

# **GNSS precision vid kinematisk mätning**

**- och möjliga användningsområden för maskinstyrd vinterväghållning.**



**LUNDS  
UNIVERSITET**

Lunds Tekniska Högskola

**LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Institutionen för Teknik och Samhälle**

Examensarbete:  
Mikael Kristiansson

© Copyright Mikael Kristiansson

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Lunds universitet  
Box 882  
251 08 Helsingborg

LTH School of Engineering  
Lund University  
Box 882  
SE-251 08 Helsingborg  
Sweden

Tryckt i Sverige  
Media-Tryck  
Biblioteksdirektionen  
Lunds universitet  
Lund 2015

## Sammanfattning

Arbetet har studerat om maskinstyrning (guidat eller styrt) kan nyttjas inom vinterväghållning. Fördelarna skulle då medföra en ökad effektivitet i materialåtgång eller tidsbehov. Även körskador skulle då kunna minska med en reduktion av såväl materiella som personella skador.

Vinterväghållnings arbetsmetoder och organisation har beskrivits. Här omfattas även tidigare arbeten om användande av GNSS inom vinterväghållning. Intervjuer har gjorts med representanter för både beställare och entreprenörer vid vinterväghållningen i Malmö stad. Möjliga användningsområden inom vinterväghållningen ansågs vara att optimera saltspridning samt ge underlag till förarna för att undvika materiella och personella skador.

För att möjliggöra en analys har arbetet omfattat en bedömning med vilken förväntad precision kinematiska GNSS mätningar kan bedrivas. Arbetet har baserats på inmätning längs vägar i Skåne med RTK kapabel utrustning monterad på en personbil. Resulterade mätdata har analyserats utifrån mätpunkternas individuella radiella standardavvikelse. En uppdelning i olika omgivningstyper, både urbana och landsbygds varianter, har gjorts för att förtydliga omgivningens inverkan.

Resultatet har visat en god mottagningsförmåga i hastigheter upp till svensk motorväghastighet med bibehållen förmåga i urban miljö. Större bekymmer uppstår vid vägar med vegetation i vägens närområde. För öppen miljö resulterar mätningarna i en radiell standardavvikelse upp till 0,74 meter i 95 % av tiden. Samtidigt klarar det av en radiell standardavvikelse upp till endast 0,05 meter i 80 % av tiden.

För att simulera användande vid snöröjning gjordes körningar efter skapade körslingsor och förmågan att hålla sig inom ett säkerhetsområde, 25 cm åt vänster och 30 cm till höger om körlinjen, utvärderades. Resultatet tidsandelar innanför säkerhetsområdet från åtta körningar var endast i storleksordningen 20-50 %. Kostnaden för utrustningen är förhållandevis hög och nyttjandebehovet återfinns bara under halva året varför det kan vara av vikt att leta samordningsvinster.

Nyckelord: GNSS, RTK precision, kinematisk, rullande mätning, maskinstyrning, vinterväghållning

## Abstract

This thesis evaluates the potential for machine guidance in winter road maintenance. The proposed benefits would be a reduction in material- or time needs. It should also reduce accidents with benefits for both property damages and personal injuries.

The work methods and organisational structure of winter road maintenance is described through literature studies and interviews. The interviews are done with representatives from both the administration and contractor side of winter road maintenance in Malmö city, Sweden.

Possible areas deemed suitable for machine guidance in winter road maintenance were optimizing the distribution of salt and offering visual guidance for the drivers. The cost of machine guidance equipment is fairly high and the necessity for winter road maintenance is confined to only a part of the year. Therefore there is a need to search for synergies with other users or applications.

In order to facilitate an analysis the work has included an assessment by which expected precision a kinematic GNSS measurement is possible. The analysis is based on a measurement with RTK capable equipment mounted on a van traveling on roads in Skåne, Sweden. The resulting measurement points have been analysed in respect to their individual radial standard deviation. It investigates whether measurement precision differs depending on road surroundings in both urban and rural areas.

The results have shown a good reception capability in speeds up to Swedish highway speed. The reception quality is in large parts retained while in an urban environment. There are larger problems when in a surrounding with vegetation in close proximity to the road. For a primarily open surrounding the resulting measurements ends up having a radial standard deviation up to 0,74 meters in 95 % of the time. It also stays below a radial standard deviation of 0,05 meters in 80 % of the time.

To simulate its effectiveness in a plowing situation a road line was constructed of previous measurement points. A safety zone of 0,25 meters to the left and 0,3 meters to the right of the road line. The ability to stay inside this safety zone was then evaluated. The result of eight runs ended up in the order of 20-50 % of the time.

**Keywords:** GNSS, RTK precision, kinematic, rolling measurement, machine guidance, road winter maintenance.

## Förord

Detta arbete utgör mitt examensarbete som har utförts under våren 2015 för väg och trafik avdelningen vid LTH Ingenjörshögskola på Campus Helsingborg.

Hösten 2014 deltog jag i ett grupparbete som tittade på möjligheten att använda maskinstyrning vid vinterväghållning. Arbetet lämnade många frågetecken. Det visade sig bland annat svårt att förutsäga med vilken precision en rullande bärvågsmätning med GNSS utrustning kan få. Detta arbete har syftat till att besvara några av de frågetecknen. Inriktning på arbetet har utarbetats tillsammans med Sven Agarhd på LTH, Anders Grenander på Scanlaser och Ted Bengtsson på Svevia.

Jag vill tacka Sven Agarhd för feedback på arbetet men kanske mest för hans roll som lärare under utbildningens gång. Hans tillåtande lärarstil där han uppmuntrar studenterna att fördjupa sig i områden som intresserar dem är anledningen till att idén kom till skott i första hand.

Ett stort tack till Anders Grenander för snabbutbildning i handhavandet av mätutrustningen samt i datorprogrammet för behandlingen av mätpunkterna och en delad nyfikenhet på okända svar. Även Scanlaser ska ha stort tack för utlåning av utrustningen till testerna, utan dessa vore inte arbetet möjligt. Låt oss acceptera faktum, vintern i Skåne 2014/15 var inte ideal att utföra tester på vinterväghållning. Jag vill dock tacka Ted Bengtsson och Bengt Randau på Svevia för att de tagit sig tid att svara på mina frågor om vinterväghållning och var villiga att bistå med förare och fordon för fälttester.

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Syfte och frågeställning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3 Avgränsningar</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Disposition</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Metod</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Litteraturstudie</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2 Fältmätning</b> .....	<b>3</b>
2.2.1 Inmätning .....	3
2.2.2 Bearbetning av mätpunkter .....	4
2.2.3 Skapande av körslingor .....	6
2.2.4 Försök att följa väglinjer.....	7
<b>2.3 Intervjuer av aktörer inom vinterväghållning</b> .....	<b>8</b>
<b>2.4 CAD modellering</b> .....	<b>8</b>
<b>3 GNSS</b> .....	<b>9</b>
<b>3.1 Varianter av GNSS implementeringar</b> .....	<b>9</b>
3.1.1 GPS .....	9
3.1.2 GLONASS.....	9
3.1.3 Galileo .....	10
3.1.4 COMPASS .....	10
<b>3.2 GNSS Signalerna</b> .....	<b>10</b>
3.2.1 GPS .....	10
3.2.2 GLONASS.....	11
3.2.3 Galileo .....	12
<b>3.3 Sammanfattning system och signaler</b> .....	<b>12</b>
<b>3.4 GNSS mätning</b> .....	<b>13</b>
3.4.1 Kodmätning .....	14
3.4.2 Bärvägsmätning .....	14
3.4.3 Absolut positionsbestämning .....	15
3.4.4 Relativ mätning.....	15
3.4.4.1 DGPS.....	16
3.4.4.2 RTK .....	16
3.4.4.3 Nätverks-RTK .....	16
<b>3.5 Bidragande felkällor till mätosäkerheten</b> .....	<b>17</b>
3.5.1 Satellittillgänglighet.....	17
3.5.2 Satellitgeometri.....	19
3.5.3 Atmosfärsfel .....	19
3.5.4 Flervägsfel.....	20
3.5.5 Sikthinder .....	20
3.5.6 Transformationsfel.....	21

3.5.7 Medveten störning.....	21
<b>3.6 Tidigare arbeten.....</b>	<b>21</b>
<b>4 Maskinstyrning.....</b>	<b>23</b>
<b>4.1 Fördelar med maskinstyrning.....</b>	<b>24</b>
<b>4.2 Användningsområden för maskinstyrning.....</b>	<b>24</b>
<b>5 Vinterväghållning.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1 Organisation.....</b>	<b>25</b>
5.1.1 Kommunerna.....	25
5.1.2 Trafikverket.....	26
5.1.3 Upphandling.....	27
<b>5.2 Åtgärder inom vinterväghållning.....</b>	<b>28</b>
5.2.1 Plogning.....	28
5.2.2 Snöbortforsling.....	29
5.2.3 Halkbekämpning.....	29
<b>5.3 Skador och kostnader associerade med vinterväghållning.....</b>	<b>31</b>
5.3.1 Direkta kostnader är associerade med körskador.....	31
5.3.2 Skador och risker för maskinförare.....	33
5.3.3 Problem orsakade av krympande vägbredder.....	34
5.3.4 Framkomlighetsproblem på grund av vinterväghållningen..	35
<b>5.4 Vädrets påverkan.....</b>	<b>36</b>
<b>6 Resultat.....</b>	<b>37</b>
<b>6.1 Användningsområden inom vinterväghållningen.....</b>	<b>37</b>
6.1.1 Bredplog eller TowPlow.....	37
6.1.2 Maskinstyrning vid saltspridning.....	37
6.1.3 Framkomlighetslösning.....	37
6.1.4 Visuellt förarstöd.....	37
<b>6.2 Krav för att fungera.....</b>	<b>38</b>
6.2.1 Underlag.....	38
6.2.2 Tekniska krav, antennplacering.....	38
6.2.3 Vädrets påverkan.....	40
<b>6.3 GNSS mätning.....</b>	<b>41</b>
6.3.1 Samplingshastighetens inverkan på mätningarna.....	41
6.3.2 Omgivningstyper.....	42
6.3.2.1 Öppet landskap.....	43
6.3.2.2 Stad.....	43
6.3.2.3 Tät stad.....	44
6.3.2.4 Skog.....	45
6.3.2.5 Tät skog.....	46
6.3.2.6 Mycket tät skog.....	47
6.3.3 Mottagningstyp per omgivning.....	48
6.3.4 Precision med avseende på mottagningstyp.....	49
6.3.5 Kumulativ standardavvikelse per omgivning.....	51

6.3.6 Kontroll mot hastighet.....	53
6.3.7 Kontroll mot baslängd.....	54
6.3.8 Kontroll mot körning under nederbördsförhållande .....	54
<b>6.4 Körslingsor, utvärdering av förarstöd.....</b>	<b>56</b>
<b>7 Slutsatser .....</b>	<b>62</b>
7.1 Mottagningsprecision.....	62
7.2 Införande vid vinterväghållning .....	63
7.3 Användande på väg .....	64
<b>8 Diskussion .....</b>	<b>65</b>
8.1 Framtida tekniska förbättringar .....	66
8.2 Vidareutveckling .....	67
<b>9 Källor:.....</b>	<b>68</b>
<b>Bilaga 1 – Satellitplansberäkningar.....</b>	
<b>Bilaga 2 – GNSS satellitplansritningar.....</b>	
<b>Bilaga 3 – Intervjufrågor till aktörer inom vinterväghållning.....</b>	
<b>Bilaga 4 – Områdesbilder.....</b>	
<b>Bilaga 5 – Resultat från körslingsor.....</b>	



# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Positionsbestämning med någon form av GNSS är en vardaglig företeelse idag. Tekniken har fått stor spridning med en uppsjö användningsområden. Förutom den stora spridningen av billigare satellitmottagare i exempelvis var mans smartphones, finns det högprecisions mottagare som används av bland annat byggvärlden för inmätning och utsättning. Vid mottagning av högprecisions signaler i en typisk stadsmiljö kan höga byggnader, basstationer, wifi-lan och kraftstationer orsaka stora störningar.

Högprecisions mottagare används även i maskinstyrning vilket kan styra arbetsmaskiner utifrån datorbaserade ritningar. Användningsområdena för maskinstyrning hittas idag framför allt för anläggningsmaskiner samt inom lantbruket.

Vinterväghållning är benämningen på de åtgärder som utförs under vinterhalvåret för att bevara framkomligheten på vägar och gator. Arbetet genomförs huvudsakligen under besvärliga förhållanden med dålig sikt. Vid vinterförhållande med snöfall försvinner den visuella återkopplingen av var vägkanten finns. Effekten av detta leder till körskador på mark och utrustning, ibland sker även olyckor med personsador.

## 1.2 Syfte och frågeställning

Arbetet syftar till att besvara om vinterväghållning kan förbättras med införande av maskinstyrning. Flera delfrågor behövs för att korrekt svara på frågan, dessa är;

- Bestämma vilken precision en RTK-kapabel GNSS utrustning kan ge vid kinematiska mätningar. Faktorer så som omgivningsmiljö, väderförhållande, geografiskt läge och hastighet kommer beaktas.
- Redovisa hur maskinstyrning fungerar idag och inom vilka områden.
- Redovisa omfattningen och kostnaderna för skador i samband med vinterväghållningen.
- Försöka identifiera potentiella arbetsmoment inom vinterväghållning med potential att förbättras med hjälp av GNSS mottagning och maskinstyrning.
- Bedöma om den uppmätta precisionen är tillräcklig för att uppfylla kraven på de föreslagna arbetsmomenten som ska utföras.

### **1.3 Avgränsningar**

Fältförsöken har gjorts i sydvästra Skåne med de geografiska begränsningar det medför vid analysen. Utblickar görs hur trender och projekt framskrider utomlands men eventuella implementationer bedöms ur ett nationellt svenskt perspektiv. Detta medför ett svenskt perspektiv på organisation och regler för vinterväghållning. Avgränsningar i urvalet till intervjuerna, en beställare och en entreprenör, medför att svaren från dessa bör ses som exempel på hur vinterväghållning kan bedrivas, och inte nödvändigtvis hur den bedrivs i hela landet.

Arbetet granskar och bedömer tekniker baserade på GNSS för att positionsbestämma ett fordon's relation till vägkanten. Det kan även tänkas att tekniker baserade på ultraljud, radar eller preparerade signalslingor kan fungera men ingen sådan teknik har bedömts.

### **1.4 Disposition**

Rapporten tar upp ett ämne som involverar tre etablerade områden. GNSS och vinterväghållning är en sammanfattning av områdena som de i huvudsak beskrivs i litteraturen idag. För personer med insikt inom ett eller båda områden kan dessa kapitel hoppas över. Resultatet redovisar bland annat vad fältmätningen kom fram till och i slutsatser och diskussion bedöms effekten på ett eventuellt införande.

## 2 Metod

### 2.1 Litteraturstudie

För att söka källor har sökning gjorts via LTH, Göteborgs universitet, Lantmäteriet och Lubsearch. Via andras arbeten har sammanfattande skrifter från SKL och Lantmäteriet använts.

### 2.2 Fältmätning

Fältmätning bedrevs i Skåne under perioderna 16-22 februari samt 31 mars till 2 april 2015. Under denna period användes GNSS utrustning bestående av en Leica iCON gps 60 mottagare samt en Leica iCON cc60/61 handdator, se figur 2.1 nedan, med GeoPad programvara för att logga mätdata under körning av testslingor. iCon gps 60 mottagaren kördes i performance mode vilket ger tillgång till bärvågsmätning på GPS L2-signal samt GLONASS. En anslutning till SWEPOS nätverks-RTK tjänst nyttjades för felkorrigering.



Figur 2.1 Leica iCON cc60/61 handdator som användes vid inmätning och körslingor.

#### 2.2.1 Inmätning

Slumpmässiga vägsträckor valdes i huvudsakligen sydvästra Skåne och körningar med löpande loggning av mätvärden samlades in. Inmätningen gjordes under perioden 16-22 februari 2015.

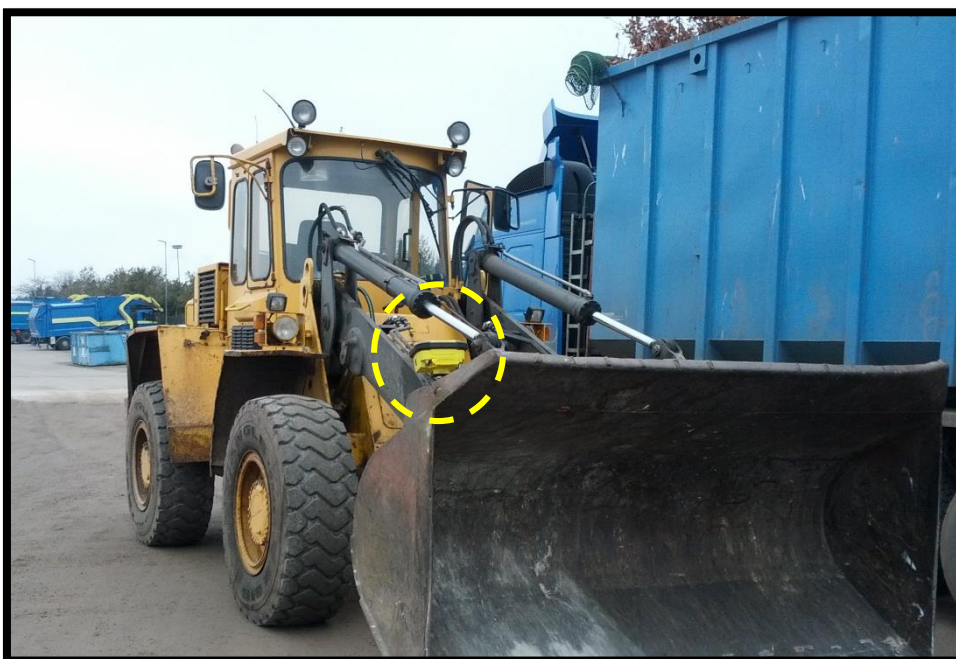
Syftet här var att simulera en inmätningssrunda eller driftsrunda och därigenom mäta den mottagning man kan anta sig få under verkliga driftsformer.

Indata hämtades från tre typer av mätningar.

- Antennen monterad på mätkäpp vid inmätning till fots. Mätningen resulterade i mätpunkter med väldigt god precision men det blev uppenbart att mätningen gick för långsamt. Med en hastighet i området

av 1 km/h kändes det inte som en trovärdig inmätningssmetod för att mäta in hela vägsystem och metoden övergavs omgående.

- Antennen monterad på skopan till en hjullastare för att simulera mätning vid plogning, antennhöjd cirka en meter. För montage, se figur 2.2, mottagaren är den gula lådan med svart rand mitt i bild.
- Antennen monterad på taket av en skåpbil för att simulera drift av plogbil eller vid saltning, antennhöjd cirka två meter.



Figur 2.2 Leica iCON gps 60 mottagarenhet monterad på skopa i syfte att efterlikna plogmontage vid inmätning.

Loggning av mätvärde gjordes med 0,25 Hz sampling vid majoriteten av vägmätningarna. Vid mätning med hjullastare och mätning av stadsområden med bil loggades mätningarna med 0,5 eller 1 Hz. För mätning till fots loggades mätpunkter manuellt. Antennen hade en avlänkningsvinkel inställd på 12 grader.

Vid mätning sparades data om position med nord-sydlig respektive öst-västlig standardavvikelse, tidpunkt, antal satelliter, mottagningsteknik.

### 2.2.2 Bearbetning av mätpunkter

Efter genomförd inmätning importerades mätdata från mottagaren och öppnades med programvaran Geo 2014 Professional. Mätpunkterna kan här granskas visuellt och i tabellform.

Endast koordinater i jordplanet har behandlats. Data för höjd i varje punkt finns givetvis också men med en kombination av centimeterprecision och eventuell tjällyftning mellan inmätning och körning avfärdas nyttan av höjddata till vinterväghållning. Nya plogar använder sig också av automatiskt marktryck.

Vid tillfällena försvann mottagningen från satelliterna helt, till exempel då mottagaren passerade under en bro. Då sparades inte mätvärden förrän positionsbestämning hade upprättats igen. Därmed saknades mätpunkter i det insamlade materialet, se exempelvis i figur 2.3 nedan.



Figur 2.3 Mätpunkter tillsammans med skapad körslinga från inmätning väster om Lund. Källa: Skärmdokument från Google Earth.

I figur 2.3 ovan har färden skett i sydvästlig riktning. Avståndet mellan mätpunkterna före och efter bron är lägre än avståndet mellan tidigare mätpunkter. Här har passagen av bron inneburit att signalen förlorats och en mätpunkt har inte blivit registrerad.

För att ge en komplett bild av mottagningen under inmätningen har mätpunkterna korrigerats. Då mätpunkterna ska vara loggade med konstant tidsskillnad letas luckor bland mätpunkterna upp. Luckorna mäts, tidigare gap mellan punkter mäts och antalet missade mätningar uppskattas.

Uppskattas två mätpunkter ha missats under inmätningen mellan punkt 58 och 59 på en slinga infogas därmed punkt 58a och 58b till tabellen med mätvärden.

För X, Y och baslängd beräknas nya värden fram. Saknas n punkter ( $n > 1$ ) interpoleras punkterna in mellan existerande enligt

$$A_p = A - \overline{AB} \cdot \frac{p}{n + 1}, p \in N, \leq n$$

Saknas endast en mätning mellan A och B beräknas punkt  $A_a$  som  $\frac{A+B}{2}$ .

Nya mätpunkter infogas därefter i tabellen och tillhörande värden fylls i;

- Koordinatfil
- Inmätningstyp
- Omgivningstyp

- Tidslucka,  $\Delta t$
- Datum och tidpunkt för mätningen
- Upplösningstyp sätts till ”saknas”
- Antalet mottagna satelliter sätts till 0 (även om det kan vara upp till och med tre)
- Den radiella standardavvikelsen sätts till 100 meter. Detta är en godtycklig siffra men det primära syftet här är att inte glömma bort mätvärden, och 100 meter medför att få in mätpunkter i ett diagram med rimlig skala.

För samtliga punkter beräknas sen skillnaden mellan två på varandra följande punkter i X- och Y-led,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ .

$\Delta L$  beräknas som,

$$\Delta L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$$

Hastigheten beräknas som,

$$v = \frac{\Delta L}{\Delta t}$$

Detta är en förenkling då det inte är momentanhastigheten som redovisas. Istället är det kvoten av förflyttad sträcka mellan två mätpunkter över en relativt lång tidsdifferens. Kraftig acceleration eller inbromsning kan ge ett missvisande värde. Detsamma kan ske vid tillfällen då positionsprecisionen är så låg att den skenbara förflyttningen kan vara avsevärt större än den verkliga.

Punkterna sorteras efter hastighet och mätdata rensas från punkter där mätningen har skett vid eller nära ett stillastående. Punkter där hastigheten är  $<1$  km/h rensas bort. Detta med motiveringen att arbetet ska utvärdera förmågan att ta emot signaler under körning. Risken finns att förvränga resultatet genom att ta med punkter under för fördelaktiga förhållanden.

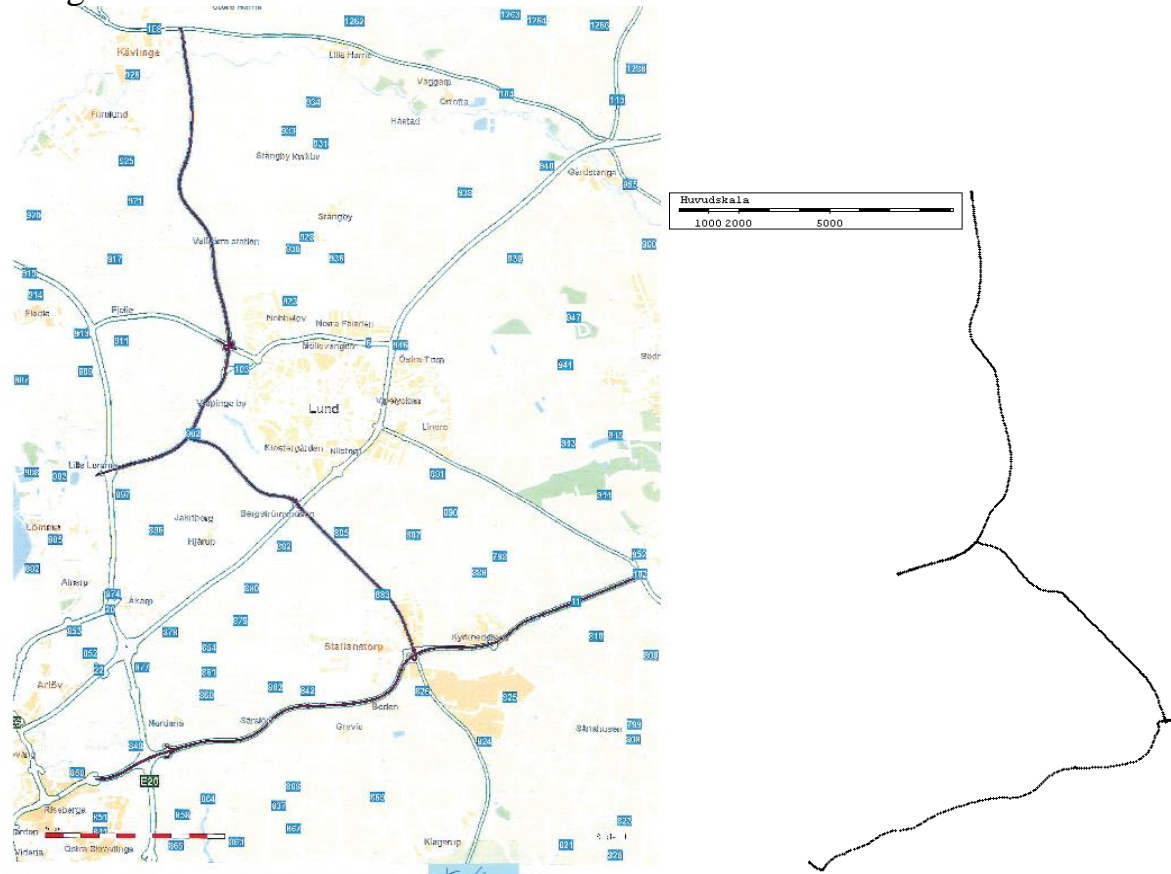
Slutligen exporterades mätpunkterna i ren tabellform för databehandling i Excel samt i Google Earth format (.kml) för visualisering.

### 2.2.3 Skapande av körslingsor

Vid vinterväghållningsdrift finns det definierade område som entreprenören ska hålla snöfritt. Inmätningarna beskrivna ovan skedde utan att på ett medvetet sätt placera fordonet i en specifik position på vägen. Den tänkta fördelen med denna ”slumpmässiga” inmätning framför att mäta in en ”korrekt” position direkt, var avsedd till efterföljande testkörningar. Då testföraren ska försöka följa skapade körslingsor enbart via utrustningen, och inte medvetet eller omedvetet kunna nyttja vägmarkeringen att styra efter. Är körslingsor slumpmässigt placerad i körbanans bredd tvingas testföraren att

endast styra efter direktiven från utrustningen, väl motsvarande det tänkta användningsområdet att försöka följa en översnöad och dold vägkant.

Körslingsor skapades av mätdata från tre områden. Med hjullastare skapades en körslinga på ett flackt industriområde i Eslövs tätort, samt en slinga från ett skogsomgärdat industriområde strax utanför Hörbys tätort. Från inmätning med personbil skapades två körslingsor för en av Svevias vinterväghållningsrutter från Kävlinge till Lomma och vidare till Staffanstorp, se figur 2.4 nedan.



Figur 2.4 Vinterväghållningsrutt från driftområde Malmö tillsammans med mätpunkter från sträckan. Källa: Svevia, skärmlapp GeoProfessional

Uppdelning i två slingor gjordes eftersom ruten går på samma väg till och från Lomma. Att följa en väglinje som möter sig själv medför en liten separation i sidled som kan förvirra utrustningen och rapportera sidofelet till linjen som går i ”fel” riktning. Den använda utrustningen behandlar inte mottagarens riktning genom framräkning utan besvarar endast avståndet till närmsta del av väglinjen.

#### 2.2.4 Försök att följa väglinjer.

En ny mätperiod gjordes den 31 mars till 2 april 2015. Denna gång prövades att köra samma vägsträcka från Kävlinge till Staffanstorp via Lomma. Under körningen eftersträvades att följa väglinjen med så liten avvikelse som möjligt via numeriska instruktioner från handdatorn. Ytterligare en vända kördes, denna gång med handdatorns display bortvänd för att ha referens för att

upptäcka om resultatet var en effekt av att bilen omedvetet placerades likadant i sidled.

Prov två utfördes med hjullastare på industriområdet i Eslöv. Två testförare körde två varv var av körslingan på området. Förarna körde här ”i blindo” eftersom de var ovetandes om var körslingan blivit inmätt, samt att den inte följde någon naturlig linje på området. Därför gjordes här ingen referenskörning.

Handdatorn har två visningslägen, numerisk och grafisk. Då körslingorna är långa, flera kilometer, blir det omöjligt att använda sig av grafisk guidning för placering med centimeterprecision om hela körslingan ska synas i displayen samtidigt. Därför gjordes proven med numerisk återgivning, displayen visar ett siffervärde för kortaste avståndet till vald väglinje. Sent in i mätningarna upptäckes att displayen omcentrerar den grafiska vyn till mottagaren om denna ”kör ur bild”.

Som ett tredje prov gjordes ett enkelt varv på industriområdet i Hörby med mätutrustningen monterad på personbilen och grafisk presentation på handdatorn.

### **2.3 Intervjuer av aktörer inom vinterväghållning**

För att komplettera bilden från litteraturstudien har intervjuer med aktörer inom vinterväghållningen genomförts. Intervju gjordes med Svevias platschef för driftområde Malmö, Bengt Randau, på Svevias kontor i Malmö den 13 april 2015.

Den 28 april 2015 intervjuades Marcus Johannesson, samordnare vinterversamheten på serviceförvaltningen Kommunteknik, samt Erik Larsson på drift och underhållsutvecklingsenheten, på gatukontoret i Malmö stad.

Ställda frågor redovisas i bilaga 3.

### **2.4 CAD modellering**

För att förtydliga och visualisera satellitplanens utbredning baserat på elevationsvinkel och breddgrad har modeller skapats i Inventor 2015.

Ett jordklot (radie  $R$ ) med GNSS satellitplan (banhöjd  $S$ ) har modellerats och avskurits av ett plan ovanför en observatör på en given breddgrad. Planets höjd,  $h$ , är beroende av observatörens elevationsvinkel,  $e$ , i grader. En översiktlig bild finns i bilaga 1. Höjden för både GPS och GLONASS med varierande elevationsvinklar har beräknats enligt formeln nedan.

$$h = (R + S) \tan e \cdot \sin \left( 90 - e - \sin^{-1} \left( \frac{R \cos e}{R + S} \right) \right)$$



## 3 GNSS

GNSS (Global navigation satellite system) är det tillverkaroberoende benämning på de system som nyttjas för positionsbestämning med hjälp av satelliter (Radionavigeringsnämnden, 2010).

### 3.1 Varianter av GNSS implementeringar

#### 3.1.1 GPS

NavStar GPS (Navigation Satellite Time and Ranging Global Positioning System) programmet utvecklades av det amerikanska försvaret. Projektet initierades 1973 och blev funktionellt för civila användare 1993. Då GPS var först och störst har det blivit en de-facto standard vid namngivning även då man syftar på GNSS (Zogg, 2009).

GPS har idag 30 aktiva satelliter plus två i reserv (U.S. Department of Homeland Security, 2015). GPS programmet garanterar 24 operativa satelliter. Satelliterna kretsar i sex banplan på cirka 20 200 km:s banhöjd med en inklinations på 55 grader. Satelliterna vänder alltså strax söder om Bornholms sydspets vilket kan påverka mottagningen på nordligare breddgrader. Omloppstiden är 11 timmar och 57 minuter. På ett dygn medför detta att en satellitkonstellation återupprepar sig med ungefär fyra minuters förskjutning (Lantmäteriet, 2007).

Det finns tolv markbaserade övervakningsstationer utspridda över världen som kontinuerligt registrerar satelliternas signaler och vid behov korrigerar tidsinformationen samt banparametrarna satelliterna skickar ut (Radionavigeringsnämnden, 2010).

#### 3.1.2 GLONASS

GLONASS (Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovata Sistema) är ett ryskt system med militärt ursprung numera även tillgängligt för civilt bruk.

För brukare av GPS kan mottagning av även GLONASS signaler ge högre noggrannhet (Radionavigeringsnämnden, 2010).

GLONASS tillgänglighet har varierat över tid. Vid starten 1996 var 21+3 satelliter operativa. Men livslängden för dessa äldre satelliter var endast två till tre år. Otillräcklig finansiering för att ersätta utgångna satelliter ledde till att det endast fanns sju operationella satelliter i september 2003

(Radionavigeringsnämnden, 2010). Frågetecken fanns för framtiden av systemet. Men situationen har förbättrats. I början av februari 2015 var antalet operationella satelliter uppe i 24 stycken igen (Federal space agency, 2015).

GLONASS satellitbanor går på 19 100 km höjd och har en högre inklinations än GPS, 64.8 grader. Därmed går de längre norrut, till en högre latitud, innan de vänder. För svenska användare betyder detta en chans till bättre täckning, speciellt i de norra delarna av landet (Zogg, 2009).

### 3.1.3 Galileo

Galileo är ett Europeiskt projekt. Till skillnad från GPS och GLONASS kommer kontrollen ligga under en civil myndighet, ESA (GSA, 2014). Då tidsplanen för projektet har blivit försenad flertalet gånger är det kvar i en utvecklings- och valideringsfas. I slutet av 2014 fanns fyra satelliter i omloppsbana (GSC, 2015).

Det färdiga systemet ska bestå av 27 satelliter med 23 222 km banhöjd vid 56 graders inklinasjon (Radionavigeringsnämnden, 2010).

Signalerna är anpassade för att mottagning med en och samma mottagare ska kunna nyttja satelliter från både GALILEO och GPS samtidigt. Det finns en avsikt att i satellitsignalerna sända ut aktuell differens mot GPS-tiden. Därmed behövs det inte längre ”offras” en satellit för att jämka de olika systemtiderna till varandra (Radionavigeringsnämnden, 2010).

### 3.1.4 COMPASS

Compass är ett kinesiskt system som ursprungligen benämndes Beidou-1. Utvecklingen har skett i två steg. Första delen omfattar geostationära satelliter med en täckning över Kina och dess grannländer. Nästa etapp, benämnd Beidou-2 eller Compass Navigation Satellite System (CNSS) avser omfatta fem GEO satelliter och 30 MEO satelliter med global täckning. Den första satelliten sköts upp hösten 2000. Två tjänster avses erbjudas, en militär och en öppen civil. Den öppna civila tjänsten planeras ge en positionsnoggrannhet på 10 meter. Satelliterna kommer skicka signaler på fyra frekvenser i samma spann som övriga GNSS (Lantmäteriet, 2007).

Tidsplanen för global täckning är svår att precisera men tidpunkter som nämns är 2020. Effekten på svenska användare kommer troligen inte bli påtaglig då tjänsten som kommer erbjudas till civila användare inte kommer med ny funktionalitet eller ökad precision.

## 3.2 GNSS Signalerna

### 3.2.1 GPS

Signalerna är uppdelade i två typer avsedda för olika mottagare. C/A (coarse/acquisition) är riktad till de civila användarna. P(Y) (precise) är avsedd för militära användare och informationen i signalen är krypterad. Informationen skickas genom att bärvågen frekvensmoduleras. Satelliterna sänder på tre frekvenser;

- L1 (1 575,42 MHz)
- L2 (1 227,60 MHz)
- L5 (1 176,45 MHz)

På L1 sänds C/A och P(Y)-kod, just nu håller L1C på att införas. På L2 sänds P(Y)-kod och L2C. På L5 sänds L5C. Genom införande av civila koder på två kanaler kommer jonosfärens inverkan kunna korrigeras hos en ensam mottagare kapabel att ta emot två frekvenser. Den nya L1C koden kommer

medföra system interoperabilitet med bland annat Galileo (Radionavigeringsnämnden, 2010).

Informationen i P-koden på L2 är krypterad men tillverkarna av GNSS mottagare har möjligheter att utföra bärvågsmätningar på denna krypterade kod utan tillgång till krypteringsnyckel. Det finns olika koncept för att lyckas med detta men gemensamt för teknikerna är att det är kostsamt och komplicerat.

Den nya L2C signalen har tillkommit för att svara på de svagheter L1 C/A koden har, bland annat svårigheter att mäta på svaga signaler eller uppkomst av interferens mellan starka och svaga GPS-signaler. De nya signalerna ska främja mätningar i besvärliga miljöer. I dagsläget (2015-02-09) är det 15 operationella satelliter med L2C kod av 24 nödvändiga för att mätningar ska kunna inledas. Detta tillsammans med femton satelliter från tidigare block som inte har L2C kod (U.S. Department of Homeland Security, 2015).

När tillräckligt antal satelliter med L2C kod är operationella kan bärvågsmätning göras direkt på denna (Lantmäteriet, 2007).

Införandet av L5-kod kommer öka tillgängligheten då den sänds med högre effekt och inte är störkänslig. Tid till fix-lösning kommer också minska. Vid RTK-mätningar kan avståndet mellan referensstationerna öka med bibehållen noggrannhet (Lantmäteriet, 2007).

Mätningar på L1 påverkas minst av störningar från jonosfären men det är samtidigt den felkällan som i stor utsträckning går att korrigera med RTK. L2C är lättast att mäta på svaga signaler varpå det kan ge bäst täckning i skog och andra besvärliga områden (Lantmäteriet, 2007).

### 3.2.2 GLONASS

Alla satelliter sänder samma koder fast på olika frekvenser inom två frekvensband. L1 ( $1602 + n \cdot 0,5625$  MHz) och L2 ( $1246 + n \cdot 0,4375$  MHz). Två satelliter i samma banplan på motsatt sida av jordklotet delar på en frekvens. På båda frekvenserna sänds C/A och P kod. P koden är tänkt till militär användning men var fram till åtminstone 2010 okrypterad (Radionavigeringsnämnden, 2010).

Den nyaste generationen satelliter, GLONASS-K, medför en ny signal kallad L3. Denna kommer vara interoperabel med Galileos E5b (Lantmäteriet, 2007).

### 3.2.3 Galileo

Varje satellit ska sända ut 10 signaler inom tre frekvensområden. De olika signalerna kommer kombineras till olika tjänster.

De tjänster som bör vara av intresse för tänkt applikation är OS, öppen navigationstjänst, och CS, kommersiell navigationstjänst med användaravgift med en noggrannhet i plan på ca 1 dm. (Lantmäteriet, 2007).

### 3.3 Sammanfattning system och signaler

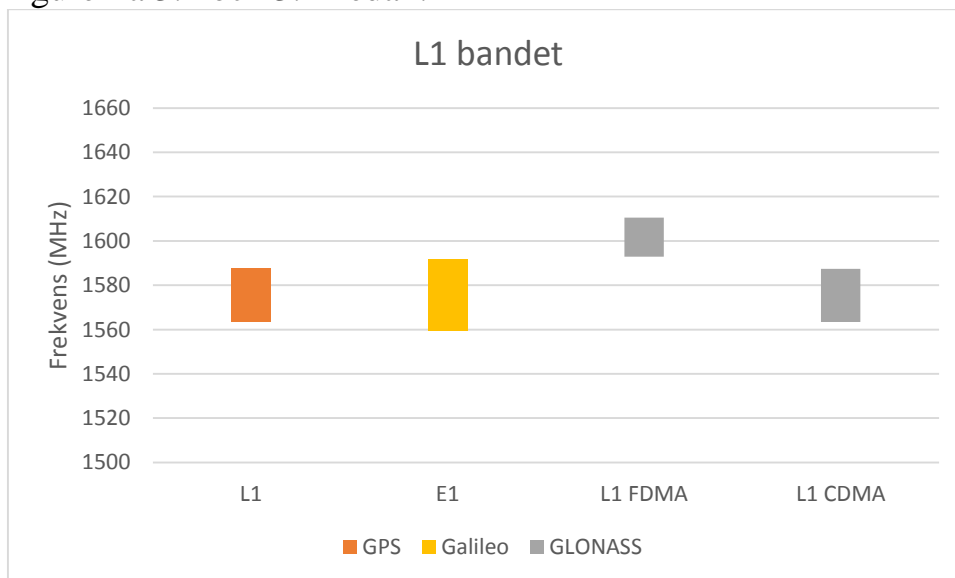
Samtliga GNSS har satelliter som går i MEO (Medium Earth Orbit) på cirka 20 000 kilometers höjd. Till skillnad från GEO (GEostationary Orbit) på 35 786 kilometers höjd där en satellit konstant följer en och samma punkt på jordytan har en satellit i MEO en kortare omloppstid (Lantmäteriet, 2007).

En sammanställning av de viktigaste parametrarna i tre av positioneringssystemen återfinns i tabell 3.1 nedan.

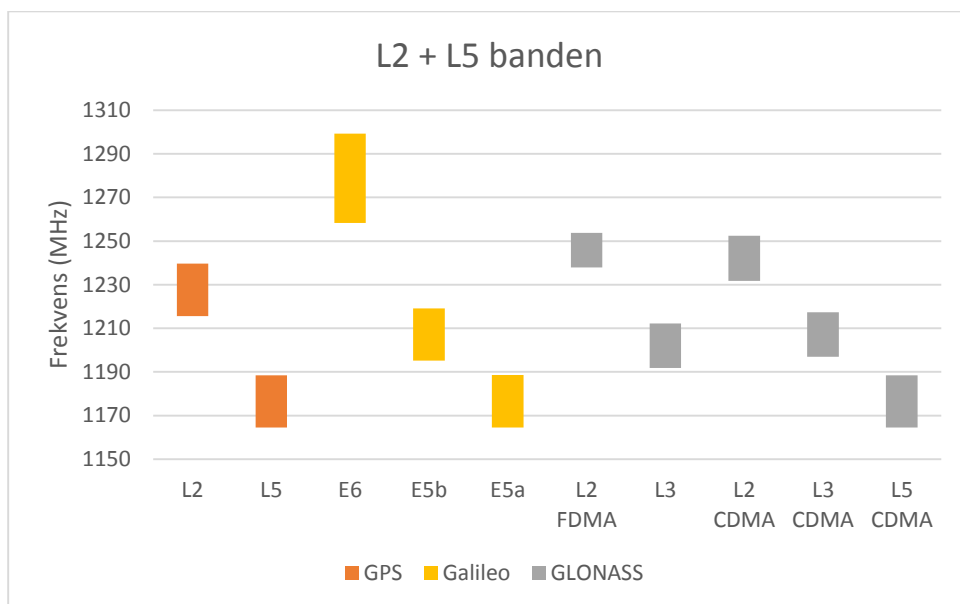
Tabell 3.1 Jämförande data av tre GNSS.

	<b>Antal operativa satelliter</b>	<b>Banhöjd (km)</b>	<b>Inklination (grader)</b>
<b>GPS</b>	<b>30+2</b>	20200	55
<b>GLONASS</b>	24	19100	<b>64,8</b>
<b>Galileo</b>	4	23222	56

Satellitesignalerna för de olika banden från samma tre system redovisas med figurerna 3.1 och 3.2 nedan.



Figur 3.1 GNSS satellitesignaler i L1 bandet.



Figur 3.2 GNSS satellitsignaler i L2 + L5 banden.

### 3.4 GNSS mätning

Positionsbestämning med hjälp av en GNSS-mottagare bygger på möjligheten att beräkna avståndet från satellit till mottagare. Signalen en satellit sänder ut innehåller information om satellitens position och tidsangivelse vid just den tidpunkten. Eftersom satelliternas position och signalernas utbredningshastighet är känd kan gångtiden omvandlas till ett avstånd. Om avståndet till tre kända punkter (satelliter) kan bestämmas går det nu att beräkna mottagarens position genom inbindning. Kontakt med en fjärde satellit krävs för att synkronisera mottagarens klocka med satelliternas klockor (Radionavigeringsnämnden, 2010).

Positionsbestämning kan ske direkt i mottagaren i realtid eller genom att mottagna data efterbehandlas i exempelvis en dator (Lantmäteriet, 2007).

Mätningarna utförs på två principiellt olika sätt, med kodmätning eller bärvägsmätning. Avstånden som uppmätts från satelliterna är behäftade med ett eller flera fel från olika felkällor, se avsnitt 3.5 nedan.

Är GNSS mottagaren stilla vid mätning pratar man om statisk mätning. Motsatsen, att mäta vid rörelse, kallas kinematisk mätning. Vid statisk mätning kan mottagaren vara stillastående under en längre tid, upp till flera dygn. Utifrån mätdata går det att medelvärdesbilda för att förbättra mätningens precision. Statisk positionsbestämning med relativ mätning mot känd punkt är den positionsbestämningsmetod som erbjuder bäst noggrannhet (Lantmäteriet, 2007).

### 3.4.1 Kodmätning

Från satelliten återskapas en kopia av koden direkt i GNSS-mottagaren. 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 uppmäts motsvarar den tid det tar för den utsända signalen att ta sig från satellit och mottagare, s.k. gångtid. Då utbredningshastigheten är känd går det med hjälp av gångtiden att beräkna avståndet mellan satellit och mottagare (Lantmäteriet, 2007).

Fram till maj 2000 fanns en avsiktlig försämring, selected availability (SA), i upplösning för kodmätning på C/A signalen. Efter denna tidpunkt avaktiverades SA. Åtgärden förbättrade noggrannheten vid absolut mätning avsevärt och minskade behovet av DGPS (Radionavigeringsnämnden, 2010). Utvecklingen av noggrannheten på kodmätning över tid kan grovt åskådliggöras med listan nedan,

1. C/A-kod på L1 med SA (före maj 2000): 20-100 meter
2. C/A-kod på L1 utan SA (efter maj 2000): 10-20 meter
3. C/A-kod på L1,L2C: 5-10 meter
4. C/A-kod på L1,L2C. kod på L5: 1-5 meter

(Lantmäteriet, 2007)

Idag är vi i gränsskiktet mellan punkt två och tre.

Utvecklingen har gått mot att precisionen kan uppskattas så bra som 0,1 % av signalens våglängd. Vid mätning på C/A koden betyder detta en upplösning på 0,3-3 meter och med tillgång till P-koden 0,03-0,3 meter. För GLONASS blir upplösningen grovt räknat det dubbla på respektive kod (Lantmäteriet, 2007).

### 3.4.2 Bärvägsmätning

Bärvägsmätning bygger på att fasförskjutningen hos en mottagen signal kan bestämmas med stor noggrannhet, en tumregel är 1 % av våglängden. Det skapas en signal i GNSS-mottagaren som har samma frekvens som GNSS bärvägen. 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. Istället jämförs inkommen signal med en kopia mottagarenheten själv genererar för att bestämma fasförskjutningen. Fasförskjutningen bestämmer hur stor den ”sista” perioden är. Antalet hela perioder vid den tidpunkt då mätningen började, s.k. periodbekanta, måste bestämmas för att avståndet mellan mottagare och satellit ska kunna bestämmas. 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 (Lantmäteriet, 2007).

Bärvågsberäkning förenklas av att kombinera mätningen med kodmätning. Genom att kodmätning ger en grov bild av positionen begränsas antalet obekanta. Mätning på flera frekvenser simultant eller genom att ta hjälp av relativ positionering hjälper också till (Lantmäteriet, 2014). Från den tidpunkt då mottagaren först låste på signalen räknas förändringen av antalet hela våglängder vid bibehållen låsning av satellitsignalen. Genom att fortsätta kontinuerlig mätning av signalen kan det observeras en ökning eller minskning av avståndet genom att räkna fasförskjutna våglängder allt eftersom satelliten rör sig i förhållande till mottagaren (Engfeldt & Jivall, 2003). Så kallade periodbortfall är då tillfälliga avbrott i signallåsningen uppstår, vilket leder till att ett okänt antal våglängder ”förloras”. Vid realtidsmätning sker denna korrigering automatiskt i mottagaren eller i ett beräkningsprogram vid efterberäkning av data (Lantmäteriet, 2007).

Görs mätningen på L1 signalen vid 1575MHz där våglängden är 19cm kan en upplösning fås nära 2 mm. Bärvågsmätning kan utföras på L1, L2 och L5 eller en kombination av flera (Lantmäteriet, 2007).

Det bör här förtydligas skillnaden mellan kodmätning och bärvågsmätningen. Vid kodmätning uppskattas precisionen så bra som 0,1 % men vid bärvågsmätning endast med 1 %. Ändå har bärvågsmätningen högre upplösning? Skillnaden är alltså att vid kodmätning görs mätningen på signalens våglängd. 1,023 MHz för C/A kod och 10,23 MHz för P(Y) kod. Vid bärvågsmätning görs mätningen istället direkt på bärvågen informationen från C/A eller P(Y) signalerna överlagas på. Då denna våglängd är en faktor 100 – 1000 kortare än C/A och P(Y) våglängderna blir längdberäkningen bättre fastän den kan bestämmas med lägre precision.

### 3.4.3 Absolut positionsbestämning

Den enklaste formen av positionsbestämning, med endast en mottagare, kallas absolut positionsbestämning. Mottagarens position bestäms genom inbindning från tre satelliter med tidskorrektur från en fjärde satellit (Lantmäteriet, 2007).

### 3.4.4 Relativ mätning

För att förbättra precisionen över absolut positionsbestämning kan relativ mätning nyttjas vid mätning med två mottagare. Flertalet av felkällorna är av samma storlek för två punkter med relativ närhet. I relativ mätning genomförs då en mätning över en känd punkt, en referensstation. Felkällorna till de uppmätta satelliterna från referensstationen kan då uppskattas genom att jämföra mottagarens position med den kända. Genom att vidarebefordra uppmätta avvikelser kan mätningen på den okända punkten förbättras genom att kompensera med avvikelserna. De båda mottagarna måste ha signal från minst fyra gemensamma satelliter. Vid inmätning kan kompenseringen ske i

efterhand men RTK (real time kinematic), realtidskompensering, erbjuder korrigerig i realtid på bärvågs mätningar (Radionavigeringsnämnden, 2010).

#### **3.4.4.1 DGPS**

Differentiell GPS avser relativ mätning som nyttjar kodmätning eller bärvågsunderstödd kodmätning (Lantmäteriet, 2007). DGPS uppkom som en lösning på problemen som uppkom med SA. Efter att SA har inaktiverats har behovet minskat (Radionavigeringsnämnden, 2010).

#### **3.4.4.2 RTK**

RTK (Real Time Kinematic) avser relativ bärvågs mätning i realtid. Som övrig relativ mätning överförs korrekationer från en mottagare över en känd position till den mottagaren förbättrad noggrannhet önskas på. För att metoden ska fungera måste den rörliga mottagaren (rovern) initialiseras. Först efter det kan mottagaren uppnå fixlösning. För att uppnå detta nyttjas en känd punkt för initialisering eller genom att genomföra en snabb statisk mätning. Modern utrustning klarar dock oftast av "flygande" bestämning av periodobekanta. Det är av stor vikt vid kinematisk mätning då initialisering måste göras om varje gång fixlösning tappas (Lantmäteriet, 2007).

Företrädare för Leica påpekar att tiden för att etablera en fixlösning har minskat med varje generation av mottagare, från dryga halvminuten i början av 2000 talet till enstaka sekunder i utrustning från 2009 (Richter, 2014).

#### **3.4.4.3 Nätverks-RTK**

Relativ mätning ger bättre precision ju kortare avståndet från rovern till referensstationen är. Detta då störningar orsakade från jonosfären växer när avstånden ökar. Idag klarar utrustningen av avstånd upp till 30-40 kilometer mellan mottagare och rover.

Utöver begränsningar i räckvidden är det en kostnad förknippad med att etablera en fast mottagare. För att motverka problematiken kan nätverks-RTK användas. Genom att samla in data från flera kända punkter i landet går det att via databehandling av felkällorna skapa virtuella referenspunkter på valfri position. Genom att behandla data från flera stationer i ett nätverk kan avståndet mellan de enskilda stationerna ökas (Lantmäteriet, 2007).

Mobil tvåvägskommunikation används för att överföra den rörliga mottagarens position och nätverkets korrigeringar. Mottagande av GPS är gratis, nyttjande av extra tjänster som SWEPOS kräver dock ett abonnemang. Prisnivån idag börjar på 15 000 kr/anslutning och år med tillkomst av eventuella trafik kostnader (Lantmäteriet, 2015).



### 3.5 Bidragande felkällor till mätosäkerheten

Som nämnts i avsnitten ovan påverkar använd utrustning och metod vilken noggrannhet som kan fås från mätningarna. Begränsningarna uppstår huvudsakligen till följd av olika felkällor. Felkällorna kan samverka till att avståndet till satelliten felbedöms. Därför brukar det uppmätta avståndet kallas pseudoavstånd. (Engfeldt & Jivall, 2003)

De felkällor användaren kan påverka eller behöver vara medveten om redovisas i avsnitten nedan. Utöver detta finns det andra felkällor i systemen så som positionsfel för satelliter och felaktig banddata som bemöts på en mer övergripande systemnivå.

#### 3.5.1 Satellittillgänglighet

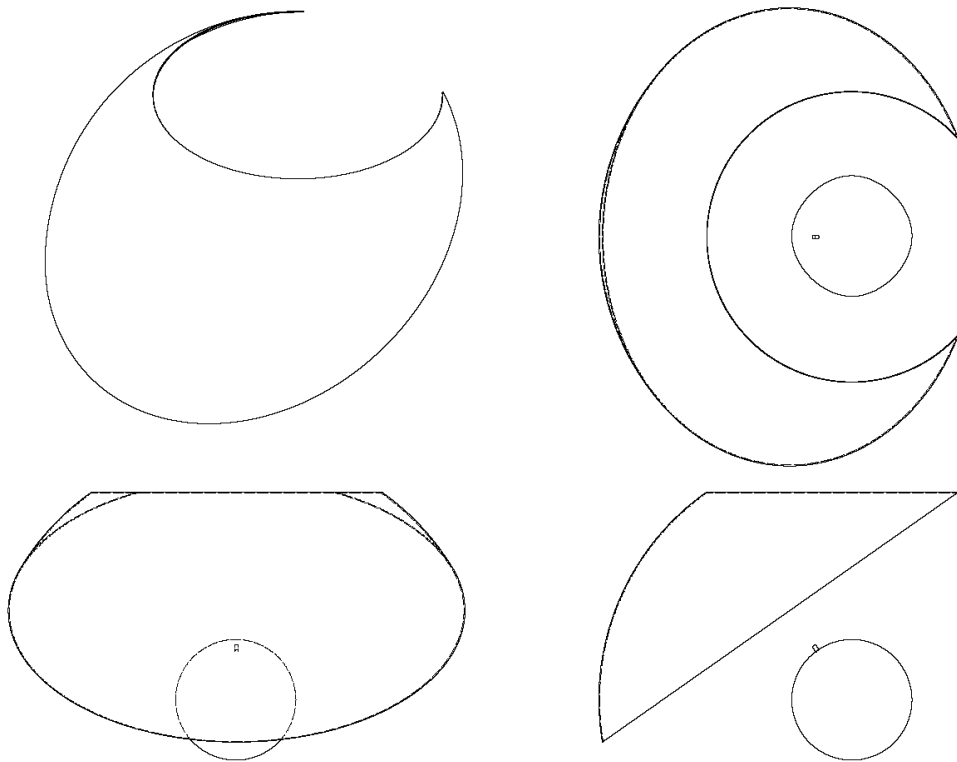
För att lösa positionsbestämningen behövs samtidiga signaler från minst fyra satelliter. För att få ett bra mätresultat behövs vanligen tillgång till fler satelliter än så. Ett sätt att öka antalet signaler är att ta emot signaler från flera system samtidigt. En begränsning här är att för varje system används signalen från en satellit för att synkronisera de olika tidsskillnaderna (Lantmäteriet, 2007).

Bernherd Richter på Leica påpekar att framöver kan smart urval och viktning av satelliter bli viktigare än att maximera antalet tillgängliga (Richter, 2014).

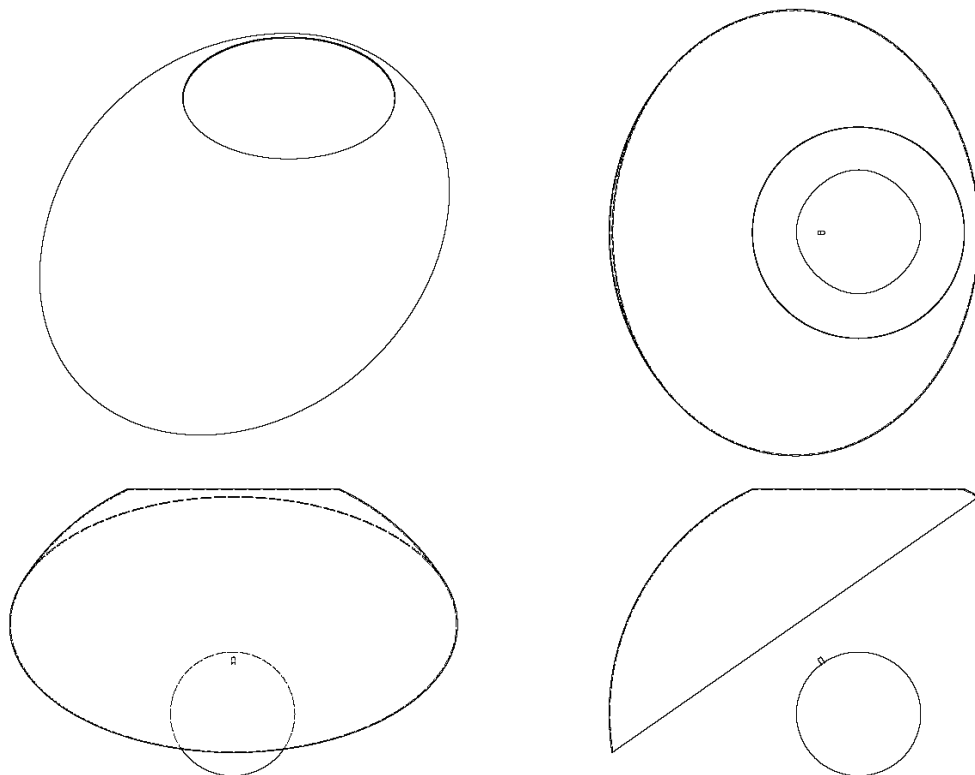
Tillgängliga satelliter varierar med tid på dygnet och datum. Då banparametrarna går att beräkna kan antalet tillgängliga satelliter på en plats förutsägas via en GNSS-almanacka. En sådan finns tillgänglig på till exempel SWEPOS hemsida (<https://swepos.lantmateriet.se/>).

För användare tillräckligt långt norrut händer det ibland att satelliter blir tillgängliga i nordlig riktning genom att satelliter blir synliga över jordens krökning (Grenander, 2015).

För att förtydliga vilka delar av GNSS satelliternas banplan som kan vara synliga beroende på observatörens elevationsvinkel och latitud visas ritningar nedan. Det som visas är synlig utbredning av möjliga satellitplan för en observatör (inte i skala) på 55 breddgraden med 12 graders elevationsvinkel. I figur 3.3 visas GPS och i figur 3.4 visas GLONASS. Fler varianter med från olika breddgrader och elevationsvinklar återfinns i bilaga 2.



Figur 3.3 Möjlig GPS satellitutbredning vid 55 breddgraden och 12 graders elevationsvinkel. Källa: Ritning från Inventor 2015.



Figur 3.4 Möjlig GLONASS satellitutbredning vid 55 breddgraden och 12 graders elevationsvinkel. Källa: Ritning från Inventor 2015.

### 3.5.2 Satellitgeometri

För att effektivt kunna bestämma mottagarens position ska satelliterna täcka ett så stort fält av himlen som möjligt. För att beskriva hur satelliternas geometriska formation påverkar osäkerheten används det så kallade DOP-värdet (Dilution Of Precision). Ett lägre värde indikerar en bättre satellitgeometri. Noggrannheten i höjddled är generellt 1,5 gånger högre än det är i plan. Då antennen avskärmas i en riktning försämras satellitgeometrin (Lantmäteriet, 2007).

Vid mätningar där högsta noggrannhet är viktigt bör tidpunkten för mätningen planeras efter optimalt DOP då detta varierar i tid (Zogg, 2009).

Från geometrisk synvinkel är det positivt om satellitsignalerna även mottas från låga elevationer. Här uppstår dock en konflikt med en annan parameter, för om signalen kommer från en låg elevation ökar längden signalen passerar genom atmosfären vilket minskar signalkvaliteten, se avsnittet nedan (Lantmäteriet, 2007).

### 3.5.3 Atmosfärsfel

När satellitsignalerna fortplantar sig ner genom atmosfären påverkas utbredningshastigheten. Detta medför förvrängningar liknande brytningsfel. Huvudsakligen påverkas signalerna av de två atmosfärssikten närmst jordytan, troposfären och jonosfären (Lantmäteriet, 2007).

I jonosfären frigörs elektroner på grund av strålning från solen. Mängden fria elektroner påverkar satellitsignalernas banor. Elektrontätheten varierar sett över dygnet. Samband kan kopplas till variationer i instrålning från solen, med lägre nivåer på nätterna. Störningarna från jonosfären gör att avståndsbedömningar med bärvågsmätningar blir för korta och kodmätningar för långa. Geografisk variation påverkar också där mottagning i Sverige med sin relativt nordliga position ofta drabbas av snabba men mindre kraftiga avvikelser.

Som nämndes under satellitgeometri är det fördelaktigt att ha stor spridning över himlen med satelliter men signaler från satelliter som står lågt över horisonten färdas en lång sträcka igenom jonosfären. I mottagaren ställs därför en elevationsvinkel in, typiskt värde är 10-15 grader. Satellitsignaler mottagna under elevationsvinkeln undantas från positionsberäkningarna. Signalerna påverkas olika beroende på signalens frekvens, därmed kan beräkningen av signalvägarna förbättras genom att mäta på flera frekvenser samtidigt. (Lantmäteriet, 2007).

Närmast jordytan upp till cirka 10 000 meters höjd finns troposfären. I detta skikt påverkar gaser som kväve, syre och vattenånga satellitsignalerna. Påverkan har inget frekvensberoende och beteendet är detsamma för bärvågssom kodmätning. Att nyttja mätningar på flera frekvenser som vid störningar från jonosfären har alltså ingen effekt här. Fördröjningen troposfären orsakar

påverkas huvudsakligen av vädret. Minst påverkan fås då luften innehåller lite vattenånga och har en homogen sammansättning. Ett typiskt exempel på gynnsamma förhållanden är en klar och kall vinternatt (Lantmäteriet, 2007).

Vid relativ mätning är avståndet mellan den rörliga mottagaren och referensstationen viktig, märkbara skillnader kan uppstå redan vid avstånd över en kilometer. Då väderfronter passerar kan troposfärens egenskaper skilja mycket redan vid små avstånd. Fel orsakade av troposfären ökar om mottagaren och referensstationen är på olika höjder (Lantmäteriet, 2007).

Givet det tänkta användningsområdet är det av intresse om snöfall påverkar mottagningen på signalen. Cyrille Gernot (2007) prövade signalmottagningen under ett 14 centimeters snötäcke. Effekten bedömdes som liten med en dämpning av signalen med två decibel samt en ökning av pseudoavståndets standardavvikelse med 8 centimeter. Effekten ska ses i relation till att det endast krävs ett stående vattenskikt på 1-2 millimeter för att stoppa GPS-signalen helt.

#### 3.5.4 Flervägsfel

Flervägsfel uppstår när mottagning sker av en signal som inte gått kortaste sträckan mellan satellit och mottagare. Istället har signalen studsat mot en reflekterande yta, till exempel en spegelblank vattenyta eller ett plåttak. Fenomenet är vanligen mest förekommande i en stadsmiljö med höga husfasader. Oftast mottas två signaler från samma satellit. Då kan signalen med längst gångtid förkastas eftersom den uppenbarligen inte har gått kortaste vägen. Det händer även att endast en studsad signal från en satellit når fram, signal- och databehandling används då för att reducera felvägsfelet. Problemet kan även minskas genom att använda en antenn med jordplan. Med detta kan inga signaler nå mottagaren underifrån, därmed elimineras reflektioner från markplan (Lantmäteriet, 2007).

#### 3.5.5 Sikthinder

Sikthinder avser objekt mellan satelliten och mottagaren. Längs vägar kan detta typiskt utgöras av byggnader eller skog. Ju smalare väg och ju närmre väggkanten hindren står desto mindre vinkel finns som signalerna kan nå mottagaren ifrån. Löv- och barrskog påverkar signalerna olika. Typiskt försvinner satellitsignalerna helt genom trädskronorna på lövträd. Positionen kan ändå bli bra förutsatt att signaler från tillräckligt många satelliter mottas. Signalen tar sig lättare igenom topparna på barrträd vilket ger satellitsignaler till mottagaren. Dessa signaler är dock dämpade vilket medför att positionprecisionen försämras (Lantmäteriet, 2007). Införande av nya signaler som är något kraftigare kan ge bättre mottagning genom vegetation eller trädskronor (Richter, 2014).

Ett fälttest av GPS/GLONASS precision genomfördes i Istanbul, Turkiet. Där upptäcktes att signalmottagning drabbades svårt av siktskymmande träd och överhängande vegetation (Pirti, Yucel, & Gumus, 2013).

RTK är känsligare för störningar från sikthinder än DGPS (Lantmäteriet, 2007). Därför förväntas fortsatt tillgång till DGPS mottagning vid en del av tillfällena när RTK mottagningen försvinner.

Byggnader blockerar GNSS-signalerna helt vilket medför en situation motsvarande lövträdsskog. Så länge tillräckligt många satellitsignaler mottas ska positionsbestämningen vara god (Lantmäteriet, 2007).

Även om kontakt med antalet satelliter blir tillräckligt kan faktumet att de återfinns inom en avgränsad del av himlen öka DOP-värdet med sämre positionsprecision som följd (Zogg, 2009).

### 3.5.6 Transformationsfel

Vid transformation mellan olika referenssystem finns risken att införa transformationsfel. Risken är lätt att undvika genom att genomgående använda SWEREF 99 som referenssystem i hela kedjan (Lantmäteriet, 2007).

### 3.5.7 Medveten störning

De öppna signalerna från samtliga GNSS är relativt enkla att störa med en egenbyggd störsändare. MSB listar ett antal sådana fall där detta har inträffat. Bland annat ett i Sverige där en stöldliga maskerade en lagringsplats för stöldgods med en störsändare. Platsen upptäcktes då allmänheten klagade på att mobiltelefoni och GPS slutade att fungera (Myndigheten för samhällsskydd och beredskap, 2014).

Införande av nya mer bredbandiga signaler kan minska störningskänsligheten (Richter, 2014).

## 3.6 Tidigare arbeten

Svenska arbeten i samarbete med lantmäteriet är i huvudsak inriktade på precision i fasta mätningar med avseende på utrustning eller avstånd från referensstation så som Ohlsson (2014). Även täthet mellan referenspunkter i nätverks-RTK har undersökts av Odolinski (2010). En undersökning har gjorts för att värdera tillverkarnas uppgifter om precision med verkligheten Fredriksson & Olsson (2015). Resultatet har varit gott och inom ramen för vad som kan förväntas påverka utslaget i föreslaget användningsområde. Därmed nyttjas rapporterad felosäkerhet vid beräkningar av felprecisionen.

Vanlig GNSS mottagning med kodmätning ger tillräcklig positions och hastighetsbestämning för användning inom navigation. Men även vid optimala förhållanden är medelfelet 2-4 meter.

Det avståndet är inte tillräckligt eller medför åtminstone begränsningar för användande till körfältsbestämning. Ett arbete pågår som försöker öka precisionen och lösa körfältsdetektering genom att detektera snabba förändringar i styrkan hos satellitsignal orsakade av tillfälliga blockeringar av skyltar och stolpar. Finns ett tillräckligt noggrant underlag för var och hur stora stolpar och skyltar är kan en mer exakt position beräkna fram (Yozevitch, Ben-Moshe, & Dvir, 2014).

Nackdelen här är att den ökade precisionen endast uppnås inom det området stolpen skuggar satellitsignalen. Därmed behövs det frekventa objekt att kunna beräkna skuggor från. Detta kan orsaka bekymmer på landsbygden. Tekniken kräver även sampling uppåt 200 Hz för att upptäcka en 0,1 meter bred stolpe i 80 km/h.

Ett arbete publicerat i mars 2015 har testat effekten av användandet av flera GNSS lösningar för kinematisk mätning. En förbättring framträder vid mottagning av GLONASS signalen tillsammans med GPS men att antalet Galileo satelliter i dagsläget är för få för att påverka resultatet i någon riktning (Rabbou & El-Rabbany, 2015).

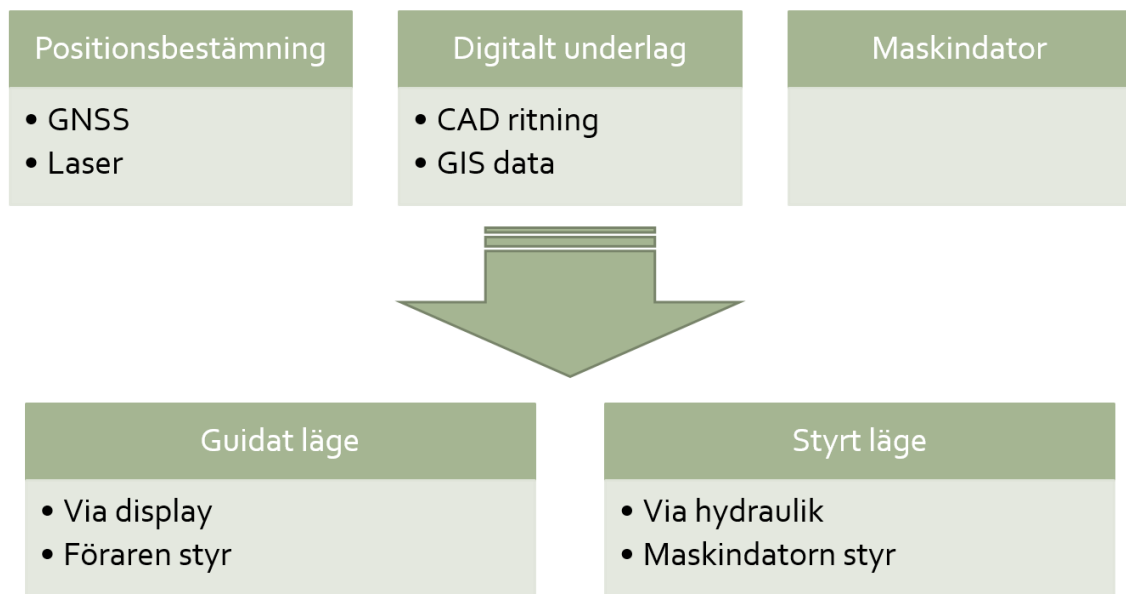
För kommersiella fordon behöver sensorer vara överkomliga i pris. Vanligen förbättras precisionen genom användande av map matching, att kvalificerat gissa position utifrån digitalt kartunderlag eller genom framräkning av tidigare mätpunkter. Även tröghetsnavigering används inom vissa områden. Försök har gjorts för att uppnå körfältsbestämning med en kombination av GNSS-mottagare, odometer, gyroskop och digitala kartor (Zogg, 2009).

En vanlig lösning som föreslås för att uppnå körfältsbestämning är visuell databehandling. Det finns dock fortfarande stora problem att tolka visuell data vid mörker, snöfall eller vid snötäcke (Yozevitch, Ben-Moshe, & Dvir, 2014), (Bar Hillel, Lerner, Levi, & Raz, 2014).

## 4 Maskinstyrning

Maskinstyrning är ett samlingsnamn för applikationer och tjänster som beskriver en arbetsmaskin i ett digitalt referenssystem.

För att fungera behöver maskinstyrningsprogrammet input för att kunna positionsbestämma maskinen samt redskapen. Positionen kan beräknas via GNSS signaler eller via laser från en totalstation (SBUF, 2015).



Figur 4.1 De tre komponenterna i maskinstyrning och dess utdata.

Maskinstyrning med laser kan ske på ett par olika nivåer. Den enklaste är när en roterande laser skapar ett plan och utifrån denna går det att via mätning beräkna höjden.

Mäts endast fordonets position in direkt behöver systemet också information om var arbetsverktygen befinner sig. Mäts inte positionen direkt via sensorerna ovan listat ovan kan det beräknas fram via givare på maskinens leder (Berndtsson, 2011).

Utöver en positionsbestämning behövs en digital representation av omgivningen att förhålla sig till. Antingen kan inmätning ske eller kan en digital ritning till något som kanske ännu inte existerar i verkligheten användas.

Programvaran i systemet kan då beräkna fram verktygets position i förhållande till vad som är definierat i den digitala representationen (Berndtsson, 2011).

Trafikverket kommer införa krav på att BIM införs i trafikverkets alla upphandlingar från hösten 2015 (Trafikverket, 2015a). Detta kan leda till att förekomsten av maskinstyrningsutrustning kan bli vanligare. Att det blir krav på BIM vid upphandlingarna bör också medföra att ett gradvis ökat digitalt underlag över väganläggningarna kommer finnas tillgängligt.

Två huvudsakliga metoder används för maskinstyrning idag, guidat läge och hydraulisk styrning. I guidat läge presenteras information om fordonets/redskapets läge och en 3D modell innehållande ritningsunderlag. Det är sen upp till maskinföraren att lösa uppgiften. I hydraulisk styrning kopplas maskindatorn till fordonet via exempelvis CAN-bus varpå hela eller delar av maskinen styrs av maskindatorn (Berndtsson, 2011).

#### **4.1 Fördelar med maskinstyrning**

Fördelarna som ges är en ökad effektivitet då maskinföraren inte måste invänta inmätning och personalresurserna kan minska (Scanlaser, 2015). Maskinstyrningen kan även medge en ökad precision. Möjligheter öppnar upp för oerfaren personal att arbeta med komplexa designer. Det medför även en ökad säkerhet genom att mindre personal behöver vara nära arbetande fordon samt nyttjande av kollisionsvarningssystem. Det går att definiera tre dimensionella områden maskinerna inte tillåts inkräkta på (Position Partners, 2015).

Genom att använda mer precisa modeller kan entreprenörerna kraftigt öka projektens kvalitet och produktivitet. Den modellbaserade processen spänner hela livscykeln från design till produktion. Det är även till hjälp vid inmätning från vägar i drift där trafiken inte kan stänga av och arbetsmiljön blir en fara för inmätaren (Trimble Heavy Construction Division, 2015).

#### **4.2 Användningsområden för maskinstyrning**

Användningen av maskinstyrningen är vanligast inom gruvindustrin och lantbruket. I lantbruket nyttjas styrt läge för att fordonen ska köras på effektivast sätt över markerna med god marktäckning. Inom jordbruket används maskinguidning, exempelvis används det vid spridning av konstgödsel (Lantmäteriet, 2007).

Användning av maskinstyrning börjar spridas men vanliga områden är användning med väghyvlar, grävmaskiner och bandschaktare (Johansson And, 2009).

Destia Ltd står för ett nyare exempel där maskinstyrning använts inom anläggningsbranschen. De använde underlag skapat från Lidar och bildupptagning för att skapa ett punktmoln utifrån vilket en traditionell 3D-modell skapades som var underlag för att styra en 3D-asfaltsfräs (Trimble Heavy Construction Division, 2015).



## 5 Vinterväghållning

Vinterväghållning är det arbete som utförs i syfte att hålla vägar och gator framkomliga för flertalet av samhällets olika trafikanter. Hela Sverige får varje år någon form av vinter. Effekten på vinterväglaget beror på varierande klimat faktorer i detta avlånga land. En gemensam nämnare för de olika insatserna är att de oftast ska avklaras inom en kort tidsperiod (SKL, 2014).

### 5.1 Organisation

Ansvaret för vinterväghållningen faller på väghållaren. Detta innebär att det är trafikverket och Sveriges kommuner som ansvarar för majoriteten av vinterväghållningen i landet. Kommunerna är ansvariga att sköta vinterväghållningen på allmänna platser de är huvudmän för inom detaljplanerat område samt inom äldre stadsplaner (SKL, 2014).

Viktiga delar inom vinterväghållning är kommunikation, ledning, säkerhets- och riskbedömning samt teknik och utrustningsalternativ. IT baserade ledningssystem kan omfatta kalkylering, planering, utkallning och automatisk fakturering. Många funktioner tar hjälp av rapportering från GNSS-teknik i fordonen (SKL, 2014). GNSS funktioner ger även möjlighet att få uppföljning och vidare rapportering om vilka sträckor som blivit snöröjda till brukarna, trafikanterna.

#### 5.1.1 Kommunerna

Kommunerna har oftast en nämnd som planerar och bestämmer en budget för omfattningen av vinterväghållningen. Utförandet görs antingen av egen avdelning (ex Gatukontoret), en upphandlad entreprenör, eller en mix av de två. En vanlig lösning för mindre byar och områden i utkanten av tätorter är att anlita lantbrukare som kan nyttja sin maskinpark (Mendoza & Lundqvist, 2014). I Malmö stad tillhör bara varannan maskin vid vinterväghållningen den ordinarie förvaltningen. Resterande är underentreprenörer med egna lantbruksmaskiner (Larsson, 2015).

Finansieringen av vinterväghållningen sker med skattemedel och därmed blir arbetena en avvägning mellan önskad målsättning och avsatta medel. Budgeten är oftast kopplad till en avdelning vilket medför att ökade utgifter för vinterdriften ett år med svår vinter lämnar mindre resurser kvar för exempelvis vägunderhåll resterande del av året. För att minska kostnaderna för kommunerna ställs normalt krav på fastighetsägare att sköta vinterväghållningen på gångbanor och trottoarer fram till fastighetsgränsen. Denna lösning har dock varit föremål för diskussion och undantag finns. Ett exempel är Staffanstorps kommun som ansvarar för vinterväghållningen på alla kommunens gångbanor (SKL, 2014).

Fasta kostnader, maskiner, personal och resurser, står för i grova drag 25-30 % av vinterväghållningens totala kostnader (SKL, 2014). För att öka kostnadseffektiviteten behöver fordonens belägningsgrad öka. Därmed kan de fasta kostnaderna slås ut över fler faktureringsbara timmar. Mendoza & Lundqvist (2014) pekar på att det inte är ekonomiskt försvarbart att låta enheter gå sysslösa under vintermånaderna och att det finns goda möjligheter att nyttja någon av de befintliga enheterna på en kommun delta i snöröjningen.

Vägar och områden indelas i olika prioriteringsgrupper med skilda krav på när insatser ska sättas in och i vilken ordning de ska åtgärdas enligt avtalsvillkoren (Mendoza & Lundqvist, 2014). Kommunerna kan själva ställa upp vilka nivåer/prioriteringsordningar de önskar för centrum- och bostadsgator, gång- och cykelvägar samt kommunal fastighetsmark (SKL, 2014).

### 5.1.2 Trafikverket

Trafikverket upphandlar driftområden på perioder om 3-7år. Gemensamt för alla driftområden är att vägarna delas in i sträckor som en av fem standardklasser (Trafikverket, 2015b). Väghållarna klassar typiskt vägarna utifrån prioritering för när åtgärder ska sättas in. Kravnivåerna förändras över åren men exempel ses i tabell 5.1. För trafikverket är det de högtrafikerade vägarna i standardklass 1 som har högst prioritet (Arvidsson, 2011).

Tabell 5.1 Exempel på Trafikverkets standardklasser vid vinterväghållning. Källa: Arvidsson (2011); Trafikverket (2013)

	Standardklass				
	1	2	3	4	5
<b>Avser</b>					
Längd av vägnätet (%)	2	6	17	23	52
Trafikmängder (%)	14	27	35	14	10
<b>Åtgärder</b>					
Vid snötäcke (cm)	1	1	1	2	3
Påbörjas inom (h)	2	3	4	5	6
Slutförs inom slut av snöfall (h)	2*	3*	4**	5***	6***
Halkbekämpas med	Salt	Salt	Salt	Salt**** / Sand	Salt***** / Sand

\* Vid långvariga perioder med temperaturer kallare än - 6 grader kan delar av vägytan vara täckt av snö eller is.

\*\* Vid temperaturer över -6 grader Celsius tillåts en snösträng mellan hjulspåren samt i vägmitt och körfältskanter. Endast hjulspåren på vägen behöver vara snö/isfria tre timmar efter snöfallets slut.

\*\*\* Efter utförd åtgärd får två cm packad snö kvarstå på vägen.

\*\*\*\* Vid risk för halka kan salt användas i början och slutet av säsongen men halkbekämpning sker normalt med sand.

\*\*\*\*\* Som ovan men kemisk halkbekämpning får endast utföras efter godkännande av beställaren.

### 5.1.3 Upphandling

Styrdokumentet som reglerar vinterväghållningen har vanligen baserats kring åtgärdskrav. Vid angivet förhållande ska en viss åtgärd utföras. Numera är det dock sällan beställaren ställer krav på utförandet av arbetsuppgifterna eller fördelning mellan maskinellt eller manuellt arbete. Istället är det funktionskrav som är styrande med hänvisning till vilken funktion det eftersträvas för de olika ytorna. Funktionskraven är lättare att ha kontroller på samt ger en större flexibilitet för entreprenörer att konkurrera med differentierade metoder (Mendoza & Lundqvist, 2014). Upphandlingen kan fokusera på vilka mål som ska nås, tider och målsättningar exempelvis (SKL, 2014).

Upphandlingsformen kan påverka på vems initiativ ny teknik införs.

Vid en totalentreprenad kan det vara upp till entreprenören att stå för samtliga steg i kedjan med inmätning, egen bedömning av snöstörar och dyl.

Det är upp till upphandlande aktör att ställa de tekniska krav och villkor de bedömer passar sina behov bäst. Tekniska krav måste avvägas noga innan de tillförs. Om en upphandlad entreprenad blir alltför komplex med större tekniska krav kan färre entreprenörer ha möjlighet eller intresse att delta. Detta kan i förlängningen driva upp priserna mer än vad endast de ökade tekniska kraven motiverar.

Innan beslut om införande av nya tekniska system tas måste en utredning av vilka uppgifter som avses lösas och på vilka ytor den ska användas. Kan utrustningen användas på andra maskiner och till andra uppgifter? Måste utrustningen fungera i kombination med redan existerande system eller i en ny kombination? Viktigt att klara ut är om den ska användas på allmän väg då risker och regler skiljer sig avsevärt åt. Vid en upphandling ska det framgå om det är beställaren eller entreprenören som ska svara för inköp och underhåll av GNSS-utrustning (SKL, 2014).

Redan idag har GNSS använts under flertalet år. Andersson & Holmén (2009) försökte i en studie bestämma kravbilderna Skanska skulle ställa på framtida system utifrån sin roll som entreprenör (Andersson & Holmén, 2009). Här användes dock GNSS informationen huvudsakligen till att återrapportera position och utförda åtgärder, detta för att underlätta styrning av vinterväghållningen på ett övergripande plan.

Genom att rapportera tillbaka till ledningscentralen var fordonen befinner sig via GNSS kan entreprenörerna optimera rutterna med komplementära åtgärder eller omdirigera till nya rutter. Även saltning kan styras så att åtgärder endast utförs på ytor där det behövs.

## 5.2 Åtgärder inom vinterväghållning

### 5.2.1 Plogning

Dagens plogbilar kan utrustas med ett antal olika plogtyper, front-, sido-, bred- och underplog (Arvidsson, 2011). Frontplogen är, som namnet antyder, monterad på fronten av en lastbil, traktor, fyrhjuling eller annat arbetsfordon. Frontplogen täcker den yta fordonet själv kör på samt lite till. Vanligen är den hydrauliskt styrbar i höjd och vinkel av föraren (Heyman & Holm, 2010). I figur 5.1 nedan visas en flerledad frontplog med fjäderbelastat påkörningsskydd i nederkant.



Figur 5.1 Flerledad frontplog med fjäderbelastat påkörningsskydd i nedkant.

Under arbetsfordonet kan en underplog vara monterad som hjälper frontplogen rensa vägen från snö. På sidan av fordonet kan en sidoplog monteras som gör det möjligt att rensa en större del av vägbanan. Bredplogen är en längre variant av sidoplogen som möjliggör att en större bredd plogas samtidigt (Heyman & Holm, 2010).

Utöver detta finns även snöslungor och borstar för mekanisk snöröjning. I figuren nedan ses en ny sopsaltningsspridare. Främst på traktorn kan en plog vara monterad för att ta huvuddelen av snön. Borsten tar eventuella rester och i samma körning saltas ytan sist för varaktig halkbekämpning (SKL, 2014).



Figur 5.2 Sopsaltningsspridare efter traktor. Källa: Gatukontoret Malmö Stad

I Sveriges kommuner består huvudsakligen fordonsflottan av lastmaskiner och traktorer på förvaltningar och hos entreprenörer. På det statliga vägnätet är lastbilar vanligen förekommande (SKL, 2014).

I trafikverkets regi ska ett test med GNSS-styrt snöutkast ha genomförts, där utkasthöjden kan styras efter behov. Detta i syfte att minska skador på vägmärken och andra väganordningar som riskeras att skadas vid plogning (Knudsen, o.a., 2014).

En speciell teknik som nyttjas vid plogning är tandemkörning där två fordon med separering i sida och längd körs efter varandra för att täcka flera körfält.

### 5.2.2 Snöbortforsling

Att forsla bort snö görs när snövallarna hindrar sikt och framkomlighet. En riktlinje kan vara att vallarna ska vara under 80 cm i höjd nära korsningar. Här är det även viktigt att ta hänsyn till fotgängares krav på framkomlighet och säkerhet.

Snöbortforsling är kostsamt, därför är det bra att i förhand ha identifierat de områden som bedöms kan ha behov att bortforsling. Främst är det upplagsplatserna i tätorternas centrala delar som utgör en flaskhals vid större snömängder.

Vid traditionell lastning med hjullastare/traktorer utsätts trafikanter för risker. Framöver kan det krävas nya lösningar för att undanröja snö säkert och kostnadseffektivt.

Då det är associerat med höga kostnader att transportera bort snö har vissa kommuner övergått till att använda gångbanor för att lägga upp snö. Gång- och körtrafik får då istället dela utrymme på en bred körbana (SKL, 2014).

### 5.2.3 Halkbekämpning

Halkbekämpning utförs typiskt med salt eller sand. Salt används för att sänka fryspunkten för snö och is. Från det normala vid 0 °C ned till en teoretisk gräns vid -21,1 °C. Trafikverket har som redogjorts för ovan krav på att de större vägarna ska vara snö/isfria när temperaturen är över -6 °C.

Sand används som en friktionshöjande åtgärd. Detta görs i huvudsak på lågtrafikerade vägar då effekten av sandning försvinner efter ca 300 passerade bilar (Arvidsson, 2011).

Förebyggande halkbekämpning hindrar nederbörd att lägga sig på vägytan och bilda kärnis. Insatser som görs förebyggande kräver mindre saltmängder för att behålla körytorna isfria.

Halkbekämpning med salt medför att vegetation i anslutning till vägarna utsätts för saltspray och saltstänk. Saltet kan torka ut knoppar och barr. Resultatet av detta kan vara att växter slår ut sent eller inte alls, störst är problemet för nyplanterade växter. Vägsaltet kan även påverka jordens

kemiska markpackning med försämrad syresättning, rottillväxt och vattenbalans som följd (SKL, 2014).

Befuktat salt kan spridas i hastigheter på upp till 60-70 km/h. För torrsalt är rekommendationen max 40 km/h.

Befruktat salt fastnar i vägytan där smältning påbörjas, därför måste spridningen ske över hela ytan som önskas behandlas. Torr salt studsar däremot mot vägytan och sprids av vind och trafik. Spridningen sker därför över en något smalare bredd där saltet sprids efterhand (Bengtsson, 2015).

En valsspridare fungerar med valsens bredd medan en tallriksspridare kan sprida över 10 meter brett (SKL, 2014). Valsspridaren är inte lämplig på breda vägbanor eller vid varierande bredder. Tallriksspridaren slungar ut saltet från en roterande skiva. Genom att variera rotationshastighet och lutningsvinkel kan spridningsbredden justeras. Till tallriksspridarens nackdel hör att spridningen blir mindre precis, därmed kan mycket hamna utanför vägbanan (SKL, 2014).

Påbyggnadsspridare går att montera på allt från en enkel pickup till kombifordon och stora lastbilar (SKL, 2014). Flexibiliteten kräver även att en eventuell GNSS-utrustning blir lätt att montera och demontera. I figur 5.3 ses en kombispridare från Malmö stad.



Figur 5.3 Schmidt kombispridare. Källa: Gatukontoret Malmö stad

Elektroniska kontrollsystem kan anpassa spridningsmängden efter vägen och körhastigheten för att ge flexibel och exakt dosering (SKL, 2014).

I ett danskt test prövades att använda positionsbestämning via GNSS för att styra spridning av salt. Testet nyttjade positionsinformation för att reglera spridningen på förutbestämda bredder vid givna koordinater (Sommer, 2011).

Den tekniska lösningen i testet redovisades inte men då den typiska felmarginalen var av storleksordningen tiotal meter antogs att mottagningen skedde med enkel kodmätning.

Lokal geografisk variation kan medföra skillnad i ytemperatur längs en och samma väg. Därmed kan behovet av mängden salt som behövs vid halkbekämpning variera. Kan dessa variationer identifieras går det också att optimera använda saltmängder. Anna Arvidsson (2011) listar ett arbete av Handa et al. (2006) där GNSS nyttjas vid salt spridning (Handa, Dan, Lee, & Xin, 2006). Det förefaller dock vara ett område där GNSS utrustning med kodmätning borde vara tillräckligt.

Den största fördelen med automatisering är att föraren blir fri att fullt ut koncentrera sig på trafiken och körning (Arvidsson, 2011).

### 5.3 Skador och kostnader associerade med vinterväghållning

Erik Magnusson på Lidingö stad listar typiska problemområden vid vinterväghållning.

- *Körskador*
- *Utlastning. Tänk på vad som finns under snön.*
- *Ploga full bredd. Områdeskunskap krävs för att gatorna ska kunna plogas så breda som möjligt och att vallarna hamnar på gynnsamma lägen med hänsyn till sikt och framkomlighet.*
- *Oplogade gångbanor. Oftast ett resultat av att maskinföraren inte är bekant med området.*
- *Lämna fria ytor vid brandposter och pumpstationer.*

(SKL, 2014)

#### 5.3.1 Direkta kostnader är associerade med körskador

Plogning kan medföra skador på byggnader, staket, murar, kantsten och växtlighet. När det gäller skador på enskild egendom vid sidan av gatan eller vägen är det i normala fall väghållaren som är ersättningsskyldig (SKL, 2014). Nedan visas exempel på körskador i samband med vinterväghållning i Malmö stad.



Figur 5.4 Kant- och vegetationsskador från vinterväghållning. Källa: Gatukontoret Malmö stad



Figur 5.5. Körskador på vägkanter från vinterväghållning Källa: Gatukontoret Malmö stad

Entreprenadavtalen är typisk utformade så att ersättningar och åtgärder till följd av skador faktureras vidare till entreprenören. Årligt återkommande skador på gräsytor och kantstenar är vanligt. Det behöver finnas rutiner för hur rapporter till följd av vanliga skador relaterade till driften ska hanteras (SKL, 2014).

I Malmö stad är kostnaden för körskador i storleksordningen 300 000-400 000 SEK om året (Larsson, 2015). I genomsnitt har vinterväghållningen i Malmö kostat 31,4 MSEK per vintersäsong de sista sju åren (Malmö stad, 2015a).

Körskador står alltså för i storleksordningen en procent av den totala vinterväghållningsbudgeten.

Som referens har Malmö stad också 7 lastbilar, 32 traktorer och 6 pickup-bilar för att klara snö- och halkbekämpningen (Malmö stad, 2015b).

En åtgärd som kan undvika några av tillbudena och skadorna som uppkommer är att genomföra en barmarksinspektion innan vintersäsongen börjar. Genom att skapa sig god kännedom om området kan känsliga objekt identifieras och kvaliteten i arbetet kan höjas. Typiska objekt kan vara fria höjder, trånga passager (förbi refuger), grusbelagda ytor, grönytor, elskåp, brunnar.

En barmarksinspektion fyller även syftet att fungera som jämförelsebild för eventuella skador efter säsongen, härmed är det viktigt att dokumentera arbetet. Skadeinventering bekräftas genom en gemensam syn efter vintern. Skador på grund av vinterväghållning kan medföra stora kostnader och är en vanlig orsak till tvister (SKL, 2014).



I Malmö tilldelas varje förare en slinga som lärs in innan säsongen börjar. Skaderisken ökar när sjukdom eller trasigt fordon tvingar en ny förare in på en okänd slinga (Larsson, 2015).

### 5.3.2 Skador och risker för maskinförare

För att undvika skador och olyckor bör följande frågeställningar besvaras;

- Vilka arbetsmoment medför särskilt stora risker?
- Vilka skador kan inträffa?
- Vad är risken för detta?
- Vad är risken för personer i omgivningen?

I SKLs skrift om vinterväghållning, svart på vitt, listas arbetsolyckor som inträffat i samband med vinterväghållning i kapitel 14. Ett urval presenteras nedan;

1. *Utförde snöröjning med en lastmaskin. Körde på ett brunnslock. Fanns inget midjebälte. Kraftig stöt, kastades in med pannan i rutan. Rutan sprack. Alla maskiner nu utrustade med trepunktsbälte efter olyckan.*
2. *Var sysselsatt med att snöröja gångbana, med hjälp av minitraktor. På entrésidan av huset gled traktorn i sidled och plogbladet fastnade i kantsten och trapp och det tog tvärstopp. Föraren kastades framåt i hytten och slog huvudet i framrutan.*
3. *Röjde undan snö på en trottoar då plötsligt plogen stötte i asfalten och maskinen tog tvärstopp från uppskattningsvis 20 eller 30 kilometer i timmen. Slungades framåt och slog först i huvudet i takkonsolen och slog sedan hakan i ratten. Inget midjebälte i maskinen. Sårskada i huvudet samt huvudvärk och nacksmärta.*
4. *Snöröjde med Bobcat på en parkering där det finns gammal järnvägsräls kvar. Snöade hemskt mycket. Med skopan i marken körde föraren för full maskin och plötsligt blev det tvärstopp och han kastades inne i maskinen. Skopan hade tagit i rälsen. Nackskador.*

(SKL, 2014)

Under intervjuerna med aktörerna inom vinterväghållning ställdes frågan hur stort problem personskador är.

- Bengt Randau på driftområde Malmö uppger att de inte haft några personskador de senaste åren. Störst risk finns på grusvägar där plogen riskerar att fastna i tjällyft. Även uppstickande brunnar är en riskfaktor.
- Erik Larson på Gatukontoret i Malmö uppger att de endast haft några få personskador under de senaste åren. En uppkom på grund av ett kommunikationsmisstag där plogning utfördes på en vägsträcka där ett arbetsområde felaktigt förklarats återställt.

Båda lyfter fram att nyare plogar ofta är utrustade med eftergivliga påkörningsskydd vilket minskar risken för skador vid eventuella påkörningar.

### 5.3.3 Problem orsakade av krympande vägbredder

En tydlig sammanställning av omfattningen av krympande vägbredder saknas. Erfarenheten pekar dock på att det är särskilt känsligt i en förträngning eller vid tillfälliga avstängningar, exempelvis så som i figur 5.6. Enligt Erik Larsson på Malmö stads gatukontor lär sig förarna var hindren finns längs slingorna ett tag in på säsongen.



Figur 5.6 Frontplog monterad på lastbil. Källa: Gatukontoret Malmö Stad

Problem kan uppstå på slingor som inte körs så frekvent. Så skedde i Malmö vintern 2010 när P3 systemet aktiverades (Larsson, Drift och underhåll av vägar, 2014). En bild från Malmö vintern 2010 får exemplifiera problemen, se figur 5.7 nedan.



Figur 5.7 Villagata i Malmö under vintern 2010. Källa: Gatukontoret Malmö Stad.

Från en rent teoretisk ståndpunkt borde krympande vägbredder medföra några effekter. När det finns små spår djup (<10 mm) är körbanebredd den dominerande parametern för sidledsfördelning, trafiken blir alltså mer spår bunden vid smalare vägbredder (Blab & Litzka, 1995).

Dubbäcksanvändandet under vinterhalvåret sliter på asfaltsbeläggningen. VTI har genomfört en studie där de identifierade parametrarna med hög påverkan på slitaget. Den totala mängden bortslitet material påverkas inte av trafikens sidoledsfördelning men ökad koncentration leder till ökade spårdjup (Gustafsson, o.a., 2006). Närvaron av spår i körbanan över 10 mm leder till ytterligare minskning av sidoledsfördelningen (Blab & Litzka, 1995). I teorin borde dessa effekter samverka och förstärka varandra med spårbildning som följd. Ingen studie har hittats där sidofördelningen mätts under vinterförhållanden. En förklaring finns i Malmö. Här är det rutin att trafikmätningsskyltar plockas in vid risk för snöfall, som en skadeförebyggande åtgärd (Larsson, Drift och underhåll av vägar, 2014).

Motsatsen till krympande vägbredder kan också medföra bekymmer. Överplogning, plogning utanför vägbanan, har ett samband med olyckor och skador. Detta samband blir tydligare vid snörika vintrar. Det försvåras av mörker och snöyra. I SKLs skrift Vitt på svart – om kommunal vinterväghållning listas två fall från verkligheten där yttre omständigheter spelade roll för ansvarsutkrävandet för överplogningen.

- I ett fall gick plogningen 30 cm utanför vägen, vägbanan var utmärkt med snökäppar och bilisten körde ner i diket. Inget skadestånd utdömdes eftersom det inte räknades som försummelse. Vägen var smal och krokig och trafikanterna måste då räkna med att det blir en viss överplogning enligt Högsta domstolen.
- I ett annat fall på allmän väg var överplogningen 60 cm och en bilist hade kört ned i diket. Olyckan inträffade i en kurva och sikten var skyddad. Hovrätten dömde väghållaren att betala skadestånd och Högsta domstolen gav inte prövningstillstånd.

(SKL, s18, 2014)

#### 5.3.4 Framkomlighetsproblem på grund av vinterväghållningen

Mendoza & Lundqvist (2014) uppmärksammar behovet av snöröjning tätt intill signalljus och pollare sett utifrån ett framkomlighetsperspektiv. För att nå bättre resultat krävs tydliga krav på antingen maskinparken eller på manuell snöröjning. Mendoza & Lundqvist (2014) lyfter också betydelsen av att dokumentera och följa upp klagomål från allmänheten för att förbättra åtgärder på utsatta ställen.

Traditionellt har vägbanor varit prioriterade framför gång- och cykelbanor. Som en konsekvens av detta är gång- och cykelskador vanligare under vintern, tre till fyra gånger fler skador inträffar under vintern än under sommaren. Enligt VTI överstiger samhällets kostnader för halkrelaterade skadorna de för vinterväghållningen (Öberg, 2011).

Orsakssambandet förefaller vara något komplicerat. Då vägnätet prioriteras före gång- och cykelvägarna är de senare oftare drabbade av is/snö och grus som underlag. För cykelbanor ansvarar kommunerna medan ansvaret för

gångbanor/trottoarer ibland ligger på fastighetsägarna med blandad efterlevnad. En bidragande orsak till problemet är när kommunens avsedda utförare plogar upp snö på gångbanorna (Mendoza & Lundqvist, 2014).

#### **5.4 Vädrets påverkan**

Val av åtgärder baseras på ytemperaturer och prognostiserad nederbörd, det är beroende av dessa två faktorer det avgörs om det blir halka eller inte. Våt vägbanan kan frysa till när temperaturen sjunker eller om nederbörd möter en kall vägbanan (under 0 °C) eller vid underkyllt regn (under 0 °C men inte fryst till is än), resultatet blir då ishalka. Från säkerhetssynpunkt kan ishalkan vara extra farlig eftersom det inte syns så tydligt på vägbanan. Ishalkan kan även vara väldigt lokal, broar och vägbankar är särskilt utsatta. Det är temperaturen på vägbanan som är avgörande för om vägbanan fryser till. Vad som kan ses som ett specialfall av ishalka är frosthalka. Frosthalka uppstår då fukt i luften faller ut och fryser till på vägbanan. Detta inträffar vid en kombination av lufttemperatur, luftfuktighet och ytemperatur (SKL, 2014).

När snö lägger sig över vägbanan minskar däckens friktion och framkomligheten försvåras, snöhalka utvecklas. Snö som faller runt nollstrecket kan packas ihop tätare och medför svårare väglag. Snö motsvarande 1 mm i smält form som faller runt noll °C blir i regel ett snötäcke på 1 cm medan samma snömassa vid temperaturer nere vid – 10 °C kan motsvara 2-3 cm snö (SMHI, Nederbördsintensitet, 2015b).

Till hjälp för att identifiera när åtgärder behöver sättas in finns bland annat Trafikverkets väderinformationssystem VViS som är ett nätverk av mätstationer som mäter yt- och lufttemperatur, luftfuktighet, vind och nederbörd. Effektivast insatser är de som sker innan snö och is får fäste i vägbanan. Tidiga åtgärder är kostnadseffektivast med ökad säkerhet och framkomlighet (SKL, 2014).

Förändringar i klimatet kommer påverka behovet av vinterväghållningen framöver. Landets olika delar kommer drabbas på olika sätt. Beroende på vilken prognos som studeras förändras bilden något men medelscenariot ger förkortad säsong i söder med färre dagar med nollgenomslag. Norra halvan av landet kommer tvärtom få fler dagar med nollgenomslag (SMHI, Klimatscenarier, 2015a).

## 6 Resultat

### 6.1 Användningsområden inom vinterväghållningen

#### 6.1.1 Bredplog eller TowPlow

En tänkbar implantation av GNSS-styrning skulle kunna vara att köra med en bredplog i styrt läge. Härmed skulle föraren kunna fokusera på att placera fordonet rätt i sida till vänsterkanten och låta GNSS-styrningen automatiskt placera ytterkanten av bredplojen på rätt position. Här krävs antingen att GNSS-antennen är monterad på plojen, med de svårigheter det medför, eller att en givare beskriver bredplojens läge i förhållande till fordonet.

Samma fördelar borde gälla för TowPlow systemet beskrivet av Anna Arvidsson i VTI rapport 737. Förenklat kan TowPlow beskrivas vara ett plogblad som monteras på ett släp efter en lastbil. Släpet är styrbart och kan köras snedställt efter lastbilen. Systemet finns dock ännu inte i Sverige och en bredplog fyller samma funktion varför ett införande måste bedömas som osannolikt (Randau, 2015).

Idag plogas 2+1 vägar med tandemkörning eller i två omgångar då chaufförerna upplever att de inte har någon kontroll över ytterkanten på bredplojen. På motorväg körs bredplog i kombination med tandemkörning. Att bredplojen vandrar i sida påverkar inte nödvändigtvis resultatet särskilt mycket eftersom följande plogbil täcker upp variationerna (Randau, 2015).

#### 6.1.2 Maskinstyrning vid saltspridning

Prov har tidigare genomförts för att optimera saltspridning med hjälp av GNSS. Ett danskt test utformades utifrån förmågan att kunna bestämma fordonets position huvudsakligen i vägens längdriktning (Sommer, 2011).

Även om föraren varierar bredden frekvent under en runda missas ofta busshållplatser, vänster- och högersvängskörfält. Problemet har att göra med arbetsbelastningen. Att göra korrekta korrigeringar av både spridningsbredd och symmetri på en manöverpanel för att matcha vänster- och högersvängskörfält under tiden fordonen passerar en korsning i 50-70 km/h tar uppmärksamhet från trafiksituationen. I VTIs regi genomfördes ett test där fördelarna främst var ökad kvalitet på spridningen genom att saltningen endast görs där det behövs. Då chaufförens arbetsbelastning sjönk ger GNSS-styrning också positiva effekter på trafiksäkerhet och arbetsmiljö (Möller, 2013).

#### 6.1.3 Framkomlighetslösning

Mendoza och Lundqvist (2014) lyfte behovet av att kunna hålla små toleranser mot pollare och stolpar vid övergångsställen. Här finns en möjlig lösning för att förbättra framkomligheten.

#### 6.1.4 Visuellt förarstöd

Som konstaterat medför snöfall svårigheter att identifiera vägkanter. Genom att ha utrustningen monterad i fordonet ges en möjlighet att få återkoppling om plojens position i förhållande till vägkant och omgivande objekt.

## 6.2 Krav för att fungera

### 6.2.1 Underlag

För att nyttja maskinstyrning behövs underlag att referera mot. En tidsmässig fördel hade varit om det gick att nyttja existerande GIS-data. Vid nya projekterade vägsträckor finns digitala filer/ritningar redan ofta tillgängliga. Frågan är vilken överensstämmelse det finns mellan underlaget och den verkliga anläggning som byggs när behovet är centimeter precision, inte minst när det gäller vägkant eller vägmarkering då referensmättet är vägmitt. Det finns även frågetecken om i vilken utsträckning data finns över existerande vägsträckningar idag, underlaget är långt ifrån heltäckande.

Ramböll RST arbetar med inmätning av vägytor. I arbetet lagras fortlöpande positionen för inmätningssfordonet med DGPS. I områden där signalerna inte når fram assisteras positionsbestämningen av tröghetsnavigering. Dess precision är inte bättre än enstaka meter, men tillräckligt för mätningarnas syfte. Bearbetade mätvärden tillsammans med positionen presenteras var 20 meter men kan lagras oftare än så. Vid vägytemätningar detekteras dock inte vare sig vägkant eller vägmarkering utan endast körfältsmitt bestäms. Vid mätningar av vägmarkeringars reflektivitet är det en GNSS antenn monterad direkt ovanpå instrumentet. Görs ett enkelt skifte av utrustning från DGPS till RTK kapabel mottagare ska inmätning kunna ske med godkänd precision av önskad position direkt (Glantz, 2015).

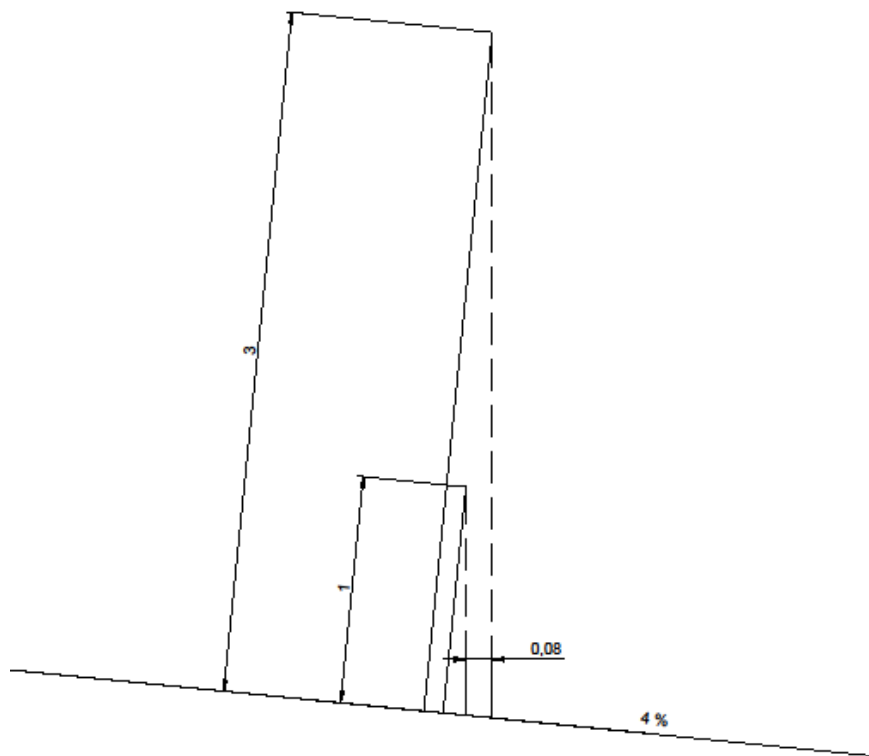
För små radier, som i urban miljö, behövs täta inmätningar. För en inmätning per meter behövs i 36km/h 10 Hz sampling. Detta ökar datamängderna och arbetstiden vid behandling. Se avsnitt 6.4.2 för en djupare genomgång.

### 6.2.2 Tekniska krav, antennplacering

Antennens placering på arbetsfordonet kan påverka mottagningen genom flera aspekter. Används samma typ av fordon med statiska redskap och en fast antennmonteringspunkt vid både inmätning och körning uppkommer inga nya problem. I verkligheten kan indata komma från ett flertal källor och ska fungera med en komplett fordonsflotta, ibland med synnerligen avancerande redskap, vik- och ställbara i flera riktningar. Då krävs lite eftertanke för att tydligt definiera vad som ska mäta in, vad som faktiskt mäter in och vad utrustningen berättar om positionen vid körning.

Då programvaran inte beräknar riktningen har den svårt att särskilja två linjer i relativ närhet. Därför bör en uppdelning i minst två linjer ske då en väg körs i två riktningar. Därmed kan en linje i taget vara aktiv.

Vanlig stångmätning sker med stången lodrät. Genom att stånghöjden är känd kan positionen på marken beräknas fram. Stångens höjd kan varieras utan att det påverkar resultatet. Vid mätning med fordon kan antennen placeras i vågrät position vid etablering. Men då antennen är fast placerad följer förändringar från underlaget upp till antennen. Om det är en höjdskillnad i antennhöjd mellan inmätning och körning skapas en differens sidledes om vägen skevar. Vid en vägskevning på 4 % i en kurva, ett vanligt värde på svenska vägar enligt VGU 2012 (Trafikverket, 2012), blir sidofelet 4 cm per meter i antennhöjdskillnad mellan mottagarpositioner. Det kan tänkas att höjdskillnaden blir 2 meter mellan en plogmonterad antenn och en antenn monterad på hytttaket av arbetsfordon/lastbil. Felets uppkomst illustreras i figur 6.1 nedan.



Figur 6.1 Illustration av sidofelet storlek beroende av antennhöjden vid sluttande underlag. Källa: Ritning från Autocad 2015.

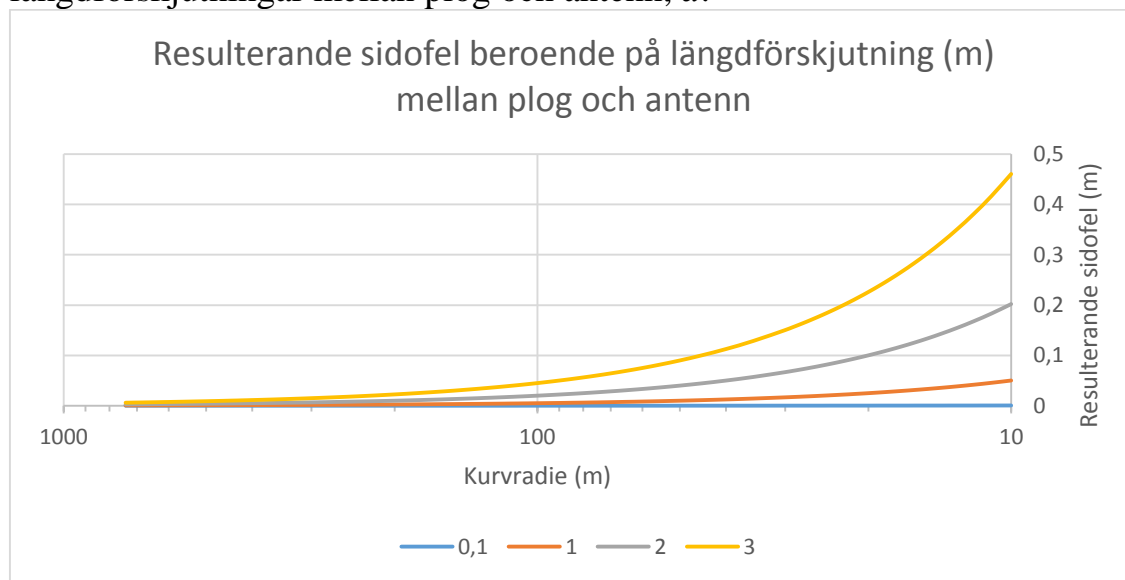
Övergår inmätningen till att ske med en högre monterad antenn kommer fordonet överploga i ytterkurvor och gå för långt in i innerkurvor. Vid en lågt placerad antenn nära fordonskroppen, exempelvis fäst direkt på plogen riskeras mottagningen bli skuggad av fordonet. Här kommer också vibrationen från plogningen att fortplanta sig in i mottagaren. Miljön utrustningen ska användas i ställer i sig höga krav. Men utrustningen som användes har en angiven tålighet mot kyla ned till  $-40^{\circ}\text{C}$  (Leica Geosystems, 2015a).

Vid guddad körning rapporterar programvaran avståndet till närmsta del av en körlinje. Kan antennen monteras så den är placerad direkt ovanför önskad linje behövs ingen anpassning. Om behovet finns går det att *offsetta* väglinjen,

flytta den en sträcka i sidled, men för att detta ska ge korrekt resultat krävs att antennen är placerad i en vinkelrät position till plogens kant. Annars fås förskjutningar av plogkanten,  $h$ . Felen förstärks kraftigt vid små radier,  $r$ , enligt formeln:

$$h = r - \sqrt{r^2 - d^2}$$

Nedan redovisas sidofel beroende på kurvradie och för några olika längdförskjutningar mellan plog och antenn,  $d$ .



Figur 6.2 Resulterande sidofel vid skillnad i längdled mellan plog och antenn.

Slutligen finns det ett krav av en mjukare karaktär, utbildning. SKL syftar i citatet nedan egentligen på informationssystem för att tolka och förutspå väderutvecklingen men formuleringen kan anses vara allmängiltig;

*Som med alla teknikbaserade system är det viktigt att personalen får fortlöpande utbildning. Ny teknik ska vara ett hjälpmedel och inte ett hinder som innebär merarbete.*

(SKL, s 23, 2014)

### 6.2.3 Vädrets påverkan

Kraven för när åtgärder ska påbörjas redovisas i tabell 5.1. Kraven är högre i de mer prioriterade klasserna. Standardklass 1 ska påbörja snöröjning inom 2 timmar efter 1 cm snötäcke. Standardklass 5 har istället krav på snöröjning inom 6 timmar efter 6 cm snötäcke. Extrema väderförhållanden behandlas annorlunda av Trafikverket men även ett måttligt snöfall medför upp till fyra centimeter snö i timmen (SMHI, Nederbördsintensitet, 2015b). På vägsträckor som inte saltas blir vägbanan också vit snabbare och försvårar möjligheterna att orientera sig. På grund av väder blir det därför troligen störst effekt av maskinstyrning vid arbete i de högre standardklasserna. Det är här det kan bli ett tjockare snötäcke innan åtgärder sätts in. Därmed blir det svårare att orientera sig. Med ett tjockare snötäcke vid plogning minskar den visuella återkopplingen (Randau, 2015).



## 6.3 GNSS mätning

Ett antal körslingor gjordes i Skåne under två perioder. Samtliga mätpunkter går att beskåda i figur 6.3 nedan. Vägtyperna spände från små skogsvägar till motorväg. Inmätningarna i stadsmiljö skedde i Malmö, Lund, Eslöv, Hörby tillsammans med ett flertal småorter. Mer detaljerade bilder av omfattningen av stadskörningarna går att beskåda i bilaga 10.4

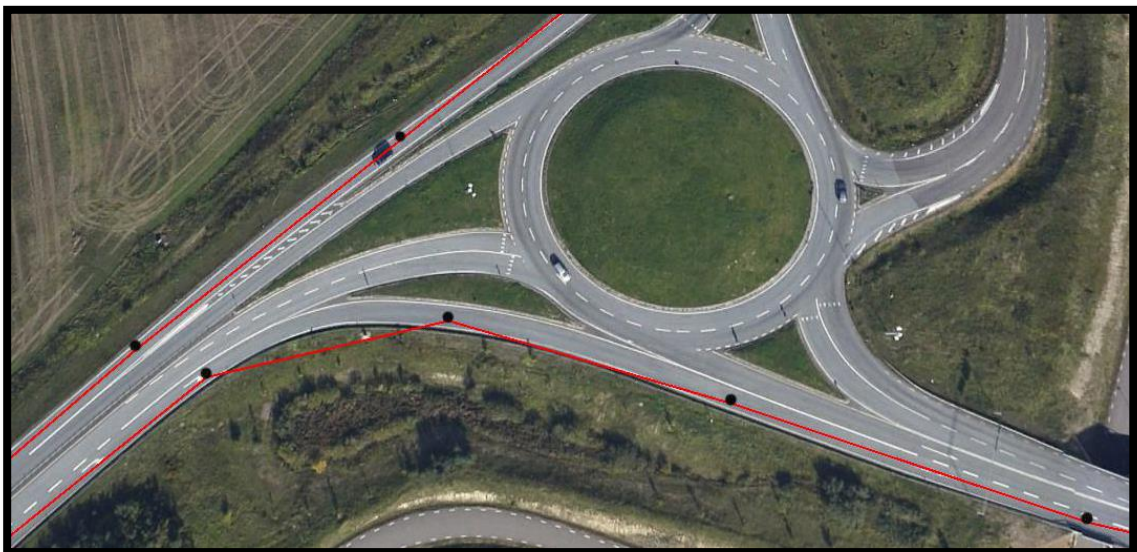


Figur 6.3 Samtliga mätpunkter utspridda över delar av Skåne. Källa: Skärmsklipp från Google Earth

Svevia rutt i västra Skåne som varit underlag för två av körslingorna har redan redovisats, se figur 2.4.

### 6.3.1 Samplingshastighetens inverkan på mätningarna

Inmätning gjordes var fjärde sekund med några undantag. Två effekter kunde observeras av detta. Tätare sampling under inmätningen hade reducerat båda nackdelarna. För det första är det för låg sampling för att korrekt återge väglinjen vid en kurva. Se figur 6.4 nedan, de svarta prickarna är inmätningpunkter och den röda linjen är väglinjen som skapats. Här blir det tydligt att den röda linjen går utanför vägkanten i infarten till cirkulationsplatsen.



Figur 6.4 Inmätningpunkter och tydlig vikningseffekt på väglinjen. Källa: Skärmsklipp Google Earth

Den andra effekten är varaktigheten på tappad signal. Förmågan att positionsbestämma försvinner helt när mottagningen från antalet satelliter går under fyra stycken. Detta sker vanligen när antennen passerar under en bro eller igenom en tunnel, se exempel i figur 2.3. Efter att antennen kommer i en position där mottagning uppstår igen krävs att mottagaren på nytt kan beräkna sin position och för att skapa fix-lösning att mottagaren ihållande kan följa signalerna från satelliterna. Fast hur länge var signalen förlorad? Vi kan i detta fall inte svara mer exakt än någonstans mellan noll och åtta sekunder. Hur lång tid detta tar kan variera men stor utveckling har skett, se avsnitt 3.4.4.2. En viss förbättring kan komma att ske i samband med införandet av nya signaler.

### 6.3.2 Omgivningstyper

Mätpunkterna från de körda sträckorna uppdelades i delsträckor och tilldelades en kategoritillhörighet baserat på dess huvudsakliga karaktär. Indelningen gjordes efter så långa sammanhållna sträckor som möjligt. Mätpunkterna delades in i kategorier av olika omgivningstyper. Fördelningen av mätpunkter framgår av tabell 6.1 nedan.

Tabell 6.1 Inmätningpunkters fördelning på inmätningensform och bedömd omgivningstyp.

Radetiketter	Mycket tät skog	Skog	Stad	Tät skog	Tät stad	Öppet	Totalsumma
Personbil	47	1165	2429	270	571	4221	8703
Hjullastare		208	963				1171
Stångmätning			39				39
<b>Totalsumma</b>	<b>47</b>	<b>1373</b>	<b>3431</b>	<b>270</b>	<b>571</b>	<b>4221</b>	<b>9913</b>

Nedan följer en genomgång av de olika omgivningstypernas kännetecken.

### 6.3.2.1 Öppet landskap

Öppet landskap valdes då vägens sträckning skedde i en öppen omgivning, typiskt för ett Skånskt slätthandskap. Ingen generell störning av signalvägar från sidan även om tillfälliga sikthinder dyker upp.



Figur 6.5 Exempelbild på ett öppet landskap.



Figur 6.6 Exempelbild på ett öppet landskap med tillfälligt sikthinder.

### 6.3.2.2 Stad

Beteckningen *stad* omfattar villaområden, industriområden, genomfartsleder samt lägenhetskomplex med generösa avstånd till fastigheter. Typisk elevationsvinkling på 20-35 grader.



Figur 6.7 Industriområde i Hässleholm som faller under omgivningstyp stad



Figur 6.8 Villaområde i Eslöv med 20 graders elevationsvinkel markerad

### 6.3.2.3 Tät stad

När staden förtätas med två till fyra våningshus i nära anslutning till väggkanten och typisk elevationsvinkel är på 35-60 grader betecknas omgivningen *tät stad*.



Figur 6.9 Centrala Lund är omgivningstyp Tät stad.



Figur 6.10 Tät stad i Eslöv med elevationsvinkel på 45 grader markerat.

#### 6.3.2.4 Skog

När vegetation finns en bit från vägkanten och typisk elevationsvinkel är 20-40 grader betecknas omgivningen *skog*.



*Figur 6.11 Landsväg öster om Eslöv av omgivningstyp skog.*



*Figur 6.12 Även landsväg med överhängande grenar från allé faller under kategorin skog.*

### 6.3.2.5 Tät skog

*Tät skog* används då det finns vegetation nära ena eller båda sidor av vägen. Kan ha överhängande grenar. Typisk elevationsvinkel på 40-65 grader.



Figur 6.13 Landsväg med vegetation nära väggkanten resulterar i omgivningstyp tät skog.



Figur 6.14 Även parkgata i Eslöv bedöms vara tät skog.

### 6.3.2.6 Mycket tät skog

På de minsta vägarna med de besvärligaste förhållandena väljs omgivningstyp *mycket tät skog*. Tät barrskog nära vägkant. Typisk elevationsvinkel över 65 grader.



Figur 6.15 Liten skogsväg nordost om Hörby, exempel på omgivningstypen *mycket tät skog*.



Figur 6.16 Kort vägsträcka genom tät barrskog norr om Eslöv. Mycket tät skog.

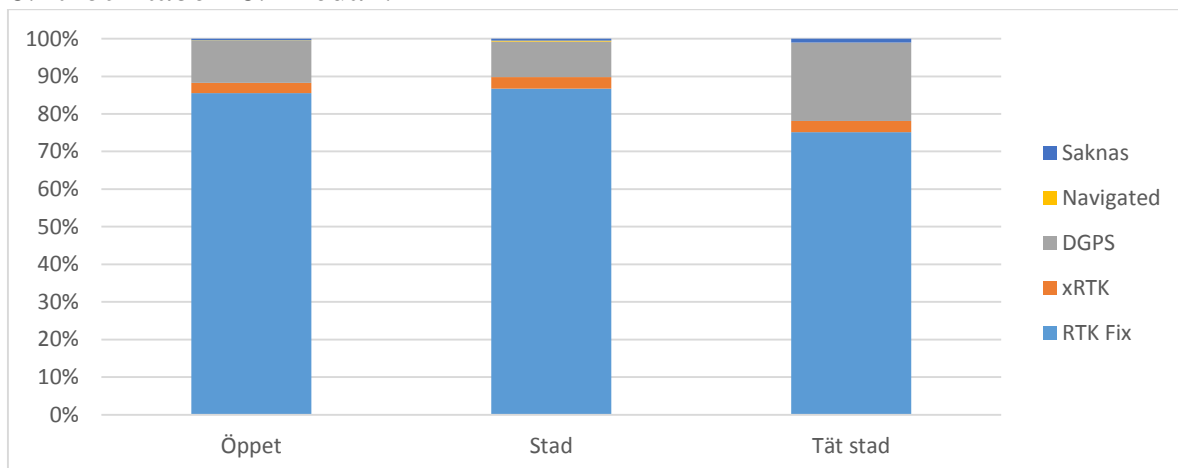
### 6.3.3 Mottagningstyp per omgivning

Mottagaren försöker uppnå fix-lösning och korrigera felkällorna via en virtuell referensstation, lyckas det rapporteras mottagningen ha skett med RTK.

Försämras mottagningen något så fix-lösning av högsta precision inte kan uppnås men tillräckligt god information kvarstår att bestämma positionen utifrån övergår utrustningen till xRTK läge. xRTK är ett varumärke som specifikt tillhör utrustning från Leica (Leica Geosystems, 2015b). Försämras mottagningen ytterligare övergår beräkningarna till DGPS. Tappas uppkopplingen till SWEPOS så ingen korrektionsinformation mottas övergår mottagaren till navigated läge.

För att åskådliggöra varje omgivningstyps förmåga att ta emot signaler av en given klass beräknas andelarna av mottagna punkters klassning per omgivningstyp. För samtliga beräkningar används mätpunkter inmätta med mottagaren placerad på taket av en personbil.

Först redovisas mottagningen i öppet landskap samt i urban miljö, se figur 6.17 och tabell 6.2 nedan.



Figur 6.17 Fördelning av mätpunkters mottagningstyp för de olika omgivningstyperna Öppet landskap, Stad och Tät stad.

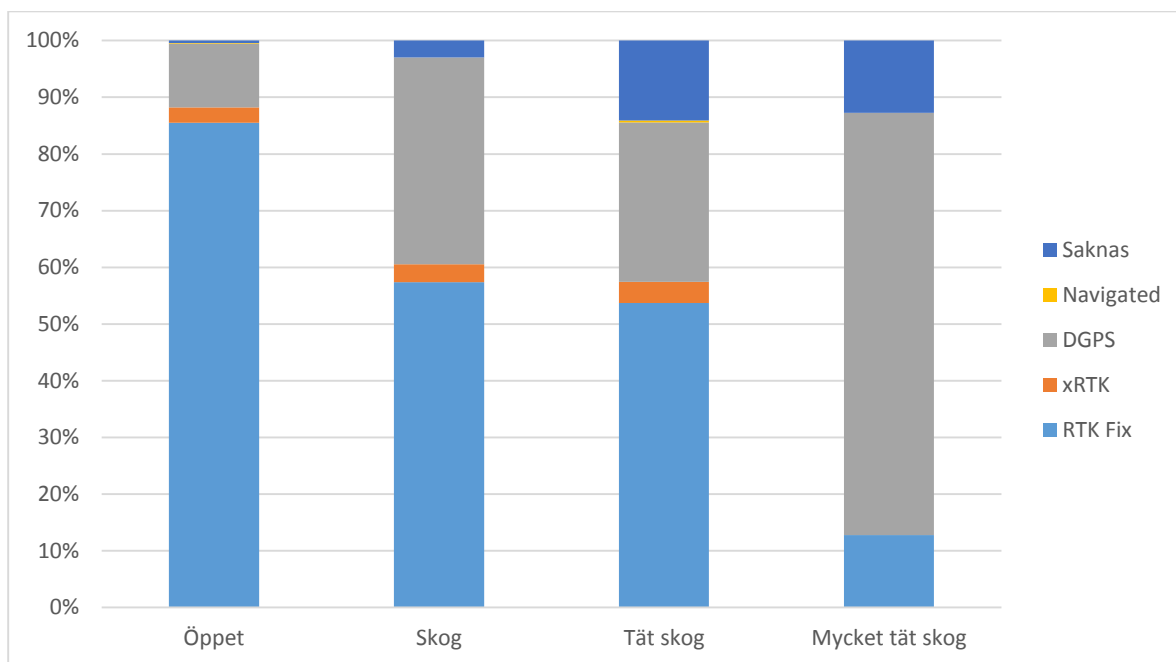
Tabell 6.2 Fördelning av mätpunkters mottagningstyp för de olika omgivningstyperna Öppet landskap, Stad och Tät stad.

Radetiketter	RTK Fix	xRTK	DGPS	Navigated	Saknas	Totalsumma
Öppet	3609	115	474	6	17	4221
Stad	2976	106	322	10	17	3431
Tät stad	429	17	119		6	571
<b>Totalsumma</b>	<b>7014</b>	<b>238</b>	<b>915</b>	<b>16</b>	<b>40</b>	<b>8223</b>

Resultatet visar på en god förmåga att behålla mottagningen även då mottagaren rör sig i en bebyggd omgivning.

Om mottagningen i skogsomgärdad omgivning därefter studeras blir försämringen tydligare. Se figur 6.18 och tabell 6.3 nedan.





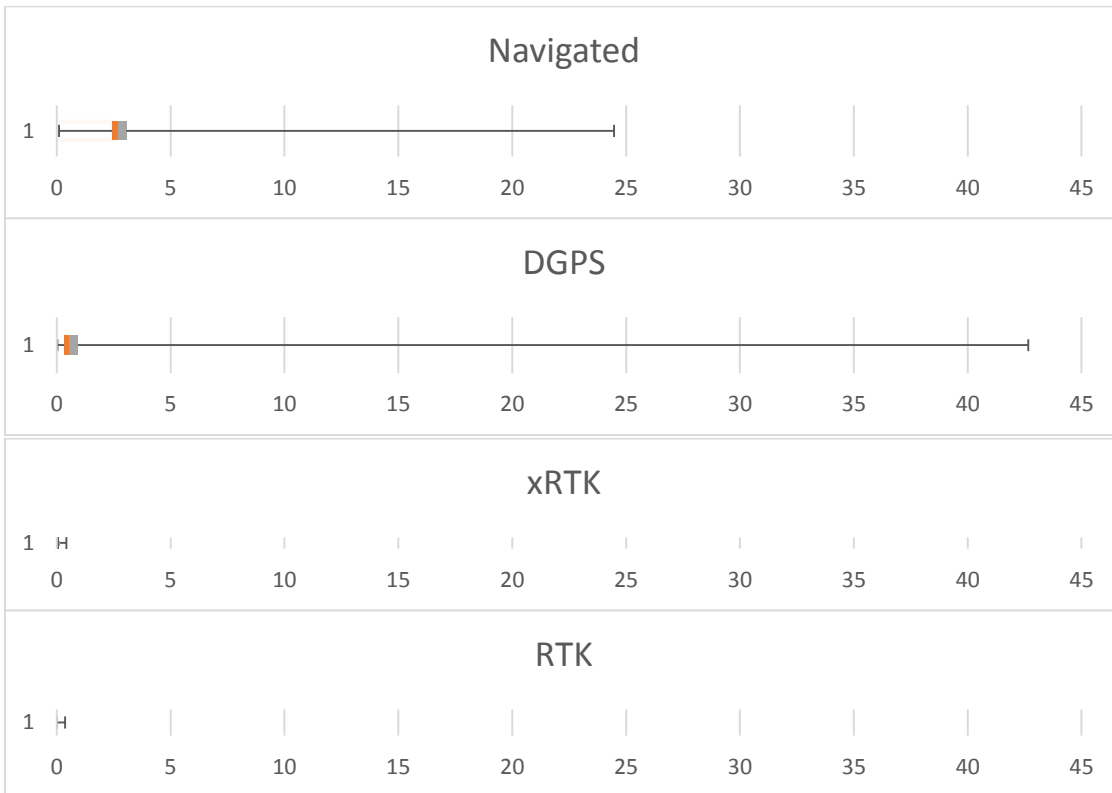
Figur 6.18 Fördelning av mätpunkters mottagningstyp för de olika omgivningstyperna Öppet landskap, Skog, Tät- och Mycket tät skog.

Tabell 6.3 Fördelning av mätpunkters mottagningstyp för de olika omgivningstyperna Öppet landskap, Skog, Tät- och Mycket tät skog.

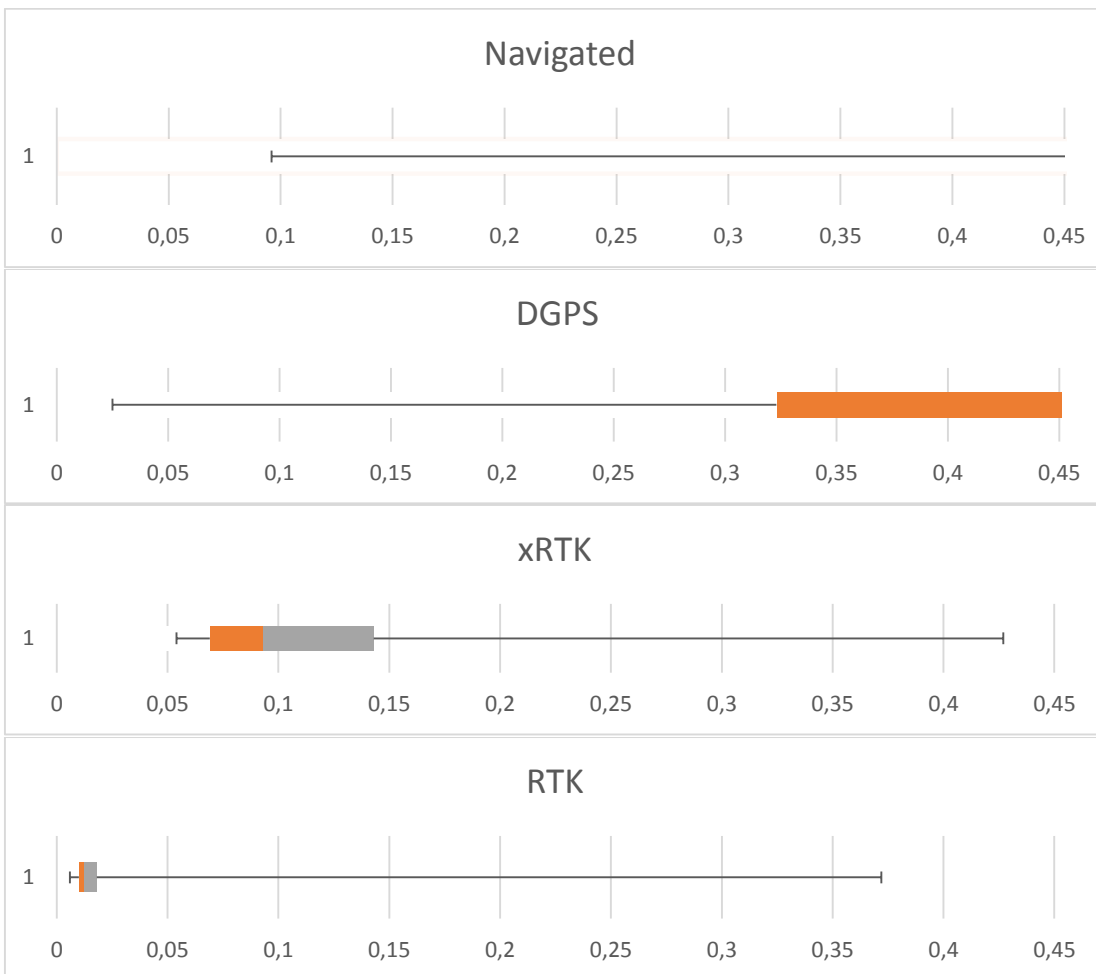
Radetiketter	RTK Fix	xRTK	DGPS	Navigated	Saknas	Totalsumma
Öppet	3609	115	474	6	17	4221
Skog	788	43	501		41	1373
Tät skog	145	10	76	1	38	270
Mycket tät skog	6		35		6	47
<b>Totalsumma</b>	<b>4548</b>	<b>168</b>	<b>1086</b>	<b>7</b>	<b>102</b>	<b>5911</b>

#### 6.3.4 Precision med avseende på mottagningstyp

Utifrån insamlad data analyseras fördelningen av varje mottagningstyps (RTK, xRTK, DGPS, navigated) radiella standardavvikelse. I graferna nedan presenteras boxplots för de fyra mottagningstyperna. ”Boxen” uppgörs av första, andra och tredje kvartilens gränser. Linjerna utanför boxen beskriver fördelningen av extremvärden upp till första kvartilen samt efter tredje kvartilen. Observera att det är samma grafer som presenteras två gånger vid två olika skalor för x-axeln. Spridningen är för stor för att ge en tydlig beskrivning annars. Först visas 0-45 m i figur 6.19, sen 0-0,45 m i figur 6.20.



Figur 6.19 Fördelning av radiell standardavvikelse för mottagningstyperna Navigated, DGPS, xRTK och RTK.

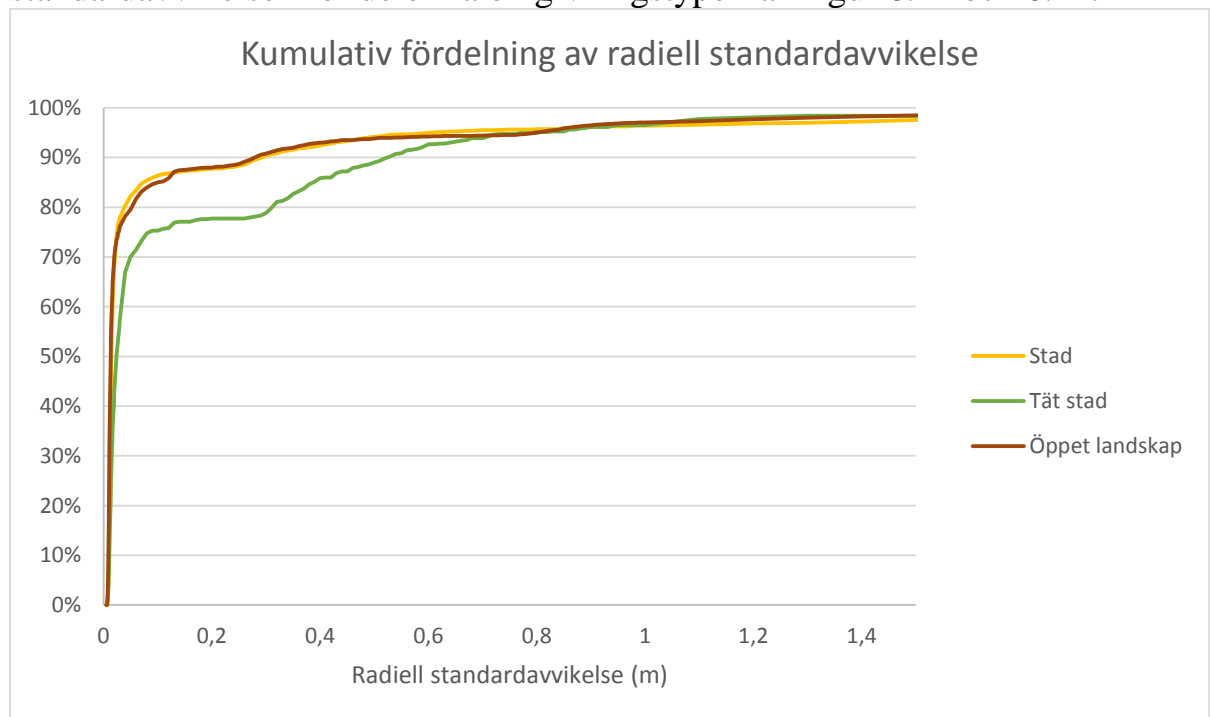


Figur 6.20 Fördelning av radiell standardavvikelse för mottagningstyperna Navigated, DGPS, xRTK och RTK

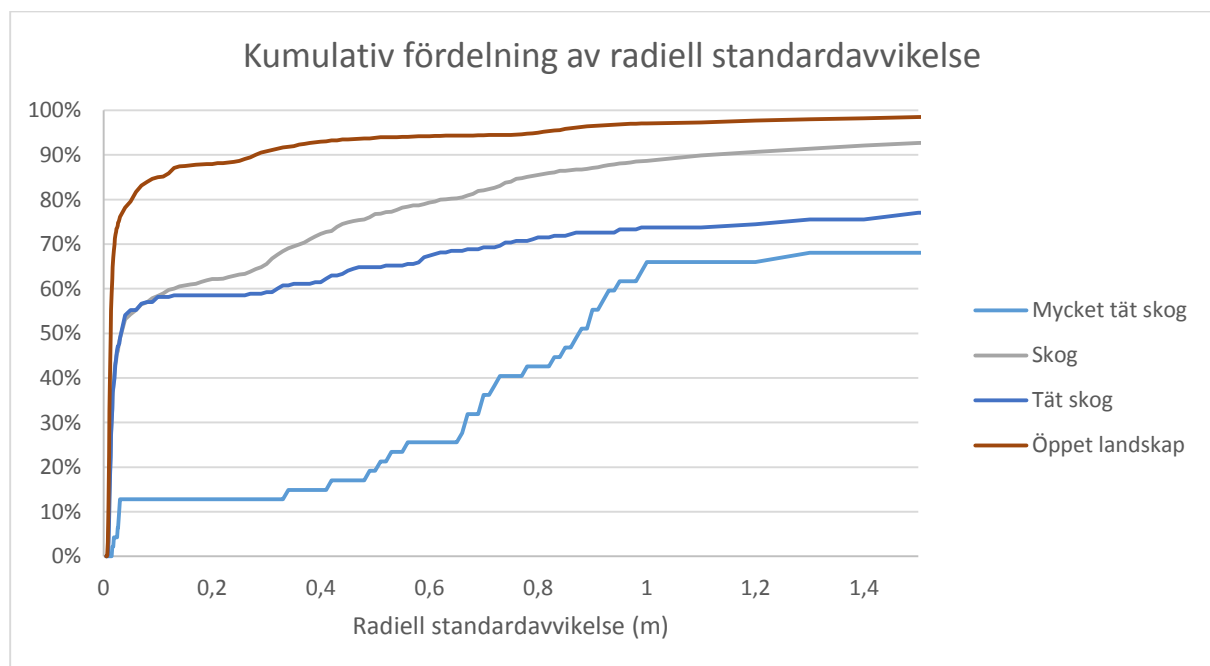
Spridningen är stor med höga extremvärden för samtliga mottagningstekniker. Vid användande går det att få mottagaren att endast lagra signaler som följer en viss typ eller som understiger en viss nivå på standardavvikelsen. Det går alltså bra att motta signaler med RTK och xRTK teknik men behandla alla mätningar med över exempelvis 0,15 meter i standardavvikelse som opålitliga.

### 6.3.5 Kumulativ standardavvikelse per omgivning

För att få in tidsaspekten på mätningen redovisas den kumulativa standardavvikelsen för de olika omgivningstyperna i figur 6.21 och 6.22.



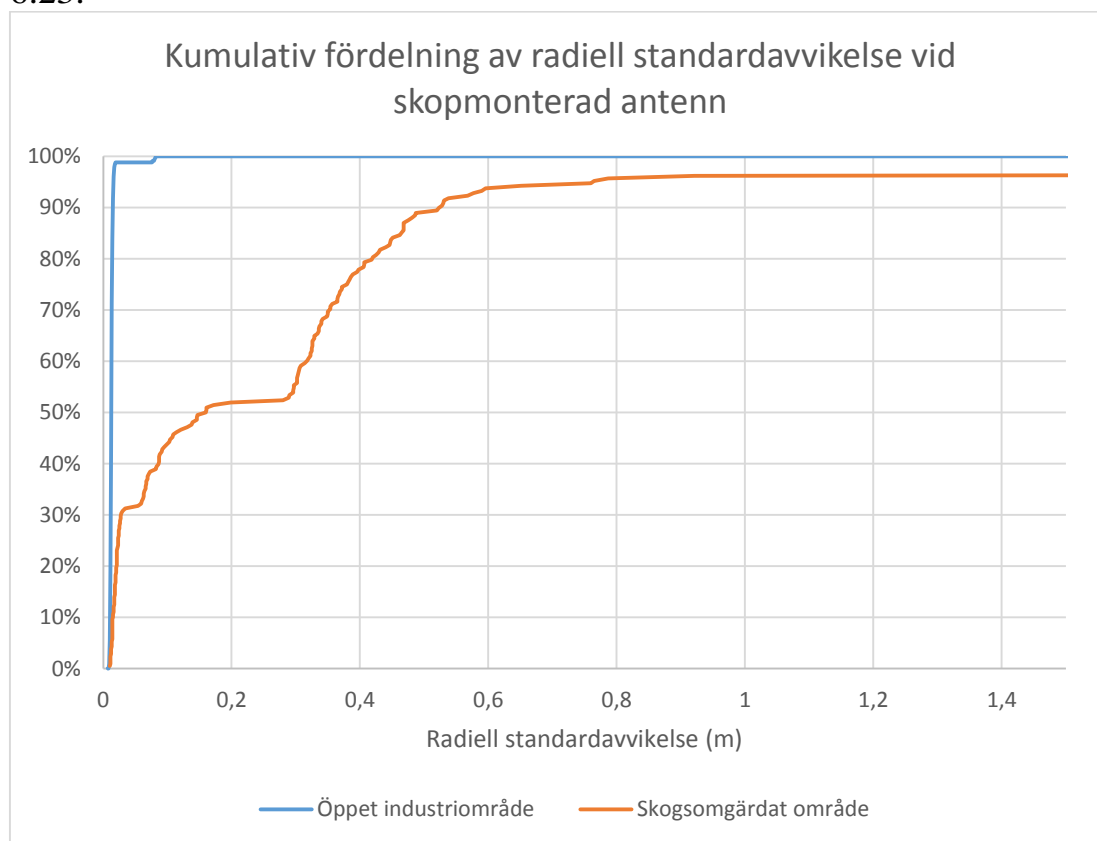
Figur 6.21 Kumulativ fördelning av radiell standardavvikelse för omgivningstyperna Öppet landskap, Stad och Tät stad.



Figur 6.22 Kumulativ fördelning av radiell standardavvikelse för omgivningstyperna Öppet landskap, Skog, Tät- och Mycket tät skog.

Resultatet från avsnitt 6.3.3 håller i sig. Det visar sig att det finns en god förmåga att behålla mottagningen även då mottagaren rör sig i en bebyggd omgivning. Om mottagningen sker i en skogsomgärdad omgivning blir försämringen tydligare.

Vid ett eventuellt införande av maskinstyrning till plogning kan det krävas antenncontage direkt på ploget. För att bedöma antenncontagningens inverkan på mottagningsprecisionen genomfördes test med mottagaren monterad ovanpå skopan till en Volvo L70 hjullastare. Resultatet redovisas nedan i figur 6.23.

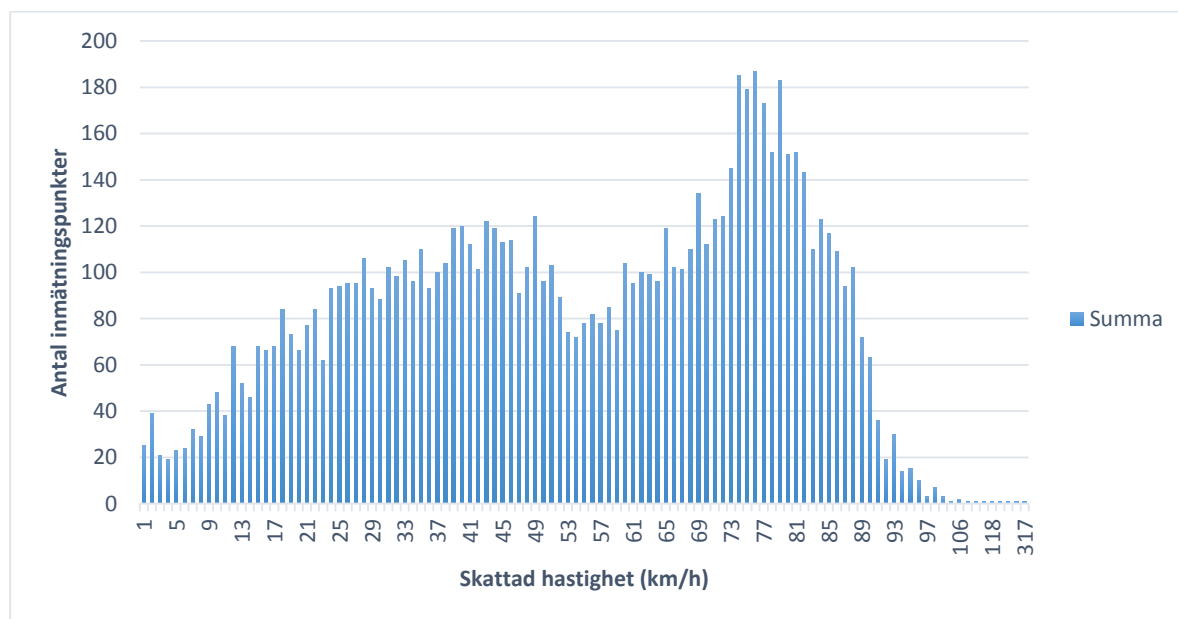


Figur 6.23 Kumulativ fördelning av radiell standardavvikelse vid skopmonterad antenn.

På ett öppet industriområde är mottagning inte mycket annat än lysande, 98 % av mätningar gjordes med en radiell standardavvikelse på 17 mm eller mindre. På det skogsomgärdade området var mottagningen som väntat sämre men visar ändå på ett något bättre resultat än för omgivningstypen skog vid personbilmätningarna. Urvalet är här inte lika stort varför det är svårt att uttala sig säkert men det finns inget som uppenbart talar till den skopmonterade mottagarens nackdel.

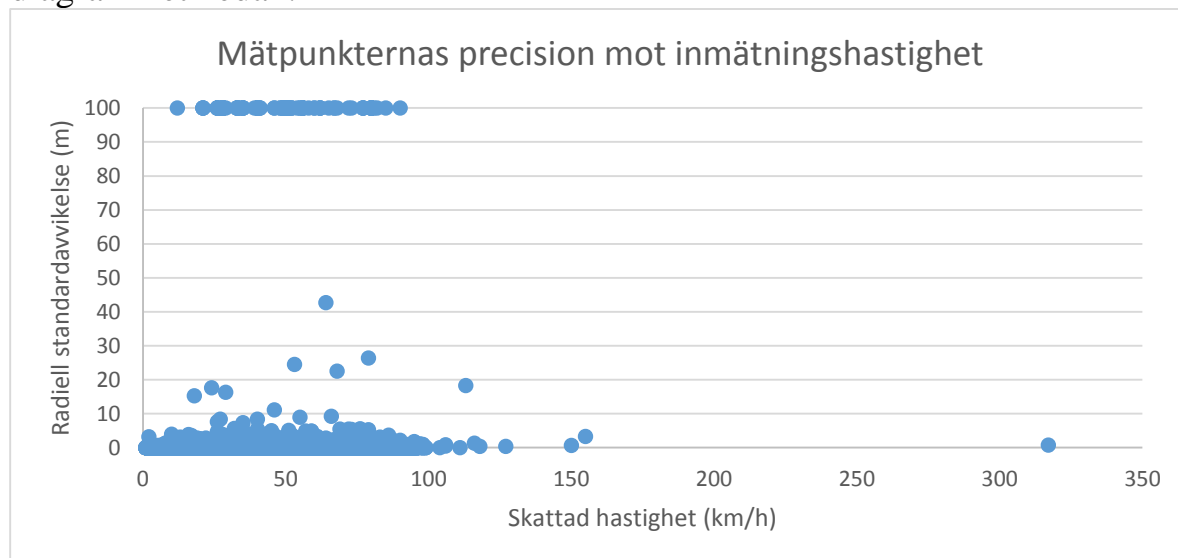
### 6.3.6 Kontroll mot hastighet

Ett huvudsyfte med arbetet är att bedöma precisionen vid kinematisk mätning. En uppskattning av hastighetens påverkan på precisionen behöver därför också göras. Fördelningen av hastighet under mätningarna med personbil framgår av figur 6.24 nedan. Att observera i högerkant av diagrammet nedan är att enstaka punkter förefaller ha hög hastighet. Detta har ett samband med hur den skattade hastigheten beräknas då det inte är den momentana hastigheten som återges. Fördelning är relativt jämn mellan 20-90 km/h. Då åtgärder vid vinterväghållning genomförs i hastigheter upp till 80 km/h bör mätningarna vara representativa för tänkt ändamål.



Figur 6.24 Fördelning av skattad hastighet vid inmätning med personbil.

Ett samband mellan standardosäkerheten och hastigheten söks och redovisas i diagrammet nedan.



Figur 6.25 Plot av radiell standardavvikelse mot skattad hastighet för samtliga mätpunkter.

Här syns de mätpunkter som saknades efter inmätningen inlagda med 100m i standardavvikelse. Det går enkelt att konstatera att saknade mätpunkter finns över hela hastighetsområdet. För att inte påverka resultatet rensas dessa punkter samt mätvärden med skattad hastighet över 130 km/h bort. En linjär regressionsanalys av standardavvikelse mot skattad hastighet på resterande punkter ger resultatet:

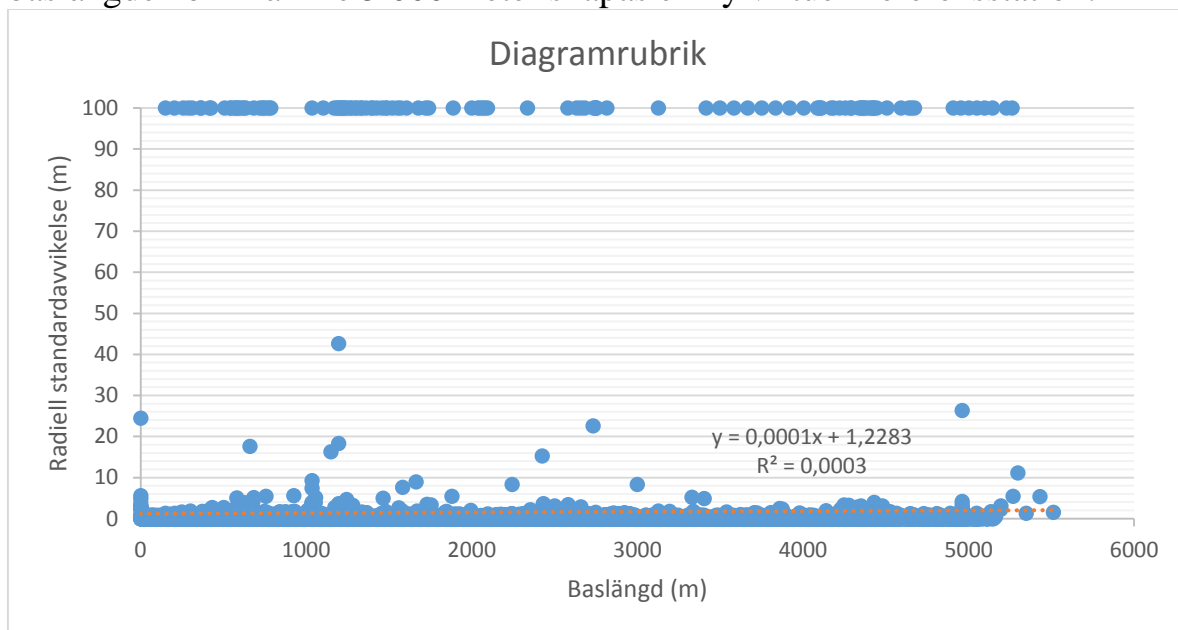
$$y = -8 \cdot 10^{-5}x + 0,1839$$

$$R^2 = 4 \cdot 10^{-6}$$

Hade det funnits ett samband vore det förväntade resultatet vore ett positivt samband med ett  $R^2$  värde närmre ett än noll. Det är därmed inte entydigt sagt att hastigheten inte har inverkan på standardavvikelsen under konstanta förutsättningar. Men under förutsättningar liknande detta test har övriga parametrar en alltför överskuggande betydelse.

### 6.3.7 Kontroll mot baslängd

Vid initiering av nätverks-RTK tjänsten skapas en virtuell referensstation i direkt anslutning till mottagaren. Förflyttar användaren sig så mycket att baslängden blir närmre 5 000 meter skapas en ny virtuell referensstation.



Figur 6.26 Samband söks för radiell standardavvikelse mot baslängd

Precis som för hastigheten avfärdas baslängden som påverkan på precisionen under sådana förutsättningar som mätningen genomförts.

### 6.3.8 Kontroll mot körning under nederbördsförhållande

Under första testrundan av vinterväghållningsrutten mellan Kävlinge och Lomma var den subjektiva upplevelsen att mottagningen var försämrad jämfört med inmätningkörningen. En tanke uppkom att orsaken kunde vara faktumet att det regnade vid just denna körning. För att utvärdera tanken kördes slingan på nytt två dagar efter och precisionen utvärderades.

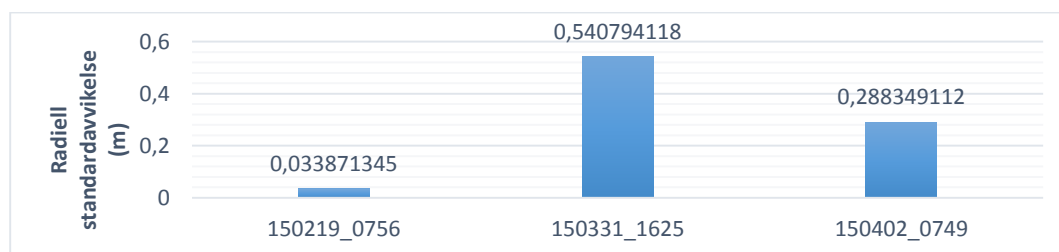
Då vinterväghållning genomförs under dåliga väderförhållanden är eventuell påverkan av vikt att upptäcka. Det får anses välkänt att GNSS fungerar i dåligt väder men hur väl fungerar det?

Mätresultatet från tre körningar utvärderas,

- 150219\_0756, inmätningssrunda.
- 150331\_1625, första körningen utifrån väglinje skapad med mätdata från körningen ovan, genomfördes under regn.
- 150402\_0749, andra körningen utifrån väglinjen.

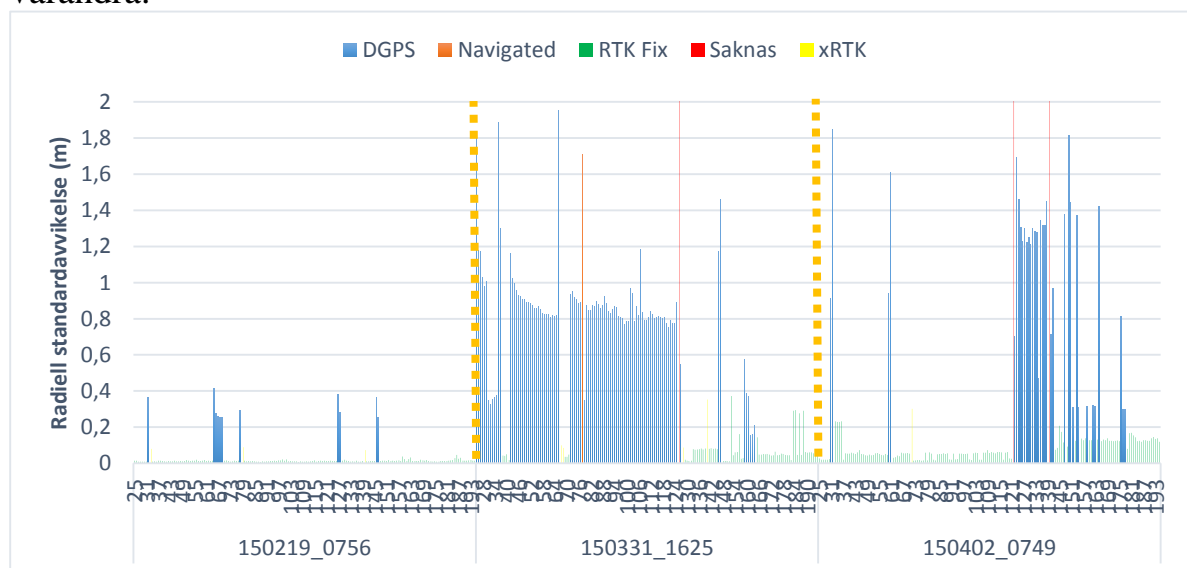
Första och andra körningen genomfördes med annan utrustning men av samma typ som vid inmätningen. Mätpunkterna 25-195 från samtliga tre körningar valdes ut och studerades, urvalet täcker en lika stor tidsperiod och med endast mindre avvikelser samma körsträcka, från Kävlinge till Lomma.

En första titt på medelvärdet av mätpunkternas standardavvikelse för de olika körningarna bekräftar den subjektiva upplevelsen av att precisionen försämrades från inmätningsskörning till körning ett, se figur 6.27 nedan.



Figur 6.27 Radiella standardavvikelse medelvärdet för tre körningar av samma vinterväghållningsrutt.

En utvärdering av standardavvikelsen för samtliga punkter för de tre körningarna går att se nedan i figur 6.28. Observera att x-axeln innehåller samtliga tre körningar sida vid sida för att behålla dem urskiljningsbara från varandra.

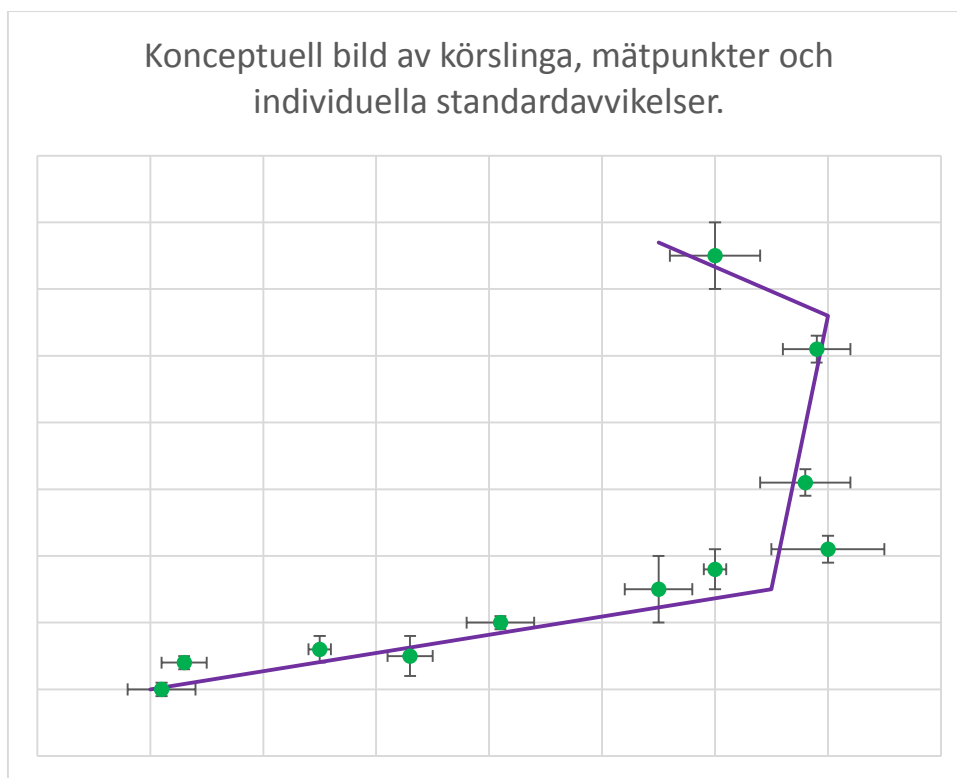


Figur 6.28 Radiella standardavvikelsen för samtliga mätpunkter för tre körningar av samma vinterväghållningsrutt.

Även här framstår stora skillnader mellan körningarna. Körningen 150331 har nästan uteslutande DGPS mottagning över första hälften av körningen. Även körningen 150402 har sämre precision men här startar bekymren längre in i körningen och startar med en saknad mätpunkt. Därmed kan det spekuleras i att signalen tappats under en bropassage och mottagaren därefter misslyckas med att etablera en fix-lösning igen.

## 6.4 Körslingor, utvärdering av förarstöd

För varje mätpunkt finns angivna standardavvikelser i nord-sydlig,  $\sigma_X$ , samt öst-västlig,  $\sigma_Y$ , riktning, se figur 6.29. Det finns även en radiell standardavvikelse,  $\sigma_r$  som beräknas ur  $\sigma_X$  och  $\sigma_Y$  enligt  $\sigma_r = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2}$ . Vid bestämning av position längs en körslinga är det standardavvikelsen i riktningen mot närmsta punkt av körslingan som är av intresse. För att förenkla databehandlingen väljs  $\sigma_r$  som ett uttryck för standardavvikelsen i en godtycklig riktning. Detta medför en viss överskattning av den verkliga standardavvikelsen tvärs körslingan då  $\sigma_X, \sigma_Y \leq \sigma_r$ .



Figur 6.29 Redovisning av körslinga (lila linje) och mätpunkter (gröna punkter) med individuella standardavvikelser i nord-sydlig respektive öst-västlig riktning.

I en eftergift för enklare databehandling antas den skapade körslingan utgöra den ideella positioneringen för en ploggrunda. I verkligheten är precisionen på körslingans placering begränsad av precisionen och noggrannheten vid inmätningen.

Vid körning efter körslingorna kommer fordonet vingla i sidled mer eller mindre i samband med förarens försök att hålla sidofelet så litet som möjligt.

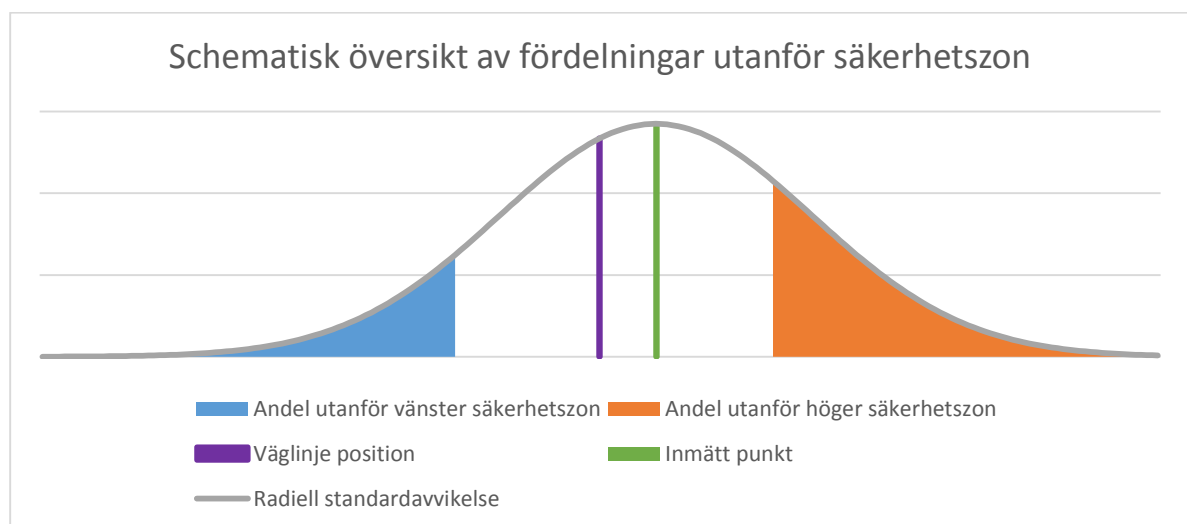


Då varje rapporterat sidofel,  $\mu$ , är behäftat med en osäkerhet,  $\sigma_r$ , är det verkliga sidofelet okänt. I ett försök att beskriva hur väl fordonet följer körslingan bedöms sannolikhetsfördelningen tvärs körslinjens riktning. I samverkan med Bengt Randau på Svevia uppskattades en säkerhetszon inom vilken det är acceptabelt för plogkanten att befinna sig vid landsvägskörning. Säkerhetszonen definierades utifrån en körslinga centrerad över vägkantmarkeringen. Vänster gräns, V, sätts som 25 cm vänster om körslingan och höger gräns, H, som 30 cm höger om. För varje punkt bestäms sannolikheten att plogkanten kommer vara på vänster sida utanför säkerhetszonen som;

$$P_V(x < V) = \int_{-\infty}^V \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma_r^2}} dx$$

Och på höger sida av säkerhetszonen som,

$$P_H(x > H) = 1 - \int_{-\infty}^H \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma_r^2}} dx$$



Figur 6.30 Principskiss av beräkning av sannolikheten att en mätning är innanför definierad säkerhetszon.

En inmätt punkt vid en given position (grön stapel) har en radiell standardavvikelse (grå linje). Det finns också en ideal placering motsvarande den skapade väglinjen (lila stapel). Sidofelet vid varje punkt motsvarar avståndet mellan väglinje och inmätt punkt (mellan lila och grön stapel). Sidofelet är positivt om inmätningen sker till höger om väglinjen. Från väglinjen har det uppskattats en säkerhetszon inom vilken det anses acceptabelt att befinna sig. Den vänstra säkerhetszonen motsvarar avståndet mellan lila stapel och blått område. Motsvarande är höger säkerhetszon avståndet mellan lila stapel och orange område. Arean på det blå området är sannolikheten att befinna sig till vänster om den vänstra gränsen för

säkerhetszonen. Arean av orange område är sannolikheten att befinna sig höger om höger säkerhetszon.

För att uttrycka avvikelser utanför säkerhetszonen för körslingarna som helhet sett över alla mätpunkter beräknas medelvärdet,

$$\bar{S}_V = \frac{\sum_{i=1}^n P_{V,i}}{n}$$

respektive,

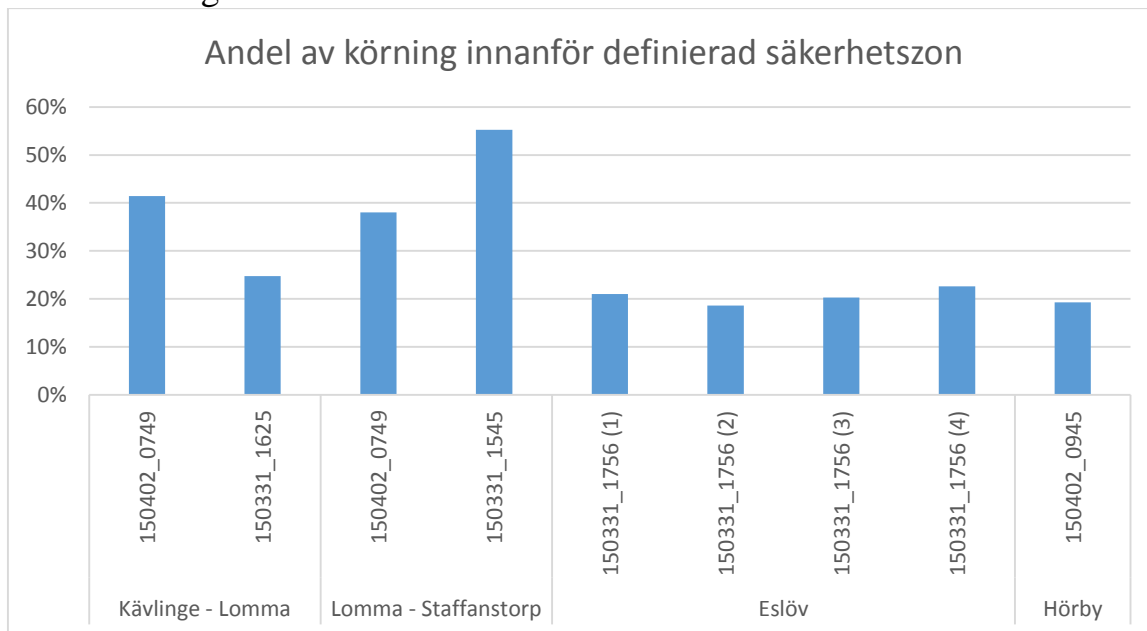
$$\bar{S}_H = \frac{\sum_{i=1}^n P_{H,i}}{n}$$

Resulterade andel av tiden mottagaren ska ha befunnit sig innanför säkerhetszonen blir då,

$$S_S = 1 - \bar{S}_V - \bar{S}_H$$

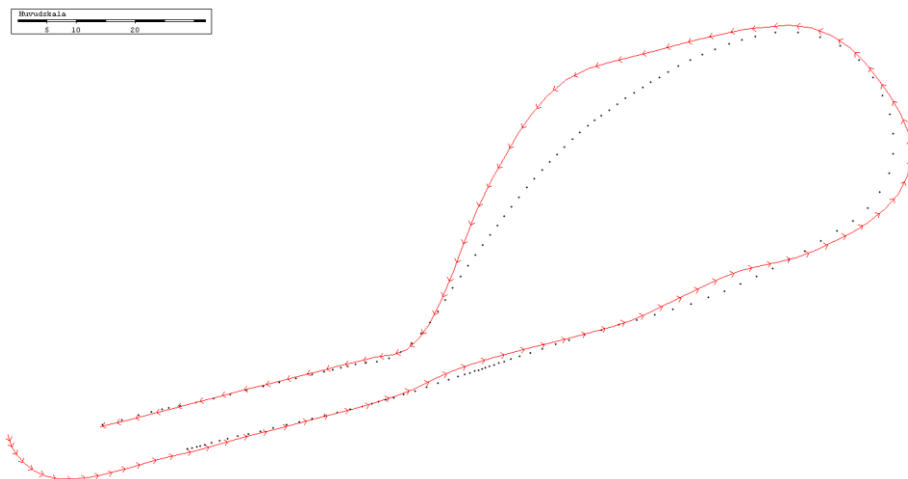
Det är tänkbart att en chaufför som försöker följa en väglinje konstant alternerar från att ligga på vänster sida till höger sida, inte minst vid högre hastigheter. Om perioden av ett sådant vinglande sker under en tidsperiod kortare än 8 sekunder riskeras en falsk kurvåtergivning (Carlson & Johansson, 2000). Nu har inte mätpunkterna från vinterväghållningsrutten analyserats som en kedja. Utan varje punkt bidrar endast till ett medelvärde som besvarar sannolikheten utifrån tidsaspekten.

En sammanställning av de olika körslingarna och resulterande andelar redovisas i figur 6.31.



Figur 6.31 Resulterade andelar innanför säkerhetszonen för varje körning.

Värdena för industriområdet i Eslöv är en besvikelse med tanke på den tidigare goda precisionen vid inmätningen, se figur 6.23 igen. Grafisk presentation av *Eslöv 150331\_1756 (1)* från körningen redovisas nedan i figur 6.32. Det är tydligt att noggrannheten i körningen försämrades under delar av körslingarna.



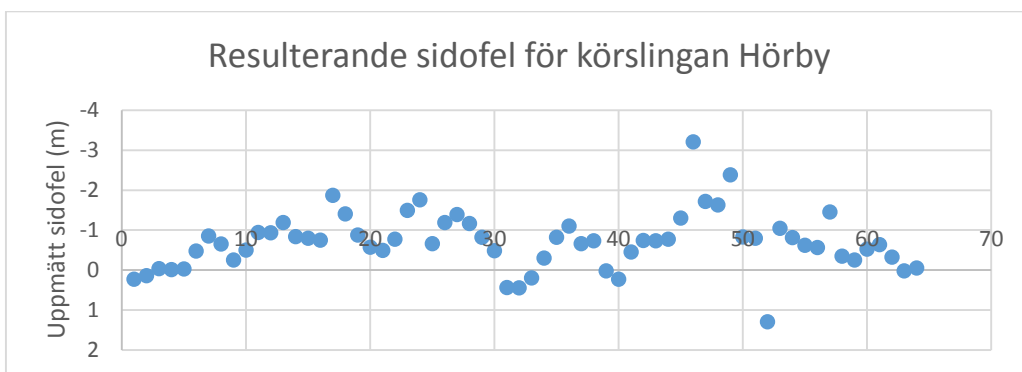
Figur 6.32 Resulterade mätpunkter från körningen av Eslöv 150331\_1756 (1) körslingan. Källa: Skärmdump av GeoPad Professional

De första åtta körningarna gjordes med numerisk guidning. Men även resultatet för Hörby överraskar då upplevelsen var att det var lätt att följa väglinjen på den grafiska displayen. I figur 6.33 nedan kan det heller inte urskiljas några stora fel som från körningen i Eslöv ovan.



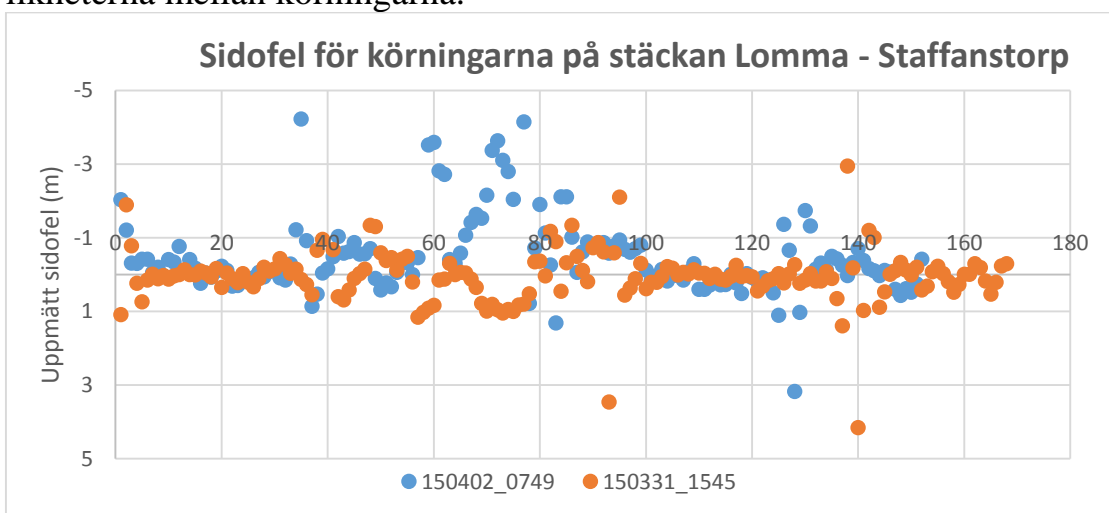
Figur 6.33 Resulterade mätpunkter från körningen av Hörby 150402\_0945 körslingan. Källa: Skärmdump av GeoPad Professional

En plotning av sidofelet i figur 6.34 visar storleken på sidofelet för varje punkt som i den grafiska bilden förefaller vara relativt litet. Värdena på y-axeln är i omvänd ordning då ett negativt värde indikerar en position till vänster om körlinjen.



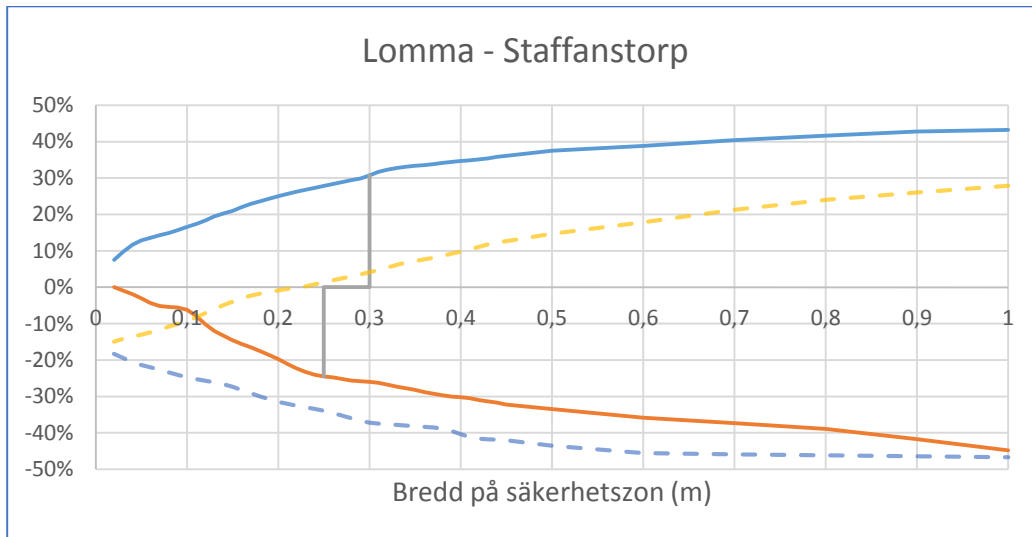
Figur 6.34 Resulterande sidofel från körningen av Hörby 150402\_0945 körslingan.

På sträckan Lomma – Staffanstorp faller andelen från 55 % till 38 % när körningen gjordes ”i blindo” (med handdatorn bortvänd, 150402\_0749). En plottning av sidofelen i figur 6.35 för de enskilda mätpunkterna visar på likheterna mellan körningarna.

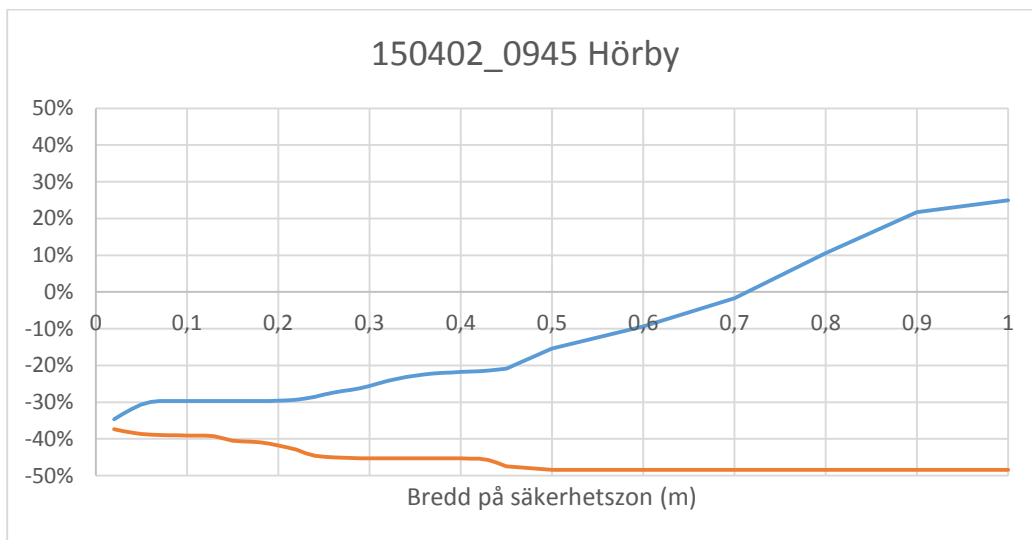


Figur 6.35 Sidofel för två körningar på samma sträcka med och utan guidning.

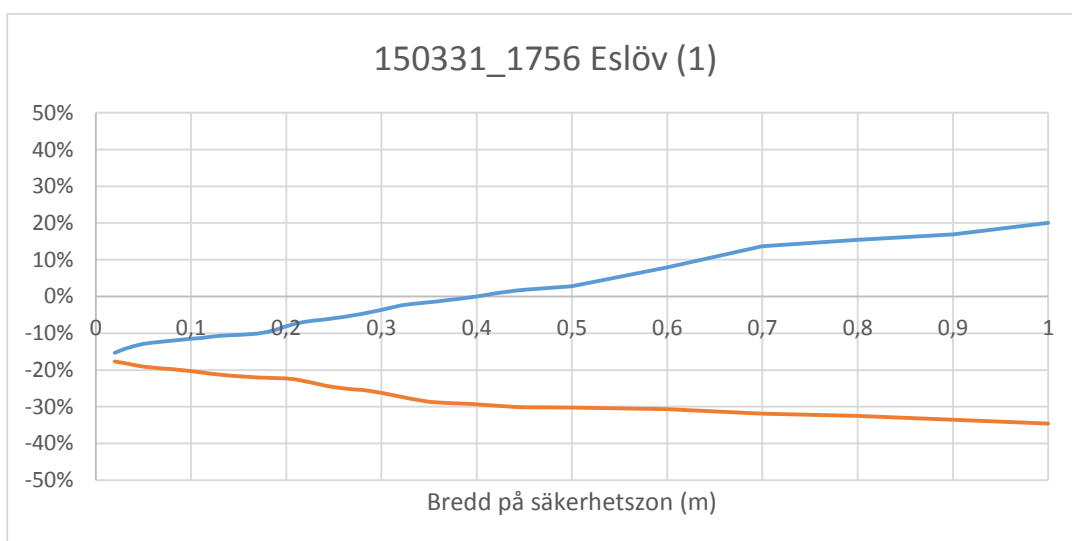
För att kunna ge ett mer allmänt svar på förmågan att hålla sig inom en säkerhetszon beräknas  $\bar{S}_V$  och  $\bar{S}_H$  för olika värden på säkerhetszonen. Avstånden varieras upp till en meter för bägge sidor. Under förutsättningen att guidningen hjälper föraren borde det vara en jämn fördelning i tiden fordonet uppehåller sig på varje sida av körlinjen. För att presentera andelen när fordonet är mellan kanten på en säkerhetszon och körlinjen beräknas därför ett värde motsvarande detta antagande,  $0,5 - \bar{S}_V$  respektive  $0,5 - \bar{S}_H$ . För att öka tydligheten presenteras andelen av värden mellan körlinjen och höger säkerhetszonskant som negativa. Resultatet presenteras nedan för körningarna mellan Lomma och Staffanstorp, i Hörby och första körningen i Eslöv. I figuren 6.36 visas utfallet för körningarna mellan Lomma och Staffanstorp. De streckade linjerna markerar körningen som utfördes ”i blindo”. I figuren är också utfallet för den definierade säkerhetszonen utritad med grå markering. Resultatet för övriga körningar finns i bilaga 10.5.



Figur 6.36 Andel innanför säkerhetszonsgänser för sträckan Lomma – Staffanstorp. Körningen ”i blindo med streckad linje”.



Figur 6.37 Andel innanför säkerhetszonsgänser för Hörby sträckan



Figur 6.38 Andel innanför säkerhetszonsgänser för första Eslövs sträckan.

## 7 Slutsatser

### 7.1 Mottagningsprecision

Resultaten från mätningarna visar på en god förmåga att återge positionen i öppen omgivning, med goda möjligheter att få fix-lösning en stor del av tiden. Mätningarna har genomförts med en radiell standardavvikelse upp till 0,74 meter i 95 % av tiden. Samtidigt klarar det av en radiell standardavvikelse upp till endast 0,05 meter i 80 % av tiden.

När mottagningen sker i bebyggelse istället är mottagningsprecisionen fortsatt god fram till bebyggelsen blir väldigt tät. Vad som däremot ger problem är vegetation. I enlighet med tidigare erfarenhet visar det sig att RTK mottagningen har större problem med sikthinder än DGPS. Vegetationen ger troligen snabba men frekventa avbrott i signalmottagningen.

Trots detta ges en precision på 0,05 meter i 55 % av tiden för skog och tät skog. Men sen avtar precisionen fort och ett värde för 95 percentilen kan inte ges då antalet saknade punkter är 13 respektive 14 %. Underlaget för omgivningstypen ”mycket tät skog” är endast 47 mätpunkter varför inga alltför långgående slutsatser dras. Men det går att konstatera att det har en sämre initial utveckling än tät skog men att andelen helt saknade mätpunkter är likvärdiga. Återigen ses att DGPS fungerar när RTK drabbas av problem. Problemen för mottagningen vid vegetation stämmer överens med resultaten för Pirti, Yucel och Gumus (2013).

För att utvärdera antennplaceringens inverkan testades en monterings på skopan av en hjullastare. Omgivningen varierade inte lika mycket som vid personbilmätningarna. Men underlaget visar inte på någon försämring av mottagningen. Vid körning på öppet industriområde ges mycket bra resultat, samtliga mätpunkter har under en decimeter i radiell standardavvikelse.

Kontroller har gjorts mot både hastighet och baslängd som variabler för standardavvikelsens storlek, resultatet blev att inverkan från bägge avfärdades. En sträcka som kördes tre gånger detaljstuderades och kraftiga skillnader upptäcktes mellan körningarna men ingen tillfredställandes orsaksförklaring kunde ges. Vädrets inverkan eller utrustningsskillnader kan antas. Enligt studier från bland annat Gernot (2007) ska inverkan på signalmottagningen från snö vara marginell på GPS signaler men kanske kan RTK överföringen drabbas.

## 7.2 Införande vid vinterväghållning

Maskinstyrning används idag inom områdena jordbruk och anläggningsarbete. Utmärkande för dessa är relativt låga fordonshastigheter och att de kan operera på områden vanlig trafik oftast inte har tillgång till. Vinterväghållningen bedrivs under förhållanden då sikten är försämrad i en omgivning trafikerad av alla trafikslag.

Efter studier av åtgärder förknippade med vinterväghållning bedömdes potential för förbättringar finnas vid maskinstyrning av bredplog och saltlösningsspridning samt som visuellt förarstöd vid plogning. Hade positionsbestämningen istället skett med bärvågsmätning skulle spridningsbredden åt både vänster och höger kunna anpassas automatiskt beroende på fordonets placering på vägen.

Utkallningstider medför att störst behov för förarstöd finns vid de högre standardklasserna på Trafikverkets vägar. Dessa vägar saltas heller inte vilket också bidrar till behovet. I tätorter är behovet störst i de lågprioriterade områdena som inte körs lika ofta och vanan saknas. De lågprioriterade områdena snöröjes oftast endast vid större snöfall vilket i sig också ökar behovet av visuell hjälp. Behovet fördelar sig alltså ojämnt över verksamheten. Men vid införande av ny utrustning gäller det att öka beläggningsgraden för att maximera förtjänsten. Mendoza & Lundqvist (2014) argumenterar för att det vore logiskt att nyttja redan tillgänglig utrustning inom kommunens olika verksamheter till vinterväghållningen. Den andra änden av det argumentet medför att det är svårt att motivera att dyr utrustning inhandlas uteslutande till den begränsade verksamhet som vinterväghållningen faktiskt är.

I Malmö är körskadorna i storleksordningen av 400 000 SEK per år med en fordonspark på 40 fordon. I genomsnitt står därför varje fordon för körskador för 10 000 SEK per år. Bara abonnemangskostnaden för SWEPOS RTK-tjänst kostar 15 000 SEK per år. Att spara pengar på ett införande av maskinstyrning för att minska körskadorna är därmed inte troligt. Andra effekter kan dock också tänkas, såsom en ökad effektivitet.

Från SKLs skrift hämtades information om olyckor i samband med vinterväghållning. Av dessa bedöms att olycka ett och fyra kunde troligen undvikits genom inmätning av områdena och presentation av farliga objekt till föraren. Samtidigt borde samtliga olyckor kunnat undvikas genom att fordonen varit utrustade med en eftergivlig plog.

Erfarenheten från Malmö är att personskador i samband med vinterväghållning sker endast i liten utsträckning idag. Detta är mycket tack vare införandet av eftergivliga plogar. Effekten på personskador vid ett införande av maskinstyrning är därför okänd.

Samtidigt är det riktigt som Ted Bengtsson på Svevia uttryckte sig, det behöver bara stoppa en olycka för att det ska vara värt det. Störst effekt för trafiksäkerheten borde följa vid maskinstyrd saltspridning då förarens arbetsbelastning minskas. Vid guidat läge ökar istället olycksrisken då förarens koncentration splittras. Om beställaren anser sig få en fördel med ny utrustning eller system kan det ställas som krav i en utförandeentreprenad. I fallet med utförandeentreprenad är det tänkbart att beställaren inköper utrustning som får följa uppdraget, oberoende av utvald entreprenör. Därmed hamnar inte investeringskostnaderna på entreprenörerna vilket kan öka antalet anbudsgivare jämfört med om entreprenören ska ta den ekonomiska risken.

Kan det ge effektiviseringsvinster kan det istället ske ensidigt på entreprenörens initiativ. För en total- eller underentreprenad kanske entreprenören väljer att använda utrustning som redan finns i företaget, kanske från anläggningsmaskiner som inte arbetar under vinterperioden. Som Mendoza och Lundqvist (2014) uppmärksammar och Erik Larsson (2015) bekräftar finns det en stor andel lantbruksmaskiner inom vinterväghållningen idag. Då maskinstyrning används inom jordbruket borde det finnas en uppsättning någonstans som är överflödigt under vinterhalvåret och borde vara tillgängligt för ett verkligt fälttest.

Användandet på en traktor borde också begränsa hastigheterna till en nivå där föraren hinner reagera på guidningen. Även om mottagningsprecisionen bibehålls hela vägen upp till 80 km/h är det svårt att kompensera efter utrustningen vid dessa hastigheter.

Ur både mottagnings och belastnings synvinkel finns fördelen att GNSS-antennen kan sitta på fordonet vid saltspridning. Vid plogning förenklas beräkningarna om antennen är placerad på plogkant men belastningarna från vibrationerna är en riskfaktor och en osäkerhetsfaktor för mottagningsprecisionen.

### **7.3 Användande på väg**

För att testa förmågan att agera förarstöd vid plogning testades körningar efter tidigare inmätta körslingsor. En säkerhetszon på båda sidor om körlinjen definierades som 25 cm till vänster och 30 cm till höger. Andelen av tiden fordonet kan uppskattats ha varit innanför denna zon beräknades. Resultatet var en besvikelse med andelar i storleksordningen av 20-50 % för de olika körningarna. Att lita på utrustningen fullt ut och förvänta sig minskade körskador framstår som naivt.



## 8 Diskussion

Körttesterna har utförts utanför det tänkta användningsområdet för den använda utrustningen. Valet av använd utrustning gjordes för att inköpskostnaderna inte skulle bli för avskräckande vid ett införande. Mer lämpad utrustning finns att tillgå, något att hålla i tankarna när resultaten från testerna utvärderas. Man ska heller inte blunda för att körningarna gjordes av förare utan föregående utbildning på utrustningen.

Testet har fördelen att det genomförts under vintern. Under årstider med lövtäckta trädkronor bör mottagningen försämrats. Att tänka på vid andra användningsområden eller vid inmätning vid andra årstider.

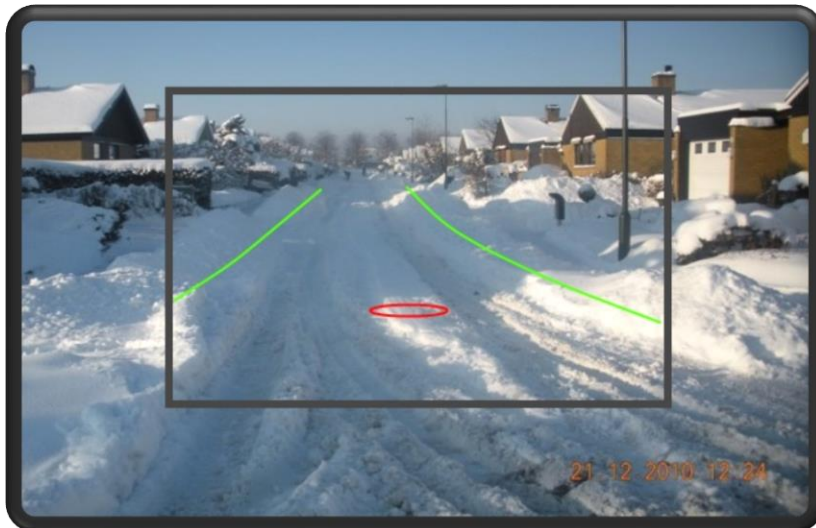
Vid skapande av körslingorna blev det uppbart att inmätningen måste ske tätare än 0,25 Hz eller så måste hastigheten sänkas vid kurvor för att undvika att modellen ger en för grov bild av verkligheten. Att körlinjerna var så grova vid exempelvis korsningar och cirkulationsplatser har påverkat resultaten. Fordonet kan ha varit på korrekt position men modellen rapporterar felet från en position ute i diket.

Med genomförda tester i tankarna, att använda numerisk guidning avrådes bestämt från. Även om det går att närma sig och stanna nära väglinjen ganska väl när vägen är rak ges ingen förvarning om riktningförändringar. Att genomföra körningar genom att lita blint på utrustningen vore det ett snabbt sätt att hamna i diket. Att avläsa och tolka informationen kräver dessutom mycket koncentration och att ta blicken från vägbanan kan bli en stor riskfaktor för olyckor.

Den grafiska presentationen har då mycket större fördelar. Genom att visa kommande delar av väglinjen går det som förare att förbereda sig bättre och följa linjen vid riktningändringar.

Problemen med den grafiska visningen har med skala att göra, framförs fordonet med 15 m/s (54 km/h) och föraren behöver tre sekunders framförhållning för att hinna reagera behöver skärmen täcka 90 meter från kant till kant. Vid omritning på grund av att mottagen nått skärmens kant centreras mottagaren på skärmen. Alltså måste skärmen täcka ett stort område samtidigt som föraren önskar upplösning för att kunna placera fordonet med precision runt en dm.

Men då problemet huvudsakligen är förknippat med gränssnittets utformning går det att tänka sig andra lösningar. En tidigare använd bild från rapporten får föreställa utblicken från förarhytten på ett arbetsfordon. Vid vindrutan kan en genomskinlig display placeras som visar tidigare inmätningar av väggkant (grön kant) samt potentiellt farligt brunnblock (röd cirkel), se nedan i figur 8.1.



Figur 8.1 Konceptbild av möjlig presentationsteknik för att underlätta vid vinterväghållning.

Denna displayteknik finns redan idag, om än inte ute på vägarna än (Interactive Institute, 2015).

I takt med att samhället förlitar sig i allt högre grad av positioneringstjänster får det antas att systemen blir ett allt mer eftertraktat mål för de som önskar störa samhällets funktioner. Vid införande av GNSS funktioner bör det klargöras om funktionen endast tillför extra funktionalitet eller blir en nödvändig komponent för att systemet ska fungera. Vinterväghållning utförs som en respons på yttre faktorer utanför utförarens kontroll. Ska GNSS-utrustning användas krävs att utrustningen fungerar när den behövs. Därmed krävs en känslighetsanalys av utrustningen.

## 8.1 Framtida tekniska förbättringar

GPS och GLONASS är idag i full operationell drift. Framöver ska även Galileo satelliter finnas tillgängliga. Någon större förbättring är det inte säkert det leder till då tillgängliga satelliter redan idag är relativt högt. Möjligen går det ur ett större urval att välja ut position på satelliter som ger ett så fördelaktigt DOP värde som möjligt.

Införandet av nya signaler kommer också ske framöver. Här är införandet av L5 och L2C signalen på GPS som förefaller ha bäst potential att förbättra mottagandet genom trädskronor och vegetation. Även tid-till-fix förväntas minska vilket kan ge kortare luckor efter det att kontakt till satelliter har tappats helt. Utvecklingen har här redan gjort stora framsteg. Hade kraven på stillastående i flera minuter varje gång fixlösning tappas hade lönsamheten försvunnit fort vid transportuppgifter.

L5 signal ska vara mindre störningskänslig. Därmed borde möjligheterna att etablera en fix-lösning under trädskronor förbättras men inte nödvändigt att behålla den. Avbrutna signaler orsakar tappad fixlösning.

Shadow calculation kan visa sig fördelaktigt i en urban miljö men det finns frågetecken för möjligheterna att nå kontinuerliga fördelar på en mer öppen landsbygd. Shadow Calculation är inte praktiskt genomförbart för att åtgärda problemen med vegetation. Det skulle krävt ett otroligt noggrant underlag som dessutom behöver hållas aktuellt för varje säsong.

Ett annat område under stark utveckling är visuell databehandling. Metoden har dock problem vid mörker, snöfall och snötäckta vägbanor. Detta är förhållande ett snöröjningsfordon förutses klara av.

## 8.2 Vidareutveckling

I arbetet har den radiella standardavvikelsen använts för att beskriva en normalfördelning i en riktning tvärs körriktningen. Detta gjordes under antagandet att körriktningen och standardavvikelsen i en riktning är slumpmässiga och oberoende av varandra. Det kan finnas anledning att misstänka en korrelation med varandra under vissa förutsättningar.

På en idealiserad väg med skog eller byggnader tätt inpå vägen bör mottagning av satelliter endast kunna ske direkt ovanför, framför eller bakom sett i vägens riktning. DOP talet borde därför vara lägre i vägens riktning än i en riktning tvärs vägen.

Ett samband bör sökas mellan standardavvikelsen mellan den långa axeln i osäkerhetsepsiloiden, om tillgång till denna kan ges, och riktningen tvärs vägen för mätningar på vägar med lämpligt tvärsnitt.

Eller välja ut vägar med lämpligt tvärsnitt i huvudsaklig öst-västlig eller nord-sydlig riktning och korrelera med standardavvikelserna  $\sigma_x$  och  $\sigma_y$ .

Vid ett införande vid plogning undviks många problem om antennplaceringen kan ske direkt ovanför punkten som önskas positionsbestämmas. Detta innebär montering direkt på plogbladskanten. Då plogen skapar vibrationer vid körning vore en undersökning för att besvara två frågor intressant. Först, vilken belastning skapar vibrationerna och klarar antennkonstruktion och fäste av de mekaniska kraven det därmed ställs.

Under förutsättningen att utrustningen tål belastningen, påverkar vibrationerna mottagningsprecisionen?

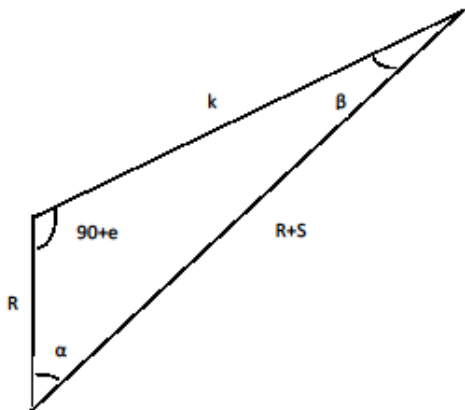
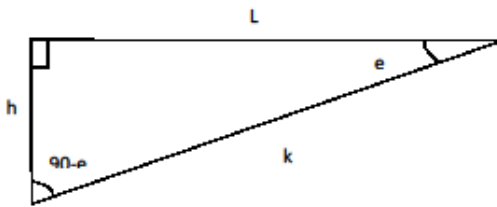
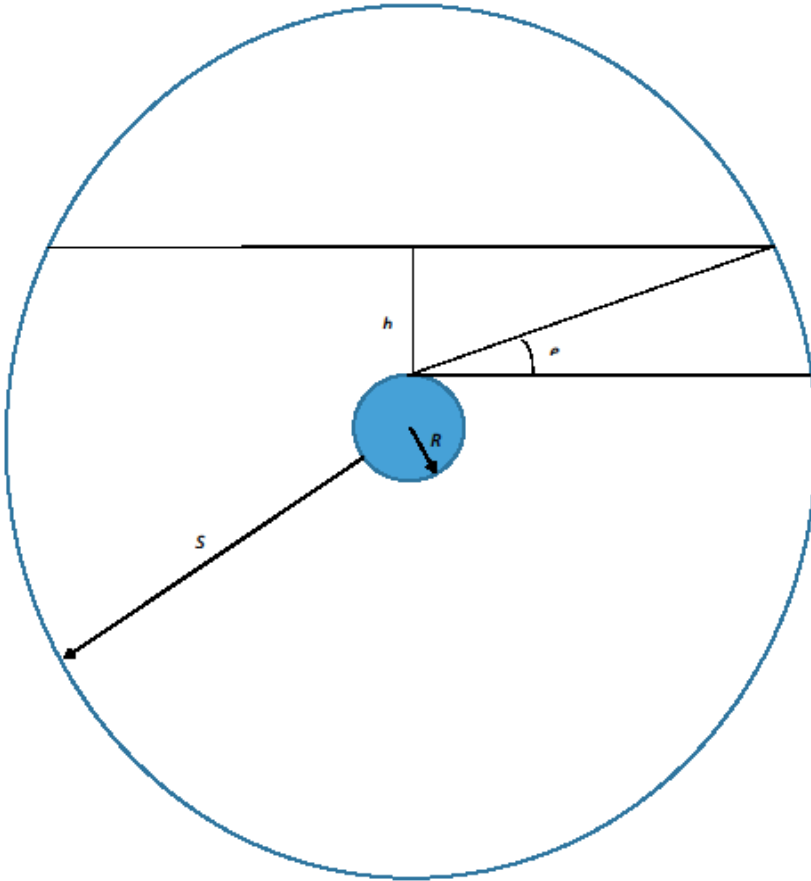
## 9 Källor:

- Andersson, E., & Holmén, K. (2009). *Utvärdering av GPS-lösningar för vinterväghållning*. Lund: Institutionen för Teknik och samhälle, Lunds Tekniska Högskola.
- Arvidsson, A. K. (2011). *Tekniker och metoder för mer energieffektiv vinterväghållning*. Linköping: vti.
- Bar Hillel, A., Lerner, R., Levi, D., & Raz, G. (April 2014). Recent Progress in Road and Lane Detection - A Survey. *Machine Vision & Applications*. April 2014 Vol. 25 Issue 3, 727-745.
- Bengtsson, T. (den 3 Februari 2015). (M. Kristiansson, Intervjuare)
- Berndtsson, M. (2011). *Maskinstyrning på småskaliga markentreprenader*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Blab, R., & Litzka, J. (1995). *Measurements Of The Lateral Distribution Of Heavy Vehicles And Its Effects On The Design Of Road Pavements*. Ann Arbor: University of Michigan Transportation Research Institute.
- Carlson, P., & Johansson, S. (2000). *Modern elektronisk mätteknik*. Eskilstuna: Liber.
- Engfeldt, A., & Jivall, L. (2003). *Så fungerar GNSS*. Gävle: Lantmäteriet.
- Federal space agency. (den 6 Februari 2015). *GLONASS Status*. Hämtat från Federal space agency - Informational analytical centre: <http://www.glonass-center.ru/en/GLONASS/index.php>
- Fredriksson, A., & Olsson, M. (2015). *Jämförelse av höjdmätning med olika GNSS-mottagare i SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst*. Gävle: Lantmäteriet.
- Gernot, C. (2007). GPS Signal Disturbances by Water in Various States. *Proceedings of the 20th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*, 2187-2195.
- Glantz, C. (den 9 April 2015). (M. Kristiansson, Intervjuare)
- Grenander, A. (den 3 Februari 2015). (M. Kristiansson, Intervjuare) Lund.
- GSA. (den 21 September 2014). *Programme*. Hämtat från European Global Navigation Satellite Systems Agency: <http://www.gsa.europa.eu/galileo/programme>
- GSC. (den 7 Februari 2015). *Constellation Information*. Hämtat från European GNSS information centre: <http://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information>
- Gustafsson, M., Berglund, C. M., Forsberg, B., Forsberg, I., Forward, S., Grudemo, S., . . . Sandberg, U. W. (2006). *Effekter av vinterdäck - en kunskapsöversikt*. Linköping: vti.
- Handa, H., Dan, L., Lee, C., & Xin, Y. (2006). Robust Solution of Salting Route Optimisation Using Evolutionary Algorithms. *2006 IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 3098-3105.
- Heyman, E., & Holm, H. (2010). *Är bredplogen ett effektivt hjälpmedel vid snöröjning?* Lund: Media-Tryck.

- Interactive Institute. (den 5 Maj 2015). *User interface for self-driving Scania truck*. Hämtat från Youtube:  
<https://www.youtube.com/watch?v=C4IMOO6KX3Q#t=00m07s>
- Johansson And, L. (2009). *Utveckling inom maskinguidning för anläggningsarbeten*. Göteborg: Chalmers tekniska högskola.
- Knudsen, F., Natanaelsson, K., Arvidsson, A., Kärki, O., Jacobsen, Á., Guðmundsson, G., . . . Reitan, K. M. (den 28 April 2014). *Vintertjeneste i de Nordiske land. Statusrapport 2014*. Hämtat från NVF Norden:  
[http://www.nvfnorden.org/library/Files/Land/Styrelse-NVF/Rapporter/2014/Statusrapport 2014 Vintertjeneste i Norden.pdf](http://www.nvfnorden.org/library/Files/Land/Styrelse-NVF/Rapporter/2014/Statusrapport%202014%20Vintertjeneste%20i%20Norden.pdf)
- Lantmäteriet. (2007). *LMV-Rapport 2007:11*. Gävle: Lantmäteriet.
- Lantmäteriet. (den 21 September 2014). *Avståndsmätning med bärvåg*. Hämtat från Lantmäteriet: <http://www.lantmateriet.se/en/Maps-and-geographic-information/GPS-and-geodetic-surveys/GPS-och-satellitpositionering/Metoder-for-GNSS-matning/Avstandsmatning-med-barvag/>
- Lantmäteriet. (den 9 April 2015). *SWEPOS Nätverks-RTK-tjänst för nationell täckning*. Hämtat från SWEPOS:  
[https://swepos.lantmateriet.se/kurserochinfo/dokument/anmalningsblanketter/realtid/NatvRTK\\_anmalningsblankett\\_140101.pdf](https://swepos.lantmateriet.se/kurserochinfo/dokument/anmalningsblanketter/realtid/NatvRTK_anmalningsblankett_140101.pdf)
- Larsson, E. (den 15 September 2014). *Drift och underhåll av vägar*. Malmö, Skåne, Sverige.
- Larsson, E. (den 28 April 2015). (M. Kristiansson, Intervjuare)
- Leica Geosystems. (den 27 Februari 2015a). *Leica iCON gps 60 datasheet*. Hämtat från Leica Geosystems: <http://www.leica-geosystems.com/common/shared/downloads/inc/downloader.asp?id=17808>
- Leica Geosystems. (den 2 Maj 2015b). *New Leica xRTK and SmartRTK provide peak RTK performance*. Hämtat från Leica Geosystems: [http://www.leica-geosystems.com/en/News\\_360.htm?id=3332](http://www.leica-geosystems.com/en/News_360.htm?id=3332)
- Malmö stad. (den 1 Maj 2015a). *Kostnader*. Hämtat från Malmö stad: <http://malmo.se/Stadsplanering--trafik/Skotsel--underhall/Sno--halka/Fakta/Kostnader.html>
- Malmö stad. (den 1 Maj 2015b). *Fordonsresurser*. Hämtat från Malmö stad: <http://malmo.se/Stadsplanering--trafik/Skotsel--underhall/Sno--halka/Fakta/Fordonsresurser.html>
- Mendoza, N., & Lundqvist, A. (2014). *Vinterväghållning - ur ett tillgänglighetsperspektiv*. Lund: Lunds universitet.
- Myndigheten för samhällsskydd och beredskap. (2014). *Risker och förmågor 2013 - Redovisning av regeringsuppdrag om nationell risk- och förmågebedömning*. DanagårdLiTHO.
- Möller, S. (2013). *GPS-styrd saltspridning. Test på avlyst bana*. Linköping: vti.

- Odolinski, R. (2010). *Studie av noggrannhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK*. Gävle: Lantmäteriet.
- Ohlsson, K. (2014). *Studie av mätosäkerhet och tidskorrelationer vid mätning med nätverks-RTK i SWEPOS 35 km-nät*. Gävle: Lantmäteriet.
- Pirti, A., Yucel, M. A., & Gumus, K. (2013). Testing real time kinematic GNSS (GPS AND GPS/GLONASS) methods in obstructed and unobstructed sites. *Geodetski Vestnik Vol. 57 Issue 3*, 498-512.
- Position Partners. (den 27 Mars 2015). *GPS Is Key To Our Industry's Future*. Hämtat från Machine Guidance: <http://www.machineguidance.com.au/GPS-Is-Key>
- Rabbou, M. A., & El-Rabbany, A. (2015). Precise Point Positioning using Multi-Constellation GNSS Observations for Kinematic Applications. *Journal of Applied Geodesy Vol. 9 Issue 1*, 15-26.
- Radionavigeringsnämnden. (2010). *RNP 2009 - Systembeskrivning*. Norrköping: Sjöfartsverket.
- Randau, B. (den 9 April 2015). (M. Kristiansson, Intervjuare)
- Richter, B. (den 11 November 2014). *An Industry View on Realistic Benefits for High Precision GNSS Application due to GNSS Modernisation - The Future of High Precision GNSS*. Hämtat från iNsight GNSS: [http://www.insight-gnss.org/workshop\\_presentations/9 BR Leica.pdf](http://www.insight-gnss.org/workshop_presentations/9_BR_Leica.pdf)
- SBUF. (den 28 Mars 2015). *FoU Projekt (2007)*. Hämtat från ATCON: [http://www.atcon.se/documents/NCC\\_SBUF-projekt\\_11918.pdf](http://www.atcon.se/documents/NCC_SBUF-projekt_11918.pdf)
- Scanlaser. (den 1 Maj 2015). *iXE2 - Grävsystem 2D*. Hämtat från Scanlaser Machine Control: <http://scanlaser.info/se/produkter-losningar/gravsystem/gravsystem-2d/>
- SKL. (2014). *Vitt på svart - om kommunal vinterväghållning*. Stockholm: Sveriges Kommuner och Landsting.
- SMHI. (den 21 Januari 2015a). *Klimatscenarier*. Hämtat från SMHI: <http://www.smhi.se/klimatdata/framtidens-klimat/klimatscenarier?area=swe&var=lsf&sc=rcp26&seas=vin&dnr=99&sp=sv&sx=0&sy=267#area=swe&dnr=99&sc=rcp45&seas=ar&var=lsf>
- SMHI. (den 20 Januari 2015b). *Nederbördsintensitet*. Hämtat från SMHI: <http://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/nederbordsintensitet-1.19163>
- Sommer, B. (2011). *Testing of GPS controlled salt spreading and data collection at the Bygholm centre*. Copenhagen: Vejdirektoratet.
- Trafikverket. (2012). *Krav för vägars och gators utformning*. Borlänge: Trafikverket.
- Trafikverket. (den 11 December 2013). Standardbeskrivning för Basunderhåll väg (SBV) Område Malmö.
- Trafikverket. (den 16 Mars 2015a). *BIM-strategi ska leda till ökad produktivitet*. Hämtat från Trafikverket:

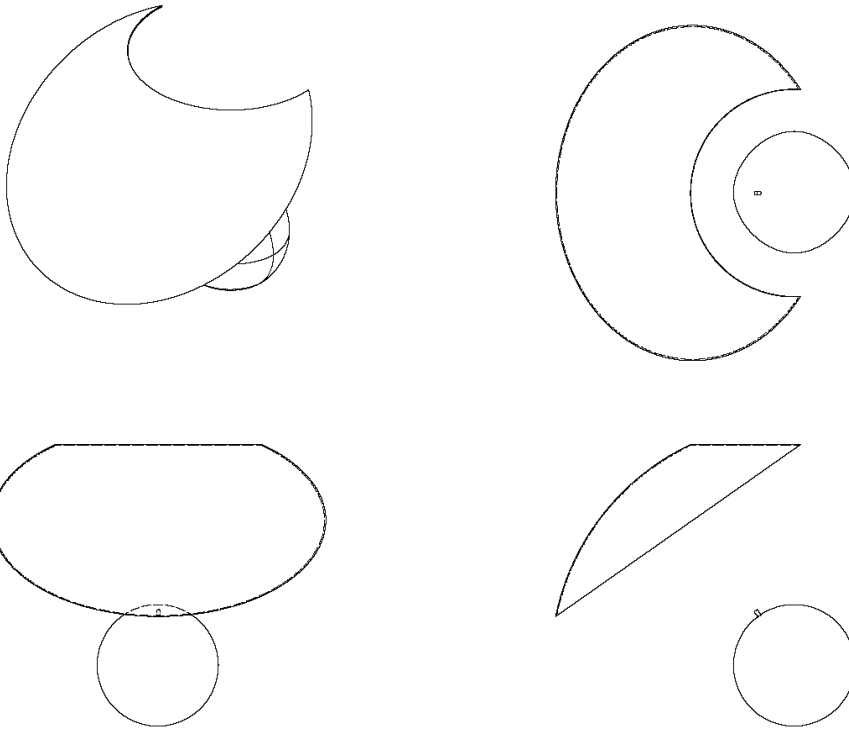
- <http://www.trafikverket.se/Pressrum/Pressmeddelanden1/Nationellt/2014/2014-10/BIM-strategi-ska-leda-till-okad-produktivitet/>
- Trafikverket. (den 20 Mars 2015b). *Vinterväghållning*. Hämtat från Trafikverket: <http://www.trafikverket.se/Privat/Vagar-och-jarnvagar/Saskoter-vi-vagar1/Vintervaghallning/>
- Trimble Heavy Construction Division. (den 27 Mars 2015). *Spatial Imaging for Machine Control Models*. Hämtat från Machine Guidance: <http://www.machineguidance.com.au/MC-Spatial-Imaging>
- U.S. Department of Homeland Security. (den 9 Februari 2015). *GPS constellation status for 02/09/2015*. Hämtat från Navigation center: <http://www.navcen.uscg.gov/?Do=constellationStatus>
- Yozevitch, R., Ben-Moshe, B., & Dvir, A. (Juni 2014). GNSS Accuracy Improvement Using Rapid Shadow Transitions. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol 15, No 3*, 1113-1122.
- Zogg, J.-M. (2009). *GPS - Essentials of satellite navigation*. AG: u-blox.
- Öberg, G. (2011). *Skadade fotgängare. Fokus på drift och underhåll vid analys av sjukvårdsregistrerade skadade i STRADA*. Linköping: vti.



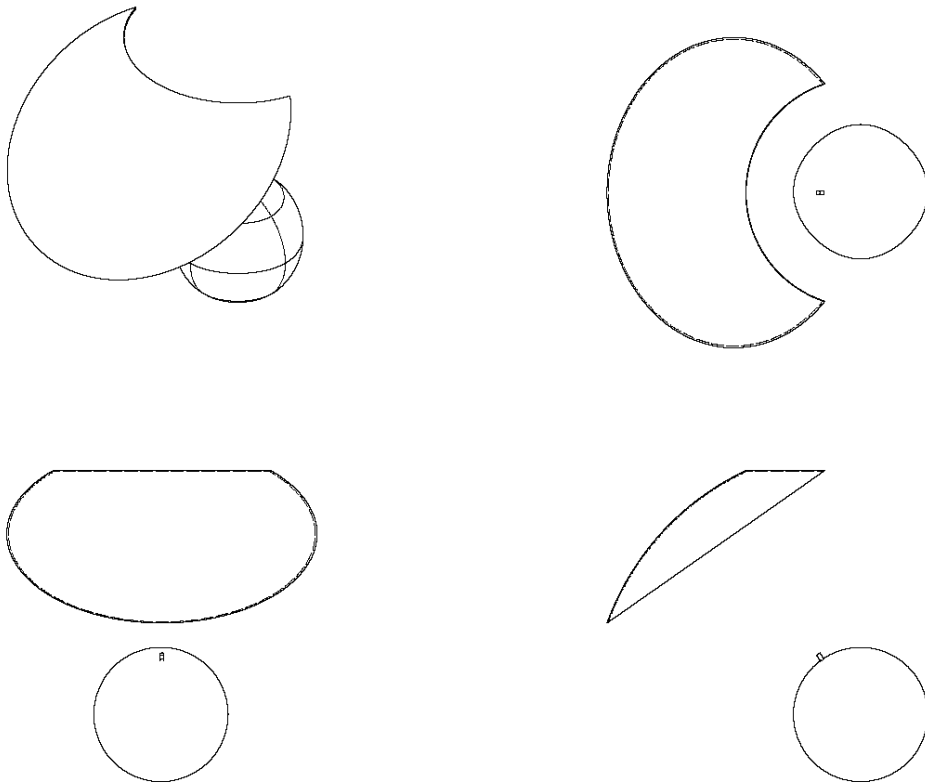


Bilaga 2 GNSS satellitplansritningar, sid 1(5)

Glonass, breddgrad 55° N, elevationsvinkel 35°.

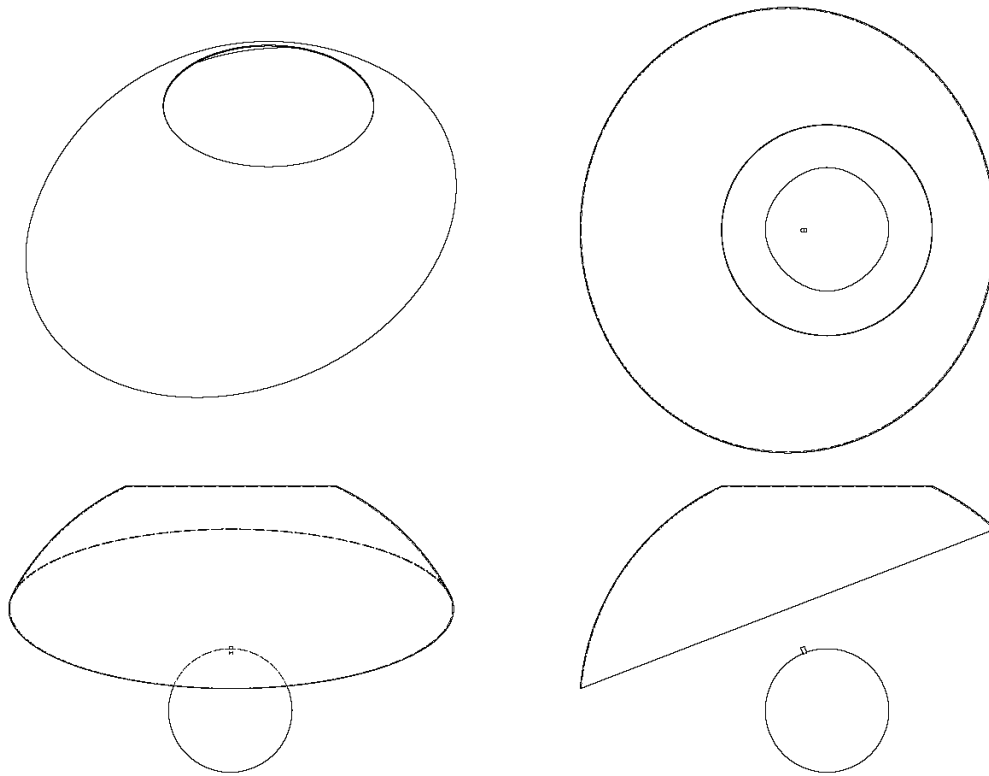


Glonass, breddgrad 55° N, elevationsvinkel 45°.

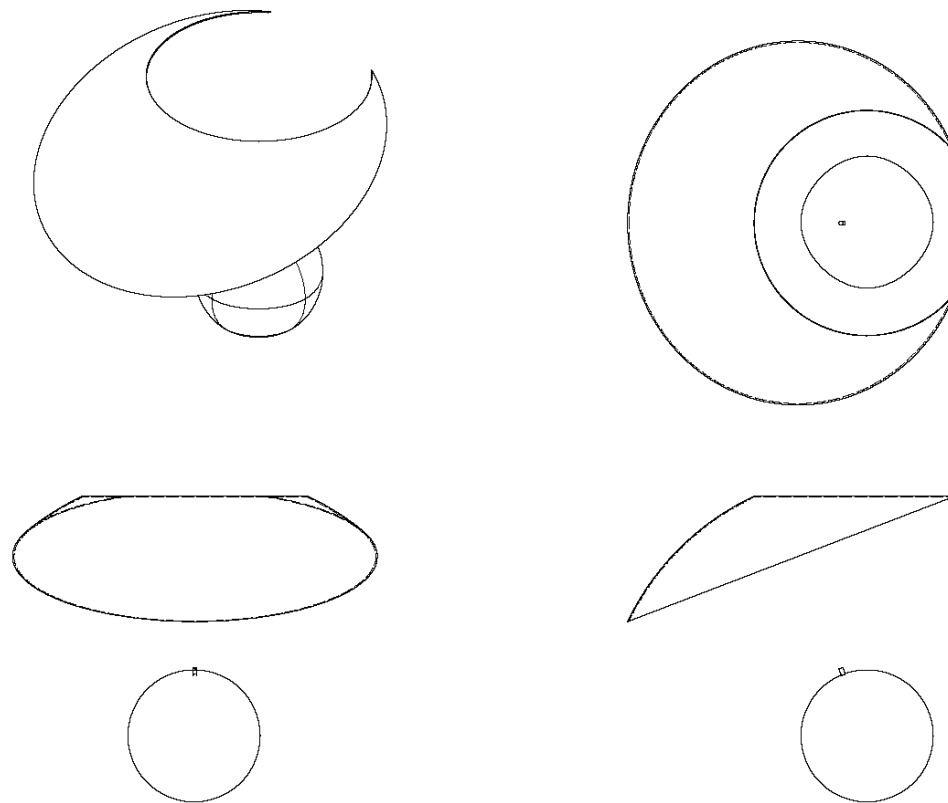


Bilaga 2 GNSS satellitplansritningar, sid 2(5)

Glonass, breddgrad 69° N, elevationsvinkel 12°.

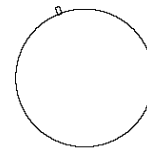
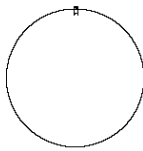
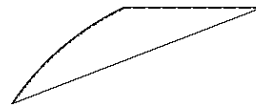
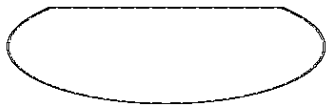
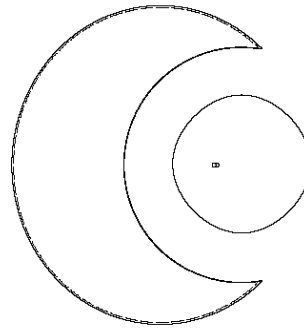
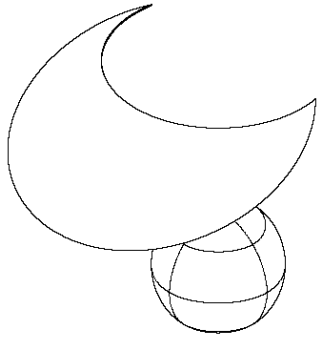


Glonass, breddgrad 69° N, elevationsvinkel 35°.

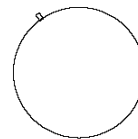
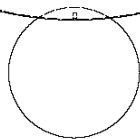
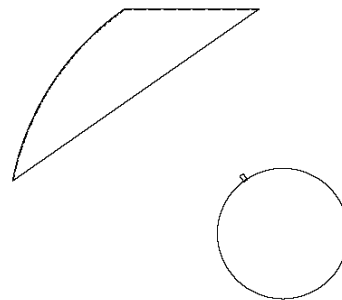
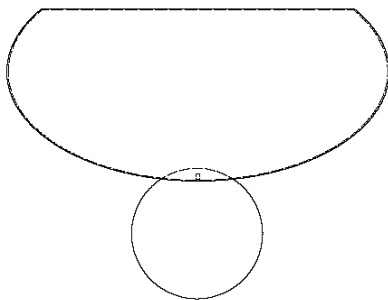
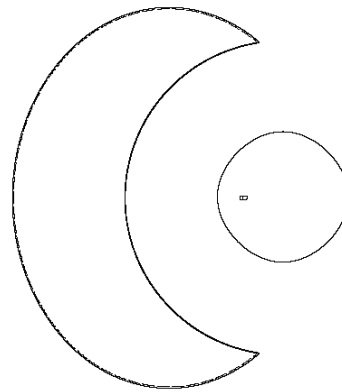
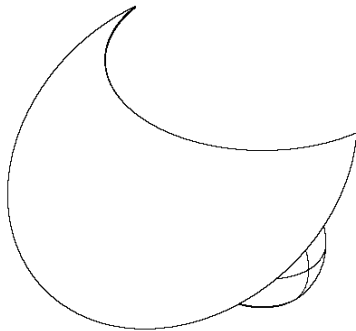


Bilaga 2 GNSS satellitplansritningar, sid 3(5)

Glonass, breddgrad 69° N, elevationsvinkel 45°.

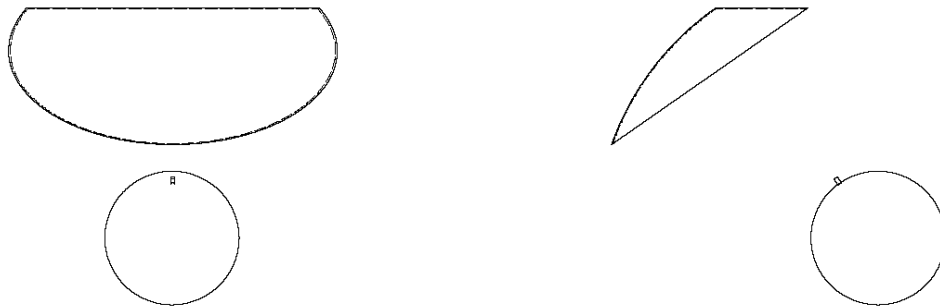
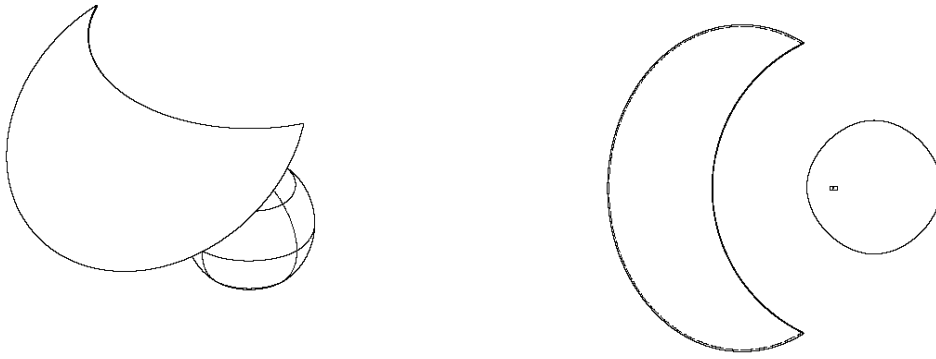


GPS, breddgrad 55° N, elevationsvinkel 35°.

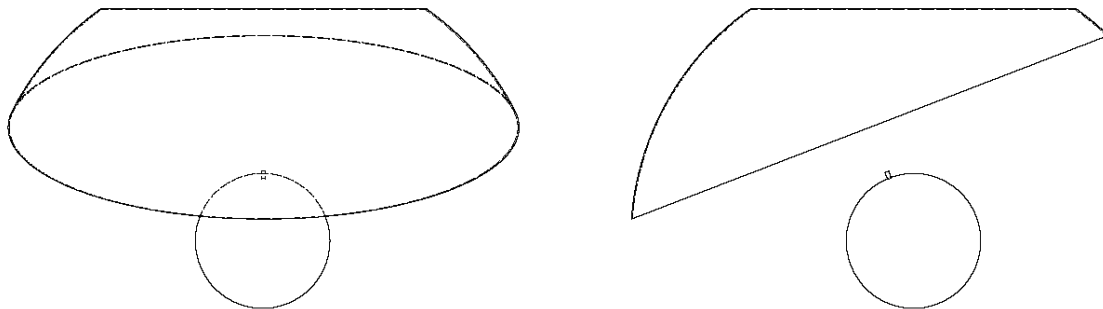
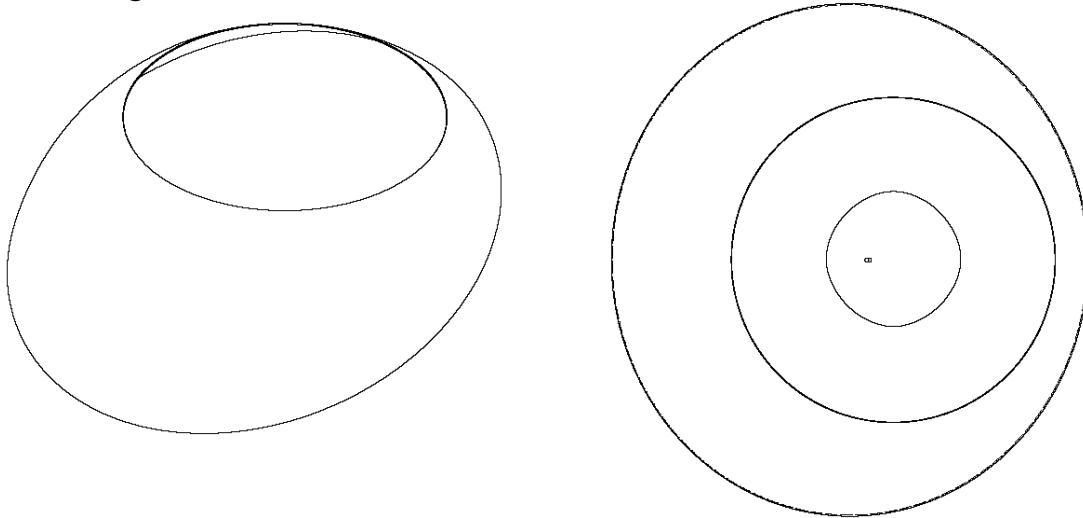


Bilaga 2 GNSS satellitplansritningar, sid 4(5)

GPS, breddgrad 55° N, elevationsvinkel 45°.

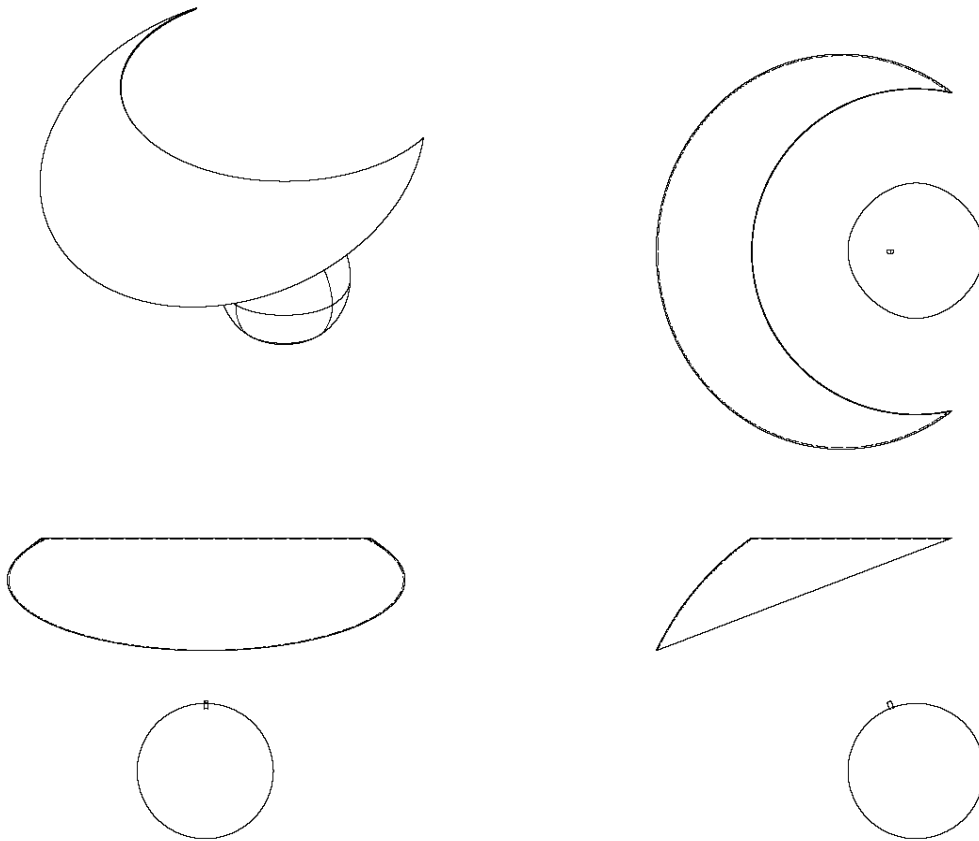


GPS, breddgrad 69° N, elevationsvinkel 12°.

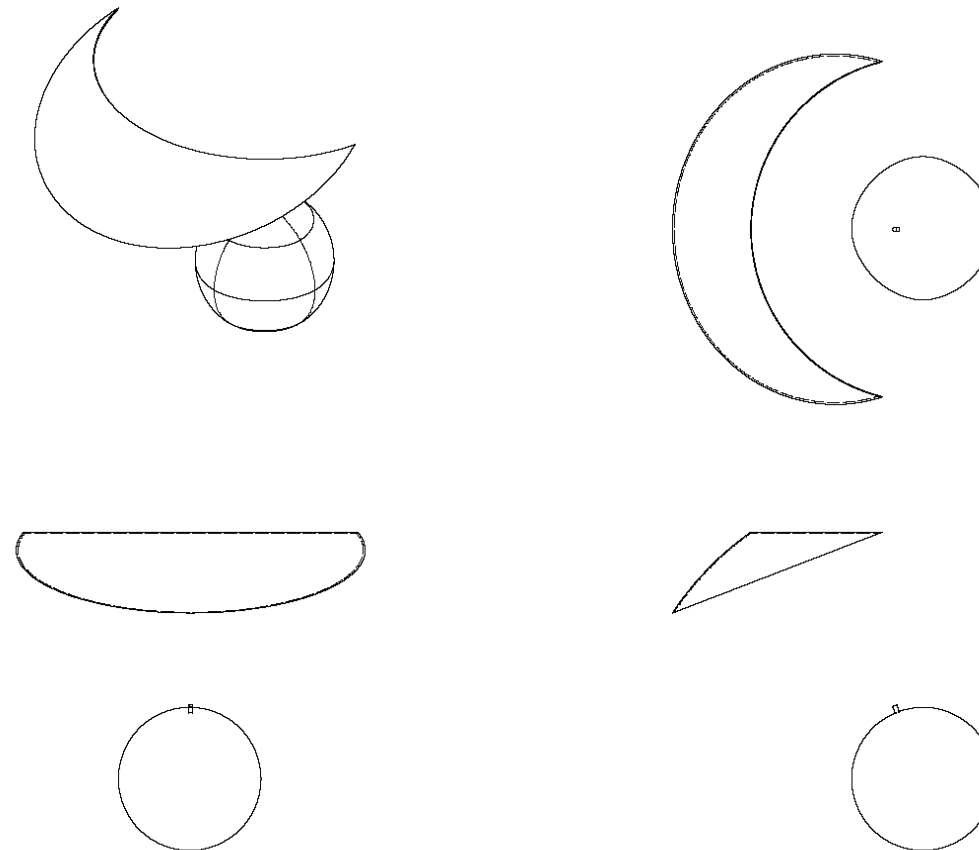


Bilaga 2 GNSS satellitplansritningar, sid 5(5)

GPS, breddgrad 69° N, elevationsvinkel 35°.



GPS, breddgrad 69° N, elevationsvinkel 45°.



## **Frågor till Svevia**

### **Hur ser upphandlingen för driftområden ut?**

*Vem är upphandlande part?*

*Över vilken tid sträcker sig entreprenaden?*

*Vilket område omfattas? Fördelat på de olika standardklasserna? Omfattas GC-vägar?*

*Finns det åtgärdskrav eller funktionskrav?*

*Hur anges det vad som ska plogas, exakt? Mellan vägmarkeringarna?*

*Finns det krav på snöstörrar? Vad är de årliga kostnaderna för att hantera dessa?*

### **Hur bedrivs arbetet?**

*Används det idag GPS återrapporering för att förenkla ledning, kommunikation och fakturering (vid ÄTA)?*

*Används det GPS för att rapportera körskador?*

*Vem rapporterar om körskador?*

*Fördelningen i arbetsmängd mellan de olika standardklasserna sett över ett år?*

*Vid halkbekämpning, vilken utrustning finns?*

*Vilka skador och kostnader finns idag i driftområdena?*

*Vad är kostnaden för vinterväghållning per år?*

*Vad är kostnaderna för körskador per år?*

### **Går det att dra slutsatser om när körskadorna uppstår?**

*På sträckor som sällan körs?*

*Vid speciella väderförhållande?*

*Vilken nederbörd räknas som "synnerliga omständigheter"?*

Bilaga 3 Intervjufrågor till aktörer inom vinterväghållning, sid 2(3)

*Hur är kostnaderna fördelade mellan markskador, utrustningsskador, personskador?*

*Hur stort är problemet med personskador?*

*Vilken utrustning används?*

*Hur bedrivs arbetet vid 2+1 vägar? Tandemkörning eller två vändor?*

*Hur bedrivs arbetet vid motorväg? Tandemkörning eller två vändor?*

*Genomförs bortforsling i någon omfattning?*

## **Frågor till Gatukontoret Malmö Stad**

### **Hur ser upphandlingen för driftområden ut?**

*Över vilken tid sträcker sig upphandlingen?*

*Baseras upphandlingen på åtgärdskrav eller funktionskrav?*

*Vilket område omfattas? Fördelat på de olika prioriteringsområdena?  
Omfattas GC-vägar?*

*Hur anges det vad som ska plogas, exakt? Mellan kantstenar?*

### **Vilka skador och kostnader finns idag i driftområdena?**

*Vad är kostnaden för vinterväghållning per år?*

*Vad är kostnaderna för körskador per år?*

*Används det GPS för att rapportera körskador?*

*Vem rapporterar om körskador?*

*Hur stort är problemet med krympande vägbredder?*

### **Går det att dra slutsatser om när körskadorna uppstår?**

*På sträckor som sällan körs?*

*Hur ser fördelningen i arbetsmängd mellan de olika prioriteringsområdena ut sett över ett år?*

*Vid speciella väderförhållande?*

*Hur är kostnaderna fördelade mellan markskador, utrustningsskador, personskador?*

*Hur stort är problemet med personskador?*

*Används det idag GPS återrapporering för att förenkla ledning, kommunikation och fakturering (vid ÄTA)?*

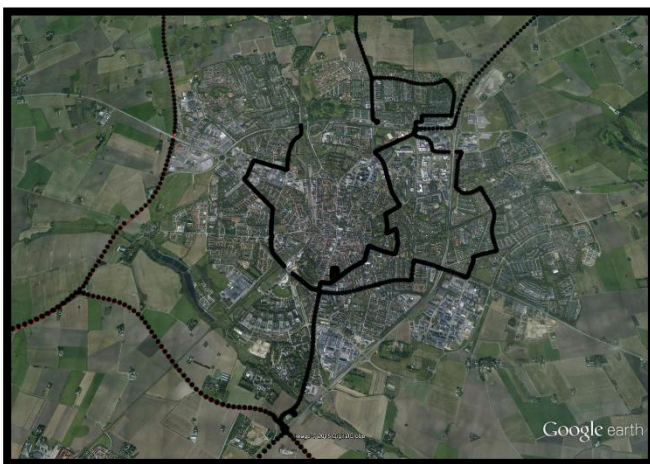
*Har Malmö stad avtal med SWEPOS eller egen nätverks RTK-lösning för GPS?*



## Bilaga 4 Områdesbilder, sid 1(1)



Mätpunkter i Malmö. Källa: Skärmlapp från Google Earth

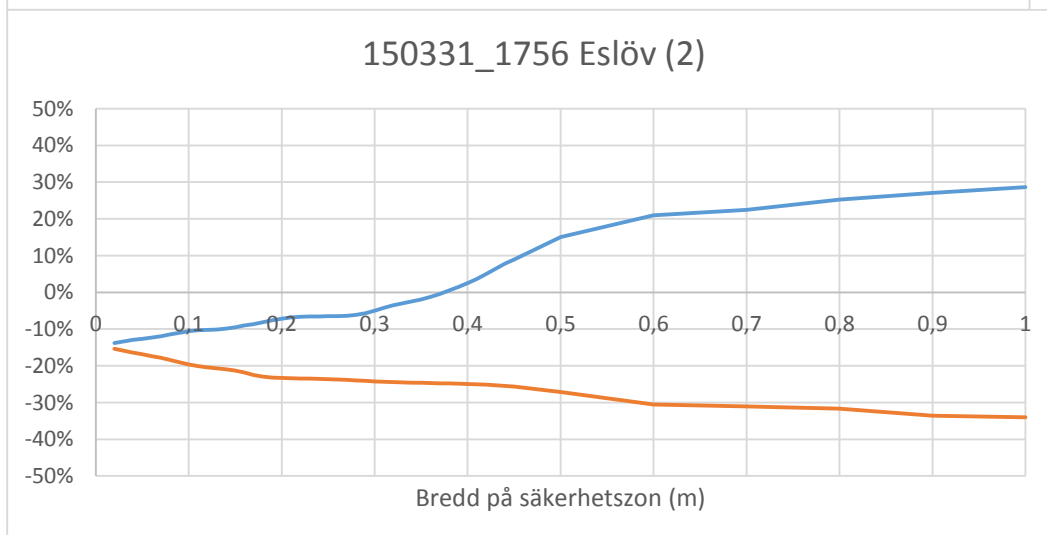
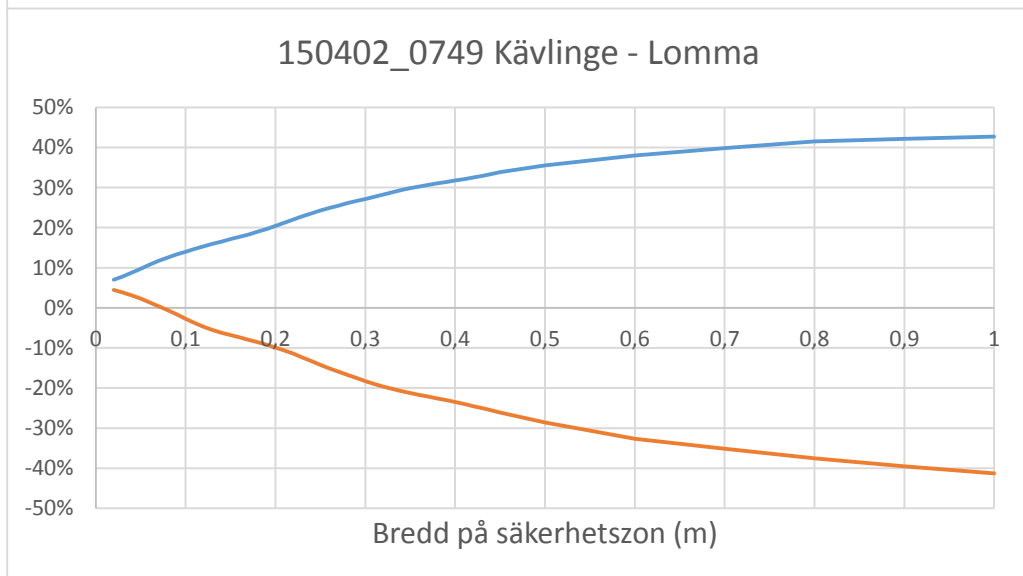
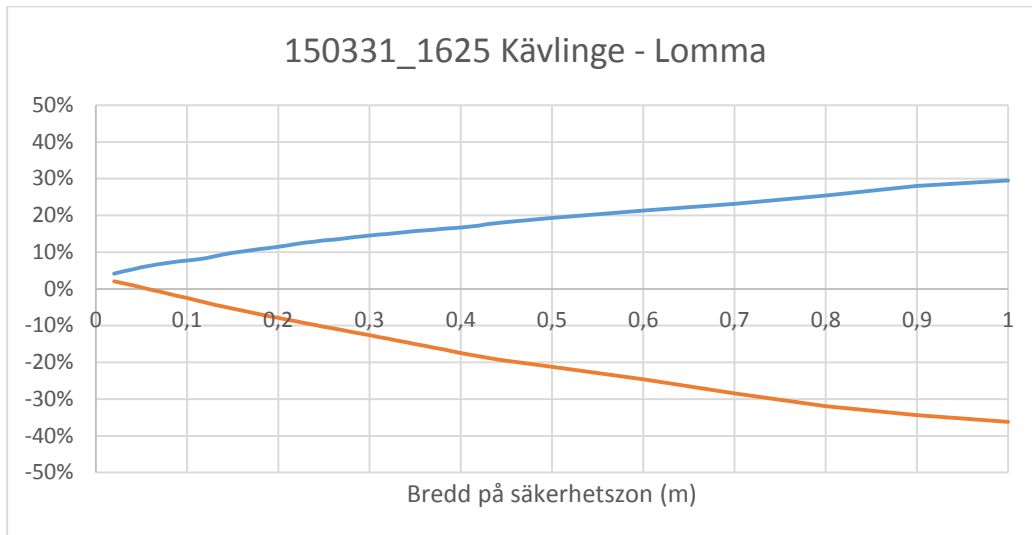


Mätpunkter i Lund. Källa: Skärmlapp från Google Earth



Mätpunkter i Eslöv. Källa: Skärmlapp från Google Earth

## Bilaga 5 Resultat från körslingsor, sid 1(2)



## Bilaga 5 Resultat från körslingor, sid 2(2)

