det utförande momentet blir då billigare att genomföra samt yrkesarbetaren kan utföra andra arbeten.

Då maskinisten kan utföra många moment utan mättekniker sparas pengar och tid i produktionen. Mätteknikern avlastas på så sätt och kan utföra andra mättekniska utföranden på andra platser.

Den stora ekonomiska biten är alltså att maskinisten kan utföra flera moment effektivare och minska behovet av yrkesarbetare och mättekniker. Om maskinstyrning tillämpas på korrekt sätt kan man minska kostnader och tid för utförande av arbeten.

## **Arbetsmiljö**

Det finns alltid en överhängande risk för skador för människor som befinner sig i närheten av maskiner. Ur säkerhetssynpunkt kan man minimera behovet av yrkesarbetare och mättekniker runt omkring maskinen. Detta minskar risken för klämskador vid roterande maskiner och skador i djupa schakter som exempelvis ras.

Eftersom utsättningsbehovet minskar vid användning av maskinstyrning undviks bärande av tung utrustning och material som exempelvis stakkäppar.

På ställen där det är svårt att mäta på grund av dåligt underlag eller dålig sikt kan maskinisten utföra mätningen vid riskområden. Som exempelvis under vatten och bergslänter.

## **Miljö**

Då arbetet effektiviseras men hjälp av GNSS-styrning minskas maskintimmar och bränsleåtgång. Detta kan då minska koldioxidutsläpp till atmosfären.

## **Kvalité**

En fördel är att eftersom maskinist och mätare har samma information så underlättar det för samarbete mellan de båda parterna.

Använder man GNSS-styrning så brukar mätteknikern med jämna mellanrum kontrollera att de punkterna stämmer, detta är också en fördel eftersom

maskinisten och mätteknikerna då lättare kan upptäcka eventuella fel. GNSS-styrning på en grävmaskin lämpar sig främst för grova inmätningar som exempelvis schaktbottnar och bergstäckter där centimeternoggrannhet är tillräcklig.

## **Begränsningar**

Den största begränsningen är att det krävs fri sikt till satelliter. Problemområden är exempelvis då höga byggnader och tätskog som begränsar satellitsignaler.

På större byggen används ofta basstation då noggrannheten är mer konstant och det är till kostnads fördel vid användning av fler maskiner. Nackdelen med detta är att det krävs konstant radiokontakt. Radioskugga inträffar sällan eller under mycket korta perioder som inte stör produktionen betydande.

Man kan inte dra en generell gräns där man vet vilka indikationer på arbeten man kan använda maskinstyrning, det är mer komplexiteten och inte stoleken på arbetet som beslutar om att använda. Det är alltså inte alltid säkert att det i slutändan är ekonomiskt försvarbart vid tillämpning. Utifrån platsens förutsättningar och begränsningar får man väga dessa mot tidigare referensprojekt som styr om man skall tillämpa.

Detaljmätning som exempelvis belysningsfundament eller kantsten krävs det noggrannare mätning än vad GNSS-styrningen på maskinen klarar av. Vid dessa utföranden krävs det att det finns en mättekniker som utför detta moment.

## 6. Slutsats

Vi har kommit till den slutsatsen att den ekonomiska biten är mest intressant för platschefer att fatta ett beslut när det gäller maskinstyrning. Detta ger även fördelar och begränsningar vad gäller arbetsmiljö, miljö och kvalité.

Informationsbladet är till för att öka kunskapen hos platschefer vilket kan frambringa att maskinstyrning kan tillämpas på fler platser där det är ekonomiskt fördelaktigt.

Kraven ur arbetsmiljö och miljö ökar över tid och med ett maskinstyrningssystem ökar säkerheten vid exempelvis schaktarbeten.

## 7. Tackord

Vi vill framförallt tacka handledaren Jörgen Kleven på Skanska, Veronica Liliendahl på Scanlaser och handledaren Malin Olin vid Karlstads Universitet. Detta examensarbete hade inte gått att genomföra utan er hjälp.

Även ett stort tack till Skanska som har gjort detta examensarbete möjligt att genomföra. Sist men inte minst vill vi tacka er platschefer och mättekniker som ställt upp på intervjuer.

## 8. Referenslista

[12] Lantmäteriet (1996): Handbok till mätningsskuggörelsen, Geodesi GPS. Gävle

[15] Karlstad (2012): Från tumstock till GPS

[33] Jan Trost(2005): Kvalitativa intervjustudier

### Internetkällor

[1] Lantmäteriet. GPS och andra GNSS. Lantmäteriet.se. Hämtad från:

<http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/GPS-och-andra-GNSS/>(2013-04-12)

[2] Lantmäteriet. GPS och satellitpositionering. Lantmäteriet.se Hämtad från:

<http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/>(2013-04-12)

[3] Lantmäteriet. GPS. Lantmäteriet.se. Hämtad från:

<http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/GPS-och-andra-GNSS/GPS/>(2013-04-12)

[4] Engfeldt A, Jivall L. Så fungerar GNSS. Gävle: Lantmäteriet; 2003. Hämtad från:

[http://www.lantmateriet.se/Global/Kartor%20och%20geografisk%20information/GPS%20och%20m%C3%A4tning/Geodesi/Rapporter\\_publicationer/Rapporter/Lmv\\_Rapport\\_2003-10\\_Sa\\_fungerar\\_GNSS.pdf](http://www.lantmateriet.se/Global/Kartor%20och%20geografisk%20information/GPS%20och%20m%C3%A4tning/Geodesi/Rapporter_publicationer/Rapporter/Lmv_Rapport_2003-10_Sa_fungerar_GNSS.pdf)(2013-04-12)

[5] SWEPOS. Navigering och positionering med GNSS. Swepos.lmv.lm.se. Hämtad från:

<http://swepos.lmv.lm.se/index.htm>(2013-04-12)

[6] Lilje C, Engfeldt A, Jivall L. Introduktion till GNSS. Gävle: Lantmäteriet; 2007. Hämta

från:[http://lantmateriet.se/Global/Kartor%20och%20geografisk%20information/GPS%20och%20m%C3%A4tning/Geodesi/Rapporter\\_publicationer/Rapporter/LMV-rapport\\_2007\\_11.pdf](http://lantmateriet.se/Global/Kartor%20och%20geografisk%20information/GPS%20och%20m%C3%A4tning/Geodesi/Rapporter_publicationer/Rapporter/LMV-rapport_2007_11.pdf)(2013-04-12)

[7] Federal Space Agency. GPS constellation status. Glonass-iac.ru. Hämtad från:

<http://glonass-iac.ru/en/GPS/> (2013-04-12)

[8] Federal Space Agency. Galonass constellation status. Glonass-iac.ru. Hämtad från:

<http://glonass-iac.ru/en/GLONASS/> (2013-04-12)

- [9] Enterprise and Industry. Galileo – What do we to achieve? Ec.europa.eu. Hämtad från: [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/index\\_en.htm#h2-1](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/index_en.htm#h2-1) (2013-04-12)
- [10] Enterprise and Industry. Why Galileo? Ec.europa.eu Hämtad från: [http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/why/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/policies/satnav/galileo/why/index_en.htm) (2013-04-12)
- [11] <http://site.ebrary.com/lib/kaubib/docDetail.action?docID=10594245>(2013-04-16)
- [13] Lantmäteriet. Ordlista. Lantmäteriet.se. Hämtad från: <http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Om-geodesi/Ordlista/> (2013-04-16)
- [14] Lantmäteriet. Absolut och relativ positionering. Lantmäteriet.se. Hämtad från: <http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Absolut-och-relativ-positionering/> (2013-04-16)
- [16] Lantmäteriet. RTK. Lantmäteriet.se Hämtad från: <http://lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/RTK/>(2013-04-16)
- [17] Lantmäteriet. Nätverks-RTK. Lantmäteriet.se. Hämtad från: <http://lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Natverks-RTK/>(2013-04-16)
- [18] GPS. Official U.S. Government information about the Global Positioning System (GPS) and related topics. GPS.gov. Hämtad från: <http://www.gps.gov> (2013-04-16)
- [19] Scanlaser. Hög effektivitet i liten skala. Scanlaser.info. Hämtad från: [http://scanlaser.info/se/download/broschyr-flyer/scanlaser\\_miniexcavator\\_folder\\_SE.pdf](http://scanlaser.info/se/download/broschyr-flyer/scanlaser_miniexcavator_folder_SE.pdf) (2013-04-12)
- [20] Rios Bygg och Anläggningsmätning AB. Maskinstyrning. Rios.se Hämtad från: <http://www.rios.se/> (2013-04-12)
- [21] Svensk Byggnadsgeodesi (SBG). Grävmaskin. Sbg.se. Hämtad från: <http://www.sbg.se/excavator.html> (2013-04-16)

- [22] Scanlaser. Greppa spakarna: 2D lösningar från Scanlaser. Scanlaser.info. Hämtad från: [http://scanlaser.info/se/download/broschyr-flyer/2D\\_excavator\\_folder\\_SE\\_Mikrofyn.pdf](http://scanlaser.info/se/download/broschyr-flyer/2D_excavator_folder_SE_Mikrofyn.pdf) (2013-04-16)
- [23] Scanlaser. Effektivt anläggningsbyggande från Scanlaser. Scanlaser.info. Hämtad från: <http://scanlaser.info/se/download/broschyr-flyer/EMEA%20SE%20iCON%202013-low-res.pdf> (2013-04-17)
- [24] Trimble. Construction Machine Control. Trimble.com. Hämtad från: <http://www.trimble.com/construction/heavy-civil/machine-control/grade-control/gcs900-3d-dozer.aspx?dtID=overview&>(2013-04-17)
- [25] Svensk Byggnadsgeodesi (SBG). Bandschaktare. Sbg.se Hämtad från: <http://www.sbg.se/dozer.html>(2013-04-17)
- [26] Mikrofyn. MikroDozer – Maximize productivity, accuracy and profits with MikroDozer machine control. Denmark: Mikrofyn.net Hämtad från: [http://www.mikrofyn.net/Download/gb/MikroDozer\\_gb.pdf](http://www.mikrofyn.net/Download/gb/MikroDozer_gb.pdf) (2013-04-17)
- [27] Scanlaser. Väghyvel. Scanlaser.info. Hämtad från: <http://scanlaser.info/se/produkter-losningar/vaghyvel/>(2013-04-17)
- [28] Svensk Byggnadsgeodesi (SBG). Väghyvel. Sbg.se. Hämtad från: <http://www.sbg.se/grader.html> (2013-04-17)
- [29] Scanlaser. Väghyvel 2D. Scanlaser.info. Hämtad från: <http://scanlaser.info/se/produkter-losningar/vaghyvel/vaghyvel-2d/>(2013-04-17)
- [30] Scanlaser. Väghyvel 3D. Scanlaser.info. Hämtad från: <http://scanlaser.info/se/produkter-losningar/vaghyvel/vaghyvel-3d/> (2013-04-17)
- [31] SWEPOS. Referensstationer för GNSS. Swepos.lmv.lm.se. Hämtad från: <http://swepos.lmv.lm.se/stationer/stationer.htm>(2013-05-06)
- [32] Lantmäteriet. Swepos. Gävle: Swepos.lmv.lm.se. Hämtad från: <http://swepos.lmv.lm.se/files/swepos.pdf>(2013-05-06)
- [35] Lantmäteriet. Felkällor vid GNSS-mätning. Lantmäteriet.se. Hämtad från: <http://lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Felkallor-vid-GNSS-matning/> (2013-05-13)
- [36] GPS. Control Segment. Gps.gov. Hämtad från: <http://www.gps.gov/systems/gps/control/> (2013-05-15)



[37]Lantmäteriet. Absolut och relativ positionering. Lantmäteriet.se. Hämtad från:  
<http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Absolut-och-relativ-positionering/> (2013-05-15)

[38]Lantmäteriet. Avståndsmätning med bärvåg. Lantmäteriet.se. Hämtad från:  
<http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Avstandsmatning-med-barvag/> (2013-05-15)

[39]Kleven J. Kostnader och utförandetider från tidigare vägprojekt. Karlstad: Skanska AB; 2013. (Muntlig referens)

## **9. Bilagor**

### **Bilaga A**

#### **BAKGRUND**

Vad har du för befattning?

Hur länge har du arbetat inom byggbranschen?

Vad har du haft för roller under den här tiden?

Vad är din utbildningsbakgrund?

Vad har du för erfarenheter inom maskinstyrning?

Hur länge har du varit i kontakt med maskinstyrning?

#### **ARBETE IDAG**

Hur ser du på användbarheten av maskinstyrning?

### **INTERVJUGUIDE**

Vilka av områdena ekonomi, kvalitet, miljö och arbetsmiljö är mest intressant för en platschef?

#### **EKONOMI**

Kan man dra en generell gräns där man vet vilka indikationer på arbeten man kan använda maskinstyrning?

Är det ekonomiskt försvarbart vid tillämpning?

I vilken utsträckning kan man använda inmätning och utsättning?

Går det undvika stopp eller blir det fler stopp med maskinstyrning?

Tidsaspekt? Effektivare eller inte?

Ökade eller minskade avvikelser? I så fall vilka?

Minskar eller ökar behovet av arbetare?

#### **KVALITET**

Går det utnyttja maskinstyrning på områden där traditionell utsättning är begränsad?

Maskinisten har även med sig digital ritning, vad utgör det för förutsättningar och begränsningar i kvalité?

Kan maskinisten mäta under utförandet?

## **MILJÖ**

Minskade eller ökande maskintimmar?

## **ARBETSMILJÖ**

Fler eller färre yrkesarbetare kring maskinerna?

Fler eller färre personer på riskområden? I så fall vilka och inom vilka områden?

Mer eller mindre bärande av utrustning och material?

## **BEGRÄNSNINGAR**

I vilken noggrannhet/utförande kan man använda inmätning/utsättning med hjälp av maskinstyrning?

Fri sikt till satelliter?

Radiokontakt?