

# En jämförelse mellan tre geodetiska tekniker

- Analys av mätningar utförda i en vägkorsning



LUNDS  
UNIVERSITET

Lunds Tekniska Högskola

LTH Ingenjörshögskolan vid Campus Helsingborg  
Teknik och samhälle/ Trafik och väg

Examensarbete:  
Peter Bruce

© Copyright Peter Bruce

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 2013

## Sammanfattning

Terrester laserskanning (TLS) är en teknik för att snabbt samla in detaljerad och noggrann data om ett målobjekt. Kort kan tekniken beskrivas som att instrumentet avger en laserstråle som sveper över ett målobjekt och samlar in miljontals tätt placerade koordinatbestämda(x,y,z) punkter på bara några minuter. Terrester laserskanning har funnits länge med det är inte förrän på senare år, då utrustningen har blivit alltmer lätthanterlig samt kostnadseffektivare, både i fält och i efterarbetningen, som tekniken har blivit vanligare inom bygg- och anläggningsbranschen. Tekniken används bland annat för att dokumentera befintligt skick av anläggningar, volymeräkningar och stabilitetsövervakning.

En annan typ av mätmetod är mätning med den traditionella totalstationen. Till skillnad från terrester laserskanning mäter totalstationen in en koordinatbestämt punkt, men med mycket högre noggrannhet än den terrestra laserskanningen.

Totalstationsmätningar i väg- och gatukorsningar medför ofta en väldigt stor säkerhetsrisk då man måste ut i trafiken för att göra mätningar. Syftet med arbetet är att undersöka möjligheten att ersätta totalstationsmätningar med terrester laserskanning i väg- och gatukorsningar. Jämförelser görs mellan egna utförda totalstations- och laserskanningsmätningar i korsningen Sölvegatan/Tornavägen i Lund. Detaljer så som hörn på övergångsställen, refuger och ramper har mätts in med totalstation för att göra avståndsjämförelser med laserskanningen. Jämförelser görs också mellan RTK och totalstationsmätningar.

Mätningarna har utförts med en totalstation (Leica TPS 1200+) och en terrester laserskanner (Leica ScanStation P20). Leica Cyclone 8.0 har använts för bearbetning av skanningsdata

Resultatet som redovisas i kapitel 4 visar att laserskanner kan ersätta totalstationsmätningar under vissa förutsättningar. Laserskannern är också noggrannare än RTK-mätningarna. Det bör belysas att resultatet inte är helt tillförlitligt eftersom mätmetoderna inte mätt under samma förutsättningar. Under laserskanningen föll det en hel del regn vilket försämrar mätresultatet. Området är också skymt av stora träd vilket försämrar noggrannheten i RTK-mätningarna.

Nyckelord: Terrester laserskanning, Punktmoln, Felkällor, Totalstation, RTK

## Abstract

Terrestrial Laser Scanning (TLS) is a technique to rapidly collect detailed and accurate data of an object. The technology can briefly be described as a laser beam emitted by an instrument which sweeps across a target object collecting millions of closely placed coordinates (x,y,z) in a matter of minutes.

Terrestrial Laser Scanning technology has existed for a long time however only in recent years has the technology become more widely used in the construction industry. This is due to the equipment becoming cheaper and easier to handle using different software. For example the technology is now used for as-built documentation, volume calculations and mass movement monitoring.

Another type of measurement method is with the traditional total station. In contrast to the terrestrial laser scanner the total station only measures one coordinate at a time but with higher accuracy.

The current problem with total station measurements is the high safety risk it poses at intersections due to having to enter traffic to take measurements. The aim of this thesis is to investigate the possibility of replacing traditional total station measuring with Terrestrial Laser Scanning at intersections.

Comparisons are made between total station and scanning measurements at the Sölvegatan/Tornavägen intersection in Lund. Details such as the corners of the crossings, refuge islands and ramps have been measured with total station in order to do distance comparisons with the laser scanning data. Comparisons have also been made between RTK and total station measurements.

The measurements have been performed with a total station (Leica TPS 1200+) and a terrestrial laser scanner (Leica ScanStation P20). Cyclone 8.0 has been used for working with the scan data.

The results presented in Chapter 4 show that terrestrial laser scanner may replace measurements with a total station. Terrestrial laser scanner is also more accurate than the RTK measurements. It is important to note that the results are still inconclusive as the measurement methods were not tested under the same environmental conditions. The intersection is also obscured by trees which reduces the accuracy for the RTK measurements.

Keywords: Terrestrial Laser Scanning, Point cloud, Sources of errors, Total station, RTK

## **Förord**

Detta examensarbete ingår i högskoleingenjörsutbildningen i Byggteknik med inriktning väg- och trafikteknik vid Campus Helsingborg, Lunds Tekniska Högskola. Omfattningen på arbetet är 22,5 högskolepoäng.

Jag vill tacka Christian Alnerud på Leica Geosystems i Malmö, min handledare Lars Ollvik, min examinator Sven Agardh och Anders P Nilsson på Sweco AB i Malmö för alla tips och hjälp under arbetets gång.

Peter Bruce  
Juli, 2013

# Innehållsförteckning

<b>1 Inledning</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 Bakgrund</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 Syfte och mål</b> .....	<b>1</b>
<b>1.3 Avgränsning</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4 Metod</b> .....	<b>2</b>
<b>2 Teori</b> .....	<b>3</b>
<b>2.1 Tekniken för terrester laserskanning (TLS)</b> .....	<b>3</b>
2.1.1 Triangulering-baserad mätning .....	4
2.1.2 Pulsbaserad skanning .....	4
2.1.3 Fasbaserad skanning .....	5
<b>2.2 Val av skanner</b> .....	<b>6</b>
2.2.1 Räckvidd .....	6
2.2.2 Upplösning .....	7
2.2.3 Kapacitet .....	7
2.2.4 Kvalité .....	7
2.2.5 Field of View .....	8
2.2.5.1 Kameraskanner .....	8
2.2.5.2 Panoramaskanner .....	8
2.2.5.3 Hybridskanner .....	8
2.2.6 Kamera .....	9
2.2.7 Jämförelse mellan olika modeller .....	10
<b>2.3 Felkällor</b> .....	<b>11</b>
2.3.1 Instrumentfel .....	11
2.3.2 Objektrelaterade fel .....	11
2.3.3 Miljörelaterade fel .....	12
2.3.4 Metodfel .....	12
<b>2.4 Användningsområden</b> .....	<b>12</b>
<b>2.5 Registrering</b> .....	<b>14</b>
<b>2.6 Georeferering</b> .....	<b>15</b>
2.6.1 Dubbelaxlig kompensator .....	16
<b>2.7 Totalstation</b> .....	<b>17</b>
<b>2.8 GNSS</b> .....	<b>18</b>
<b>2.9 Helmerttransformation</b> .....	<b>18</b>
<b>3 Fallstudie</b> .....	<b>19</b>
<b>3.1 Utrustning</b> .....	<b>19</b>
3.1.1 TPS 1200+ .....	19
3.1.2 Leica ScanStation P20 .....	19
<b>3.2 Testmiljö</b> .....	<b>20</b>
3.2.1 Arbetsgång totalstation .....	20
3.2.2 Arbetsgång 3D skanner .....	21

<b>4 Resultat</b> .....	<b>22</b>
<b>4.1 Totalstationsdata</b> .....	<b>22</b>
<b>4.2 Skanningsdata</b> .....	<b>24</b>
4.2.1 Registrering och georeferering.....	25
4.2.2 Scan noise (Brus).....	25
4.2.3 Koordinater .....	26
<b>4.3 Avståndsjämförelse mellan totalstation och laserskanner</b> .	<b>29</b>
<b>4.4 RTK-mätning</b> .....	<b>32</b>
<b>5 Slutsats och diskussion</b> .....	<b>35</b>
<b>6 Referenser</b> .....	<b>36</b>
<b>7 Innehållsförteckning bilagor</b> .....	<b>39</b>
<b>7.1 Bilaga 1</b> .....	<b>40</b>
<b>7.2 Bilaga 2</b> .....	<b>43</b>
<b>7.3 Bilaga 3</b> .....	<b>45</b>





# 1 Inledning

## 1.1 Bakgrund

Vid alla typer av byggprojekt krävs någon form av lägesinformation. Det kan handla om att mäta t.ex. volymer, deformationer eller utsättning av ett hus som skall byggas. Tekniken för att samla in mätdata för olika typer av beräkningar utvecklas hela tiden och idag tillåter den oss att göra noggrannare mätningar än någonsin tidigare.

Den vanligaste typen av terrester mätning är idag inmätning med totalstation. Totalstation mäter längder och vinklar och kan beräknas till koordinater som är plan- och höjdbestämda. Mätningarna ger ett väldigt noggrant men detaljfattigt resultat.

RTK-mätning är en metod som använder satelliter för positionsbestämning. Metoden tillämpar bärvågsmätning för avståndsbestämning mellan satellit och mottagare.

En annan typ av mätmetod som är på stor frammarsch i bygg- och anläggningsbranschen är den terrestra laserskanningen (TLS). Till skillnad från totalstationens mäter laserskannern in detaljerad och noggrann data om ett helt målobjekt i form av miljontals tätt koordinatbestämda punkter. Resultatet av skanningen blir ett 3D punktmoln som enkelt kan navigeras i, ungefär som en 3D-modell som skapats i CAD, och analyseras i detalj med hög noggrannhet.

Fördelen med totalstation i jämförelse med laserskanner är att den mäter punkter med högre noggrannhet. En fördel med laserskanning är möjligheten att mäta in farliga och svåråtkomliga miljöer så som vägkorsningar. Totalstationsmätningar i korsningar är en väldigt stor säkerhetsrisk då man måste ut i trafiken för att göra mätningar. Med en laserskanner sköts allting vid sidan om trafiken vilket minskar risken för olycka.

## 1.2 Syfte och mål

Syftet med arbetet är att undersöka möjligheten att ersätta traditionella totalstationsmätningar med laserskanning i väg- och gatukorsningar. Jämförelser kommer göras mellan egna utförda totalstations- och skanningsmätningar. En jämförelse kommer också att göras mellan RTK- och totalstationsmätningar.

### **1.3 Avgränsning**

Avgränsning i arbetet har satts till att mäta och analysera mätdata. Ingen djupare analys av behandlingen av data i diverse programvaror har inte beskrivits.

### **1.4 Metod**

Grundläggande kunskaper om terrester laserskanning och mätning med totalstation krävs för att komma igång med arbetet. Kunskap har inhämtats genom litteraturstudier.

Mätningarna utförs i korsningen Sölvegatan/Tornavägen i Lund. Bakgrunden till valet av testområde är att avdelningen trafik och väg vid institutionen för teknik och samhälle bedriver forskning om trafikbeteenden i denna korsning och var intresserade av noggrannheten i mätdata från terrester laserskanning.

Den ena mätmetoden går ut på att med en laserskanner mäta in korsningen. Fyra olika uppställningar kommer att krävas som sedan registreras till ett gemensamt punktmoln. Den andra mätmetoden är mätningar med en totalstation som har utförts i samma korsning. Punkter i korsningen så som hörn på övergångsställen, refuger och ramper har mätts in för att sedan jämföras med resultatet från laserskanningen.

Genom hjälp från Leica Geosystems i Malmö har jag lärt mig hantera mätinstrumenten som krävdes vid inmätning och bearbetning av skanningsdata i Cyclone 8.0.

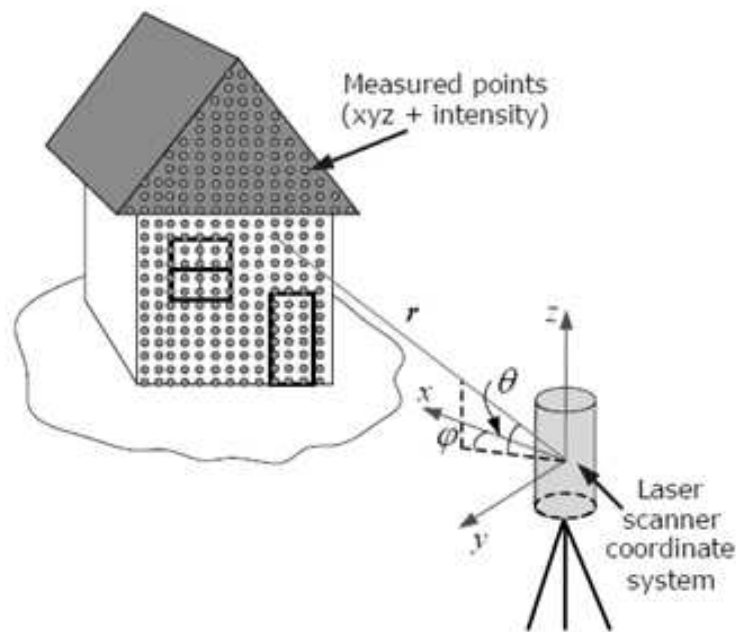
Mätningarna utförs med en totalstation (TPS 1200+) och en laserskanner (Leica ScanStation P20).

Mätningar har också utförts av med RTK i korsningen med syfte för om man i framtiden vill transformera punktmolnet till ett nationellt koordinatsystem. Leica Viva GNSS GS08plus mottagare användes vid inmätning.

## 2 Teori

### 2.1 Tekniken för terrester laserskanning (TLS)

Terrester laserskanning (TLS) är en teknik för att snabbt samla in detaljerad och noggrann data om ett objekt. Kortfattat kan tekniken beskrivas som att en laserskanner avger en laserstråle som sveper över ett målobjekt och samlar in miljontals tätt placerade mätningar på bara några minuter (Reshetyuk, 2009). Se figur 1.



Figur 1 - Tekniken för terrester laserskanning (Reshetyuk, 2009).

$r$  = Avstånd från instrument till objekt

$\varphi$  = Horisontell vinkel

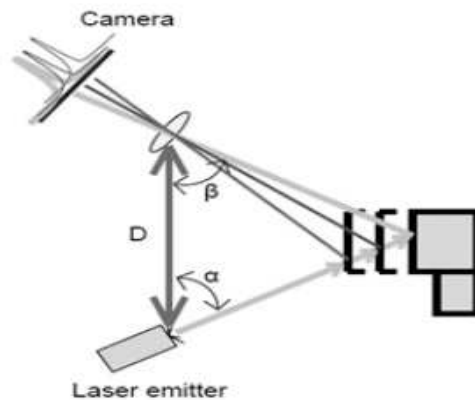
$\theta$  = Vertikal vinkel

Resultatet av skanningen blir ett punktmoln som innehåller miljontals mätta punkter. Varje koordinat är bestämd med minst tre koordinater (X, Y och Z). Dessutom kan även en intensitet  $I$  mätas (X, Y, Z och  $I$ ). Hur kraftig reflektion varje puls ger genererar olika färger i punktmolnet vilket förbättrar förståelsen för olika detaljer i punktmolnet. Ett punktmoln kan lätt navigeras i och analyseras på vanliga stationära och bärbara datorer, ungefär som en 3D-modell som skapats i ett traditionellt CAD-program. Koordinaterna på målobjektet kan beräknas från rådata av mätningarna ( $r, \varphi, \theta$ ) (Reshetyuk, 2009).

Terrester laserskanning används främst för att enklare kartlägga komplexa föremål för att kunna använda sig av t ex geometrijämförelser för övervakning av deformationer(Zogg, 2008). Det finns tre olika principer för att mäta in punkter. Triangulering-baserad mätning, tidsbaserad mätning i form av puls- och fasbaserad skanning(Van Ganechten, 2008). Alla principer har sina för- och nackdelar.

### 2.1.1 Triangulering-baserad mätning

Triangulering är baserad på trigonometriska beräkningar. Se fig 2. Laserstrålen, målobjektet och kameran bildar en triangel. Avståndet,  $D$ , och vinkel  $\alpha$  är kända. Vinkeln  $\beta$  bestäms genom laserstrålens riktning in i kameran. Med hjälp av dessa tre parametrar kan avståndet mellan laser och målobjekt bestämmas(Van Ganechten, 2008).



Figur 2 - Triangulering-baserad mätning(Van Ganechten, 2008).

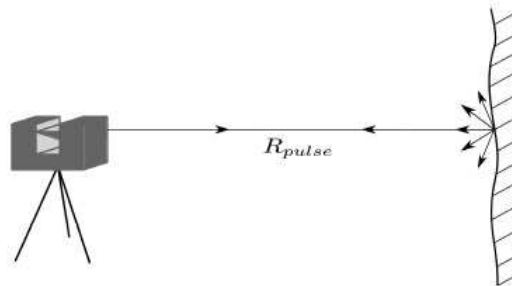
Triangulering-baserad mätning är lämplig för inmätning av objekt på korta avstånd(Van Ganechten, 2008).

### 2.1.2 Pulsbaserad skanning

Pulsbaserad mätning bygger på att mäta den tid (Time of Flight) det tar för en laserstråle att återvända till laserskannern efter att ha reflekterats mot ett målobjekt. Se figur 3. Instrumentet skickar ut en laserpuls och klockar tiden det tar för laserstrålen att återvända till instrumentet. Eftersom hastigheten (ljusets hastighet) och tid är känd kan ett avstånd beräknas enligt följande formel(Van Ganechten, 2008);

$$D = \frac{c \cdot t}{2} \quad (\text{ekv.1})$$

$D$  = Avstånd från laserskanner till målobjekt  
 $c$  = Ljusets hastighet  
 $t$  = Färdtid för laserstrålen (Zogg, 2008)

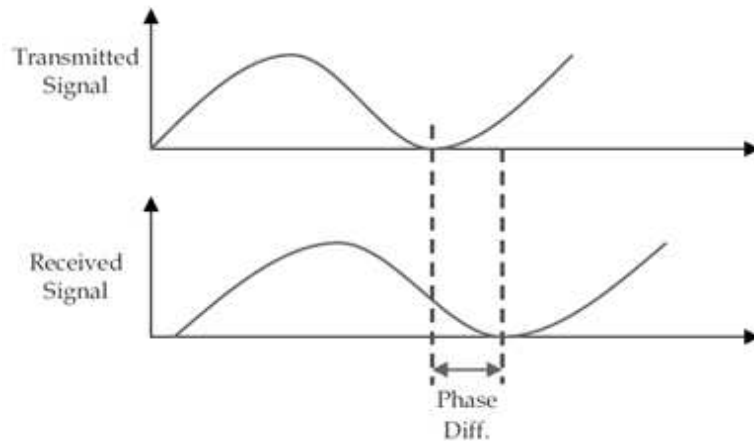


Figur 3 - Pulsbaserad laserskanning (Van Goor, 2011).

Pulsbaserad mätning är att den är kapabel att mäta väldigt stora avstånd (flera hundra meter). Nackdelen med pulsbaserad mätning är precisionen. På grund av ljusets höga hastighet är det väldigt svårt att mäta tidsdifferansen exakt. Vilket leder till att precisionen inte är lika bra som för triangulering och fasbaserad mätning (Van Ganechten, 2008). För närvarande kan en pulsbaserad skanner mäta upp till 50 000 punkter sekund.

### 2.1.3 Fasbaserad skanning

Fasbaserad skanning baserar sina avståndsmätningar på fasförskjutningen av skickad och mottagen signal. Se fig 4. Skannern skickar ut en kontinuerlig laserstråle som moduleras till sinusformade signaler (Van Ganechten, 2008).



Figur 4 – Illustration överfasförskjutning (Ergün, 2011).

Färdtiden för laserstrålen är proportionell mot fasförskjutningen. Avståndet kan beräknas enligt följande formel;

$$D = \frac{c}{2} * \frac{\varphi}{2\pi} T \quad (\text{ekv. 2})$$

$D$  = Avstånd från laserskanner till målobjekt  
 $c$  = Ljusets hastighet  
 $\varphi$  = Fasset mellan skickad och mottagen signal  
 $T$  = Perioden för den modulerade signalen (Zogg, 2008).

I jämförelse med pulsbaserad skanning är den maximala effektiva räckvidden inte lika lång, men samlar in information mycket snabbare än en pulsbaserad laserskanner (För närvarande upp till ca 1 000 000 punkter per sekund). Puls- och fasbaserad skanning användas bland annat för att göra mätningar av större objekt. T ex. skanning av fabriker, raffinaderier, stabilitetsövervakning eller invändiga utrymmen för att skapa byggnadsinformationsmodeller (BIM) av befintliga anläggningar.

## 2.2 Val av skanner

Idag finns det ett brett utbud av laserskannrar på marknaden. En av de viktigaste frågorna med skanning är kundens mål och syften med inmätningen. De flesta tillverkare utvecklar sina egna TLS system. Dessutom utvecklar tillverkare olika skanners för olika tillämpningar. Vid val av laserskanner är det därför viktigt att välja rätt typ av skanner för att uppnå de mål man vill med skanningen. De vanligaste egenskaperna som varierar bland laserskannrar och som man bör ta hänsyn till är;

- Räckvidd
- Skanningsupplösning
- Skanningskapacitet
- Kvalité (precision och noggrannhet av mätningarna) (Reshetyuk, 2009)
- Synfält (Field of View)
- Dubbelaxlig kompensator (se kapitel 2.6.1)

### 2.2.1 Räckvidd

Räckvidden varierar mellan olika tillverkare, modeller och tekniker. Pulsbaserad skanner lämpar sig bättre för inmätning av stora objekt som t ex geografiska områden för att göra volymlräkningar eller stabilitetsövervakning. Leicas pulsbaserade skanner C5 och HDS8800 har en räckvidd på 300 m respektive 2000 m. Den senast nämnda har längre räckvidd men tummar lite på noggrannheten.

Fasbaserad skanner är bättre lämpad för mindre objekt som en byggnad eller en vägkorsning, där man kräver bättre kvalité på mätningarna. Zoller + Fröhlich fasbaserade imager 5010C har en räckvidd på 187,3 m.

### 2.2.2 Upplösning

Det genomsnittliga avståndet mellan koordinaterna (X,Y,Z) i ett punktmoln. Ju tätare koordinater, desto mer detaljerat punktmoln(Van Ganechten, 2008).Önskad upplösning kan ställas in innan skanning. Ju högre upplösning, desto längre tid tar skanningen.

### 2.2.3 Kapacitet

Skanningskapacitet, eller, skannerns förmåga att samla in information. I dagsläget kan en fasbaserad skanner samla in runt 1 000 000 punkter per sekund medan en pulsbaserad skanner kan samla in 50 000 punkter per sekund. Ju bättre förmåga skannern har att snabbt samla in punkter desto snabbare skanningssekvens.

### 2.2.4 Kvalité

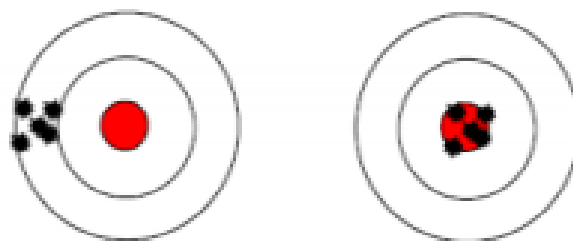
Kvalitén på mätningarna handlar om avvikelserna i de inmätta punkterna i punktmolnet i förhållande till verkligheten. Kvalitén på mätningarna beror på precisionen och noggrannheten(Zogg, 2008).

Precisionen kan beskrivas som likheten mellan de upprepade mätningarna. Ett objekt som mäts flera gånger får aldrig exakt samma värde. Ju bättre mätningarna överensstämmer med varandra,desto bättre precision(Zogg, 2008). Se fig 5. Precisionen kan beräknas genom ekv 3(Van Ganechten, 2008).

$$\sigma_k = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n-1}} \quad (\text{ekv. 3})$$

$$v_i = l_i - \bar{x}$$

Där n är antalet mätningar och  $v_i$  är skillnaden mellan det uppmätta värdet l och medelvärdet  $\bar{x}$ .



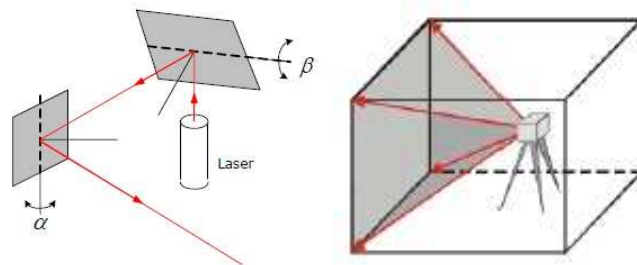
Figur 5 – Bilden till vänster visar mätningar med hög precision men med låg noggrannhet. Bilden till höger visar mätningar med hög precision och hög noggrannhet(LU, 2011).

### 2.2.5 Field of View

En väldigt viktig egenskap att ta hänsyn till vid val av skanner är Field of View, som beror på den strålavböjande spegel som avgör utbredningen för laserstrålen. Det finns i huvudsak tre olika tekniker som tillämpas beroende på hur stort synfält man vill erhålla; kameraskanner, panoramaskanner och hybridkanner(Reshetyuk, 2009).

#### 2.2.5.1 Kameraskanner

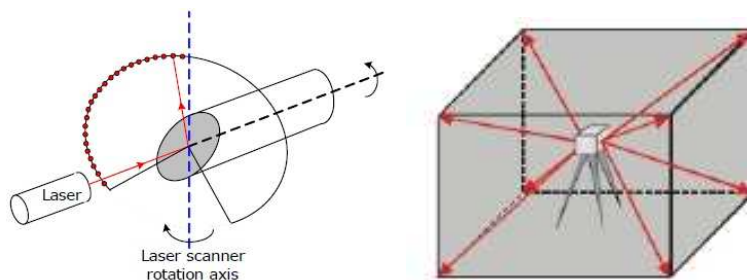
Laserstrålen reflekteras vertikalt ( $\beta$ ) och horisontellt ( $\alpha$ ) med hjälp av oscillerande speglar. Tekniken har ett väldigt begränsat synfält. Se figur 6, som beskriver principen för kameraskanning(Reshetyuk, 2009).



Figur 6 - Tekniken för kameraskanner(Reshetyuk, 2009).

#### 2.2.5.2 Panoramaskanner

Panoramaskanner har, till skillnad från kameraskanner, ett väldigt stort synfält. 360° horisontellt och nästan lika stort vertikalt. Området under skanners kan inte mätas. Tekniken visas i figur 7. Laserstrålen reflekteras vertikalt genom en roterande spegel och horisontellt genom att skanningsinstrumentet roterar kring den vertikala axeln(Reshetyuk, 2009).



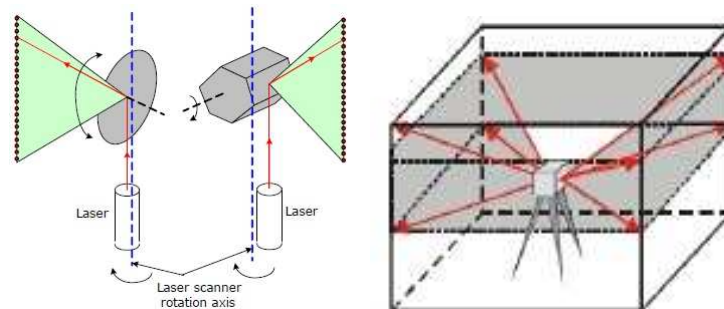
Figur 7 -Tekniken för panoramaskanner(Reshetyuk, 2009).

#### 2.2.5.3 Hybridkanner

Hybridkanner fungerar likt en panoramaskanner. Tekniken visas i figur 8. Laserstrålen reflekteras vertikalt av en oscillerande eller en roterande månghörnig spegel. När laserstrålen har mätt hela den vertikala profilen roterar skanningsinstrumentet horisontellt runt den vertikala exeln och nästa



profil kan mätas. Detta ger en field of View på 360° horisontellt men en begränsad vertikalt field of View(Reshetyuk, 2009).



**Figur 8 -Tekniken för hybridskanner(Reshetyuk, 2009).**

Laserskanners som används idag inom byggbranschen är idag nästan uteslutande panoramaskanners.

### 2.2.6 Kamera

För att göra 3D punktmolnen mer realistisk kan man med en kamera ta bilder på det skannade området. Bilderna kan sedan samkopieras med 3D punktmolnet i ett flertal program för att öka läsbarheten i den aktuella skanningen. De flesta moderna laserskannrar har en integrerad digitalkamera i instrumentet. Proceduren är väldigt enkel, och precis som med själva skanningen kan man ställa in upplösning på bilderna. Ju högre upplösning, desto längre tid tar processen.

## 2.2.7 Jämförelse mellan olika modeller

Nedan följer en jämförelse mellan några olika skannrar.

<b>Modell</b>	<b>FARO Photon 80/20</b>	<b>Leica ScanStation P20</b>	<b>LeicaScanStation C5 (Uppgraderad)</b>
<b>Räckvidd</b>	76 m	120 m	300 m
<b>Typ</b>	Fas	Puls (förstärkt medWaveformDigitising (WFD))	Puls
<b>Skanningskapacitet</b>	120 000punkter/sek	1 Miljonpunkter/sek	50 000 punkter/sek
<b>Noggrannhet</b>	2 mm 0,6-25m	3 mm 50 m 6 mm 100 m	6 mm
<b>Field of View</b>	360° Hz * 320° Vert	360° Hz * 270° Vert	360° Hz * 270° Vert
<b>Lagring</b>	80 GB HDD	256 GB HDD	80 GB HDD
<b>Integrerad kamera</b>	Nej	Ja	Ja
<b>Dubbelaxlig kompensator</b>	Nej	Ja	Ja

Tabell 1- Jämförelse mellan olika skannrar(Leica Geosystems 2011, FARO 2009) Leicas ScanStation P20 är en kombination av en puls och fasskanner. Den bygger på pulsteknik men är förstärkt med fassförskjutningsteknik.

Dubbelaxlig kompensator är också en viktig komponent beroende på vilka krav som ställs. Se 2.6.1.

Leica har nyligen släppt sin nya innovativa Leica Nova MS50 MultiStation. Multistationen kombinerar totalstation, 3D skanning, bildbehandling och GNSS positionering i ett och samma instrument. Instrumentet använder sig av mergeTEC teknik som enkelt synkroniserar kamerabilder med punktmolnen och skanningsmätningar med totalstationsmätningar. Punktmoln kan skapas i instrumentet redan ute i fält vilken möjliggör t ex snabba volymeräkningar utan behov av registrering och bearbetning av data i programvaror. Det sparar också tid och pengar då mätdata kan kontrolleras i fält och undvika eventuell återkomst till platsen för ommätningar(Leica Geosystems, 2013c)

## 2.3 Felkällor

När ett punkmoln har skapats från en skanning upptäcks vanligen många koordinatfel. De avvikelser som upptäcks kan bero på flera olika faktorer och kan delas upp fyra olika grupper. Instrumentfel, objektsrelaterade fel, miljörelaterade fel och metodfel (Van Ganechten, 2008).

### 2.3.1 Instrumentfel

Instrumentfel som kan uppstå är t ex vinkelfel vilket beror på att speglarna som reflekterar laserstrålen är felaktigt anpassade.

Felmätning kan också uppstå med laserstrålens utbredning. Ju längre laserstrålen färdas desto större radie får den. En större laserstråle innebär sämre upplösning och precision av punkmolnet. Laserstrålens utbredning kan beräknas med följande formel;

$$w = w_0 \sqrt{1 + \left( \frac{\lambda * \rho_w}{\pi * w_0^2} \right)^2} \quad (\text{ekv. 4})$$

Där  $w$  är radien av laserstrålens utbredning,  $w_0$  är radien då laserstrålen lämnar instrumentet,  $\lambda$  laserstrålens våglängd och  $\rho_w$  är sträckan (Van Ganechten, 2008)

En annan typ av fel som är starkt kopplat till utbredning av laserstrålen är när laserstrålen sveper över en kant på ett objekt och delas i två delar. Det som händer är att ena halvan av laserstrålen träffar målobjektet och den andra halvan åker vidare och träffar ett objekt i bakgrunden. Istället för att en punkt registreras registreras två olika punkter och medelvärdet av dessa punkter kommer att visas i punktmolnet (Vilket är en felaktig koordinat). Användning av mindre laserstråle motverkar denna typ av fel på korta avstånd, men inte på längre avstånd eftersom laserstrålen alltid kommer att breddas med avstånd (Van Ganechten, 2008).

### 2.3.2 Objektrelaterade fel

Målobjektets utseende och egenskaper bidrar också till felmätningar. Eftersom en laserskanner mäter reflektorlöst är den beroende av objektets reflektans. Mörka objekt absorberar laserstrålen vilket gör att signalen tillbaka till skannern blir mycket svag, vilket leder till brister i noggrannheten. Objekt med ljus färg ger en bättre noggrannhet. Total reflektion av laserstråle på objekt som metall orsakar stora fel i mätningarna då en punkt kan registreras någon helt annanstans eller inte alls då ingenting reflekteras tillbaka och registreras i instrumentet (Van Ganechten, 2008). Andra orsaker till

objektrelaterade fel är; Storlek på målobjekt, krökning och orientering(Swahn, 2008).

### 2.3.3 Miljörelaterade fel

Mätfel som påverkas av omgivningen kan vara t ex brytningsindex i luften, turbulens och/eller väderförhållanden. Temperaturen kan påverka skannerns precision. Avståndsberäkningarna kan bli felaktiga vid låga temperaturer då avståndsberäkningselektroniken påverkas(Van Ganechten, 2008).

### 2.3.4 Metodfel

Mätfel på grund av metodfel är oftast orsakat av slarv t ex antal och dålig placering av måltavlor, fel val av upplösning eller fel val av laserskanner(Van Ganechten, 2008).

## 2.4 Användningsområden

Användningsområdena för laserskanning är många och används idag inom bland annat arkitektur, konstruktion, sjukvård och kriminalteknik. Inom sjukvård används laserskanning för att göra prototyper av t ex proteser. Inom kriminaltekniken är laserskanning ett bra hjälpmedel då man kan undersöka en brottsplats i en 3D modell utan att manipulera eller förstöra bevis. Inom byggbranschen används tekniken t ex för att göra modeller av byggnader och anläggningar med avsikten att dokumentera befintligt skick. Tekniken är ett väldigt värdefullt verktyg och minskar projektkostnader avsevärt genom reducera projekteringsfel som förlänger projektiden.

En term som används flitigt i samband med laserskanning av byggnader och anläggningar är reverse engineering (Omvänd ingenjörskonst), vilket betyder att arbetssättet är omvänt jämfört hur en ingenjör vanligen arbetar. Att av en befintlig byggnad göra en 3D modell för att analysera bland annat struktur och funktion. Ett relevant område är att använda tekniken inom vägbyggnad. Att utifrån en 3D modell bedöma kvaliteten på vägbeläggningen som t ex övervakning av förändringar i vägbeläggningen i form av sprickor och nivåskillnader. Ett annat intressant område är analys av geometriska utformningar av vägkorsningar. 3D modellen skulle göra det möjligt att ”bygga om” vägkorsningen i modellen och studera effekten av t ex trafiksäkerheten i olika geometriska utformningar. Tekniken möjliggör bedömningar av utformningen innan konstruktion(Antoniou et al, 2012).

Nedan följer ytterligare exempel på användningsområden för laserskanning.

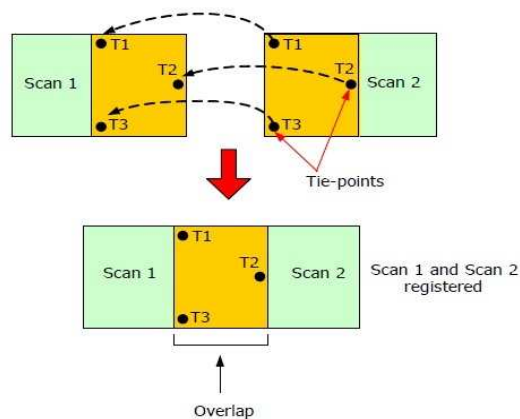
- Utföra deformationsmätningar.
- Dokumentation av historiska och kulturella monument.
- Dokumentation av arkeologiska utgrävningar.
- Volymberäkningar och stabilitetsövervakning(Reshetyuk, 2009).

Fördelarna med laserskanning jämfört med andra mätmetoder är många. Nedan följer några exempel.

- Snabb och detaljerat dokumentera ett objekt i en 3D modell.
- Kortare projektionstid vilket leder till lägre kostnader.
- Utföra mätningar i farliga miljöer eller svåråtkomliga miljöer så som vägkorsningar eller industriobjekt.
- Inget behov av ljus för inmätning.
- Allting mäts in på plats vilket betyder att man inte behöver återvända till platsen om ny information krävs(Reshetyuk, 2009)(Under förutsättning att punktmolnet innehåller den informationen).

## 2.5 Registrering

Vid varje enskild skanning skapas ett punktmoln med ett eget koordinatsystem där skannern utgör origo. Vid inmätning av stora objekt där det krävs två eller fler uppställningar vill man gärna ha punktmolnen i samma koordinatsystem. Det finns flera olika metoder för att uppnå detta. En metod är att använda sig av måltavlor. För att utföra denna typ registrering krävs det att minst tre gemensamma måltavlor (Om skannern inte placeras på känd punkt, läs mer i kapitel 2.6.1) är skannade i två olika uppställningar. Vidare ska måltavlorna placeras på ett bra sätt, inte bara i x- och y-led, utan även i z-led. För tätt placerade, eller dåligt geometriskt placerade måltavlor resulterar i felaktigheter. De två punktmolnen kan sammanfogas i diverse programvaror (Reshetyuk, 2009). Figur 9 beskriver metoden för att sammanfoga två punktmoln.



Figur 9- En metod för att koppla samman två punktmoln (Reshetyuk, 2009).

Det finns ett antal olika varianter av måltavlor. Nedan visas två olika typer av måltavlor.



Figur 10- Två typer av måltavlor. Tillvänster är en så kallad "tilt and turn" tavla som gör måltavlan roterbar och synbar från olika skanningsuppställningar. Typ två är en sfärisk måltavla som också är synlig vid olika skanningsuppställningar (Leica Geosystems, 2013a; Van Ganechten, 2008).

Vid samtliga skanningsuppställningar skannas måltavlorna med högre upplösning. Med algoritmer i skannerns programvara kan mittpunkten av måltavlan beräknas. Eftersom många punkter mäts på måltavlorna är noggrannheten mycket hög. Dessa måltavlor (fig 10) består av högre reflekterande material som reflekterar en stor del av laserstrålen tillbaka till skannern. En billigare variant av måltavlor är att göra sina egna pappersbaserade tavlor med ett passande mönster för att möjliggöra beräkning av mittpunkten (Van Ganechten, 2008).

Naturliga punkter för registrering går också bra att använda, t ex fönster. Men ger inte lika hög noggrannhet som med måltavlor (Reshetyuk, 2009).

Det är också möjligt att registrera punktmoln med en metod som kallas Iterative Closed Point, ICP. Punktmolnen sammanfogas genom att man hittar tre gemensamma ytor i punktmolnen. Tekniken kräver således att skanningsområdet mellan de olika skanneruppställningarna överlappar varandra med 30-40 %. Eftersom de gemensamma ytorna aldrig är identiska används algoritmer (IPC algoritmer) för att minimera och transformera avstånden för att anpassa punktmolnen (Reshetyuk, 2009).

En annan metod att anpassa punktmoln är genom att matcha geometriska objekt. T ex ett hörn i ett rum eller cylindrar. Punktmolnen anpassas till varandra genom att gemensamma objekt matchas. Programvaran beräknar och hittar den optimalaste anpassningen för punktmolnen (Reshetyuk, 2009). Denna metod är väldigt användbar vid registrering av punktmoln med mycket störningar då felaktig data först kan behandlas i de separata punktmolnen för att sedan sammanfogas.

## **2.6 Georeferering**

Ibland kan det vara intressant att integrera den skannade 3D modellen med annan geografisk data. Detta möjliggörs genom att transformera punktmolnets koordinater till ett känt lokalt eller nationellt koordinatsystem. Detta kallas för georeferering. Det finns det två olika metoder för att transformera ett koordinatsystem, direkt eller indirekt georeferering.

I en indirekt georeferering tar man hjälp av minst tre kontrollpunkter som placeras på eller nära målobjektet och är koordinatbestämda av t ex GPS eller totalstation. Här krävs också att kontrollpunkterna är bra geometriskt placerade (Reshetyuk, 2009). Transformerings sker med hjälp av en tredimensionell helmertransformering.

Direkt georeferering betyder att laserskannern är uppsatt på en känd punkt. Information om position och orientering kan föras in direkt i skannerprogramvaran innan skanning, eller efter skanning för bearbetning av informationen(Reshetyuk, 2009). Metoden kräver att skannern är utrustad med en dubblaxlig kompensator. Se 2.6.1

Även om indirekt georeferering inte är den mest lönsamma metoden är det ändå idag den vanligast använda metoden. Nackdelarna med indirekt georeferering är att mätprocessen tar längre tid i jämförelse med direkt georeferering. Det är också svårt att mäta in öppna områden så som korsningar, då kontrollpunkter är svårplacerade. Anledningen till att indirekt georeferering breda användning är helt enkelt för att många skannrar saknar egenskaper (dubbelaxlig kompensator) för att kunna genomföra direkt georeferering. De flesta nyare skannermodellerna har dock en dubbelaxlig kompensator. Direkt georeferering är att föredra då det är mycket effektivare och sparar mycket tid och pengar(Reshetyuk, 2009). Förklaring ges i 2.6.1.

### 2.6.1 Dubbelaxlig kompensator

Precis som med all annan teknik förbättras laserskanningstekniken hela tiden. En stor förbättring som introducerades i laserskanningssammanhang för ett antal år sedan är den dubbelaxliga kompensatorn. Skanningsinstrumentet orientering i den vertikala och horisontella axeln kan förändras under skanningen på grund av många olika faktorer, t ex vind. Kompensatorn korrigerar automatiskt förändringar i skannerns horisontella och vertikala orientering. Teknologin ger många fördelar, så som minskat behov av antal måltavlor, minskad arbetskraft, ökad produktivitet och minskad skannerdrift(Geoff Jacobs, 2007).

Skanners med dubbelaxlig kompensator har möjlighet att placeras på en känd punkt med laserlod och etableras mot ett referensobjekt eller mäts in med GNSS , precis som med en totalstation. Detta möjliggör direkt georeferering. Mätning med dubbelaxlig kompensator innebär ett minskat behov av antal måltavlor. Det kan räcka med bara en måltavla. Det underlättar väldigt mycket och inte minst sparar mycket tid och pengar då man slipper sätta upp/ta ner måltavlor samt minskad planeringsprocess med måltavlor som ska placeras synbart i flera olika uppställningar. Registeringsprocessen av de olika punktmolnen i programvaran blir också betydligt enklare(Geoff Jacobs, 2007).

Noggrannheten vid registrering blir också betydligt högre. En av de största källorna till fel vid mätningar är just registreringen. Med dubbelaxlig kompensator är detta problem nästan helt eliminerat(Geoff Jacobs, 2007).



Denna teknik är förmånlig att använda vid objekt där måltavlor är svårplacerade i en bra geometri, så som i vägkorsningar.

I tabell 1 visas också en jämförelse mellan olika skannrar. FARO photon 80/20 har ingen kompensator medan Leicas Scanstation P20 har det. Detta är också en väldigt viktig egenskap hos en skanner som bör beaktas vid val/inköp av skanner.

## 2.7 Totalstation

En totalstation är ett instrument som mäter längder, vertikal- och horisontalvinklar samt beräknar koordinater. En totalstation är en kombination av vinkelmätare (Teodolit) och en avståndsmätare, EDM (Electronic Distance Meter). Med hjälp av trigonometri kan vinklar och avstånd användas för att beräkna positionerna (x,y,z) för undersökta punkter.

Avståndsmätningen fungerar likt en laserskanner, det vill säga med fasbaserad eller pulsbaserad avståndsmätning. Vinkelmätaren mäter vertikal- och horisontalvinkel och avstånd mot ett optiskt reflekterande prisma (Swahn, 2008). Moderna totalstationer kan oftast användas av en ensam operatör då instrumentet har en autolock-funktion som automatiskt följer prismet. Om totalstationen tappar kontakten med prismet kan den letas upp med PowerSearch funktionen. En osynlig laserstråle sänds ut och letar efter prismet samtidigt som totalstationen roterar kring den horisontella axlen. När prismet är funnet används Automatic Target Recognition (ATR) teknik för att hitta centrum av prismet (Leica Geosystems, 2009).

I moderna totalstationer finns möjlighet att mäta reflektorlöst. Det betyder att punkten kan mätas och koordinatbestämmas utan ett prisma men då med något sämre noggrannhet än med ett prisma.

Totalstationens position kan bestämmas genom att placera instrumentet på en känd punkt. Om totalstationens position inte är känd kan den bestämmas genom att den etableras mot minst två kända punkter, som önskvärt är väl utspridda runt totalstationen och har fri sikt till instrumentet (Anders Fridén et al, 2009). Totalstationens position kan också bestämmas med GNSS (Global Navigation Satellite System Interface) men ger oftast inte lika bra noggrannhet. Totalstationen kan också etableras som fri station och mäta punkter in i ett lokalt koordinatsystem.

Till skillnad från laserskanning mäter och beräknar totalstation bara in en punkt i varje mätning, men med mycket högre noggrannhet än en laserskanner. En totalstation används således till projekt som kräver hög noggrann precision och vanliga tillämpningsområden är t ex. utsättningar av byggnader, broar och vägar.

## 2.8 GNSS

GNSS (Global Navigation Satellite System) är en metod som använder satelliter för positionsbestämning. För närvarande finns det två globalt operativa GNSS. Det amerikanska GPS (Global Positioning System) och det ryska GLONASS (GLObal Navigation Satellite System). Andra globala positionsbestämningssystem som är under utveckling är det kinesiska KOMPASS och den europeiska GALILEO. De båda systemen planeras att vara fullt brukbara år 2020 (China Military Online, 2010; Spacenews, 2011). Indien utvecklar ett regionalt positionsbestämningssystem IRNSS (Indian Regional Navigational Satellite System) och väntas vara fullt brukbar år 2014 (The Economic Times, 2010). Frankrike och Japan utvecklar också för närvarande regionala system.

Någon förklaring på hur tekniken fungerar kommer inte beskrivas i denna rapport. Kortfattat kan tekniken beskrivas som att färdtiden för signalen mäts mellan satellit och mottagare. Avståndet kan beräknas med två olika tekniker, kod- och fastmätning. I kodmätning matchas koden som skickas från satellit till mottagare och färdtiden för skickad signal kan beräknas. Kodmätning används t ex i navigation och mobiltelefoner. För mer noggrannare mätningar med geodetiska tillämpningar används fastmätning (RTK, Real Time Kinematics) som fungerar på liknande sätt som för totalstation och laserskanner (Milan Horemuz, 2011).

## 2.9 Helmertransformering

Koordinattransformationen från RTK mätningen i koordinatsystemet SWEREF99 13 30 till totalstationens koordinatsystem har gjorts genom en helmertransformering. I det här examensarbetet har en 2D helmertransformering använts. En 2D helmertransformering används när koordinatsystemen inte har samma origo, samma skala och att koordinataxlarna inte är parallella. Transformation görs således möjlig genom att beräkna två translationer  $X_0$  och  $Y_0$ , en vinkelvridning  $\alpha$  och en skalfaktor  $m$ . För att göra en 2D helmertransformering krävs minst två gemensamma punkter. Beräkning med endast två gemensamma punkter är ganska osäker och kan lätt generera till fel i transformationen. För att minimera felet används fler gemensamma punkter, ju fler desto bättre (Lantmäteriet, 2013). För att bestämma kvaliteten på transformationen kan standardosäkerheten beräknas. I kapitel 4.4 beskrivs transformationsberäkningarna.

## 3 Fallstudie

### 3.1 Utrustning

Vid inmätningen användes en totalstation (Leica TPS 1200+) och ett skannerinstrument (Leica ScanStation P20). RTK-mätningar har också utförts för om man i framtiden vill integrera punktmolnet med ett känt koordinatsystem. Vid inmätning användes en Leica Viva GNSS GS08plus mottagare. Den har en noggrannhet på  $\pm 10$  mm horisontellt och  $\pm 20$  mm vertikalt (Leica Geosystems, 2012).

#### 3.1.1 TPS 1200+

En totalstation från TPS1202 serien användes vid inmätning och bygger på fastförskjutningsteknik. Det är en enmannastation med PowerSearch (PS) och Automatic Target Recognition (ATR) teknik vilket betyder att instrumentet själv kan leta upp, hitta centrum och "auto locka" prisma. Totalstationen styrs med en fjärrkontroll, även kallad Viva. Se fig 11. Se bilaga 2 för teknisk information.



Figur 11–En Leica TPS 1200+ och tillhörande Viva (Leica Geosystems, 2009)

#### 3.1.2 Leica ScanStation P20

Leicas ScanStation P20 är en puls-baserad skanner som är förstärkt med fastförskjutningsteknik med ett maximalt mätavstånd på 120 m. Skannern kan mäta in en miljon punkter per sekund. Se bilaga 1 för teknisk information.



Figur 12- Leica ScanStation P20 (Leica Geosystems, 2013b)

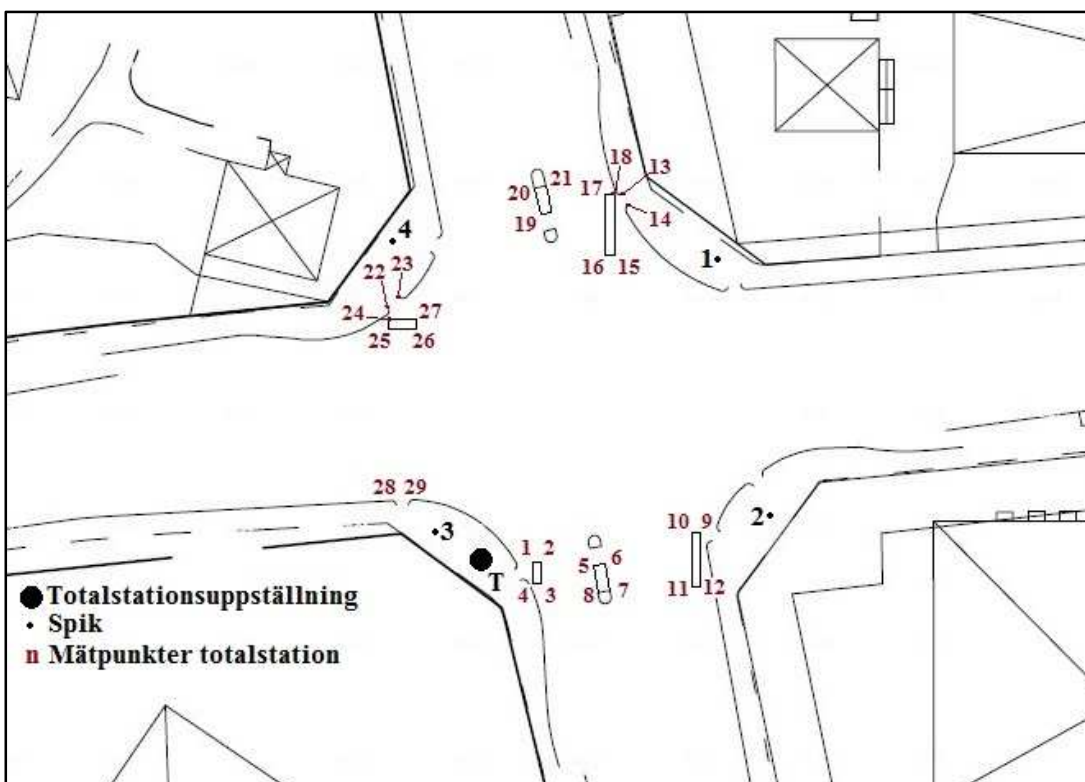
## 3.2 Testmiljö

Mätningar gjordes i korsningen Sölvegatan/Tornavägen i Lund.

### 3.2.1 Arbetsgång totalstation

Mätningarna med totalstation mättes in i ett lokalt koordinatsystem. Nollan sattes på spik 1 med riktning mot spik 2. Se fig 13. Totalt mättes 29 punkter in i korsningen utöver de fyra spikarna. Syftet med spikarna är att kunna transformera punktmolnet från laserskannern i samma koordinatsystem som totalstationen. Varje punkt mättes in fyra gånger för att kunna beräkna ett så korrekt värde som möjligt.

Punkt 1-4	Ruta övergångsställe
Punkt 5-8	Refug
Punkt 9-12	Ruta övergångsställe
Punkt 13-14	Ramp
Punkt 15-18	Ruta övergångsställe
Punkt 19-21	Refug
Punkt 22-23	Ramp
Punkt 24-27	Ruta övergångsställe
Punkt 28-29	Ramp



Figur 13 – Punkter uppmätta med totalstation

### 3.2.2 Arbetsgång 3D skanner

Totalt gjordes fyra olika skanneruppställningar. Se fig 14. Fyra måltavlor användes vid inmätningen. En måltavla på respektive spik för att göra transformation till totalstationens koordinatsystem möjlig. Alla måltavlor finskannades vid samtliga uppställningar. Leicas 6" tilt and turn måltavlor användes, se figur 10. Upplösningen för skanningen sattes till 3,1 mm med kvalitetsnivå 2 på 10 m(se bilaga 1). För att snabba på skanningsprocessen togs inga bilder på området eftersom det inte krävs för att undersöka syftet med arbetet. En skanning tog ungefär sex och en halv minut.

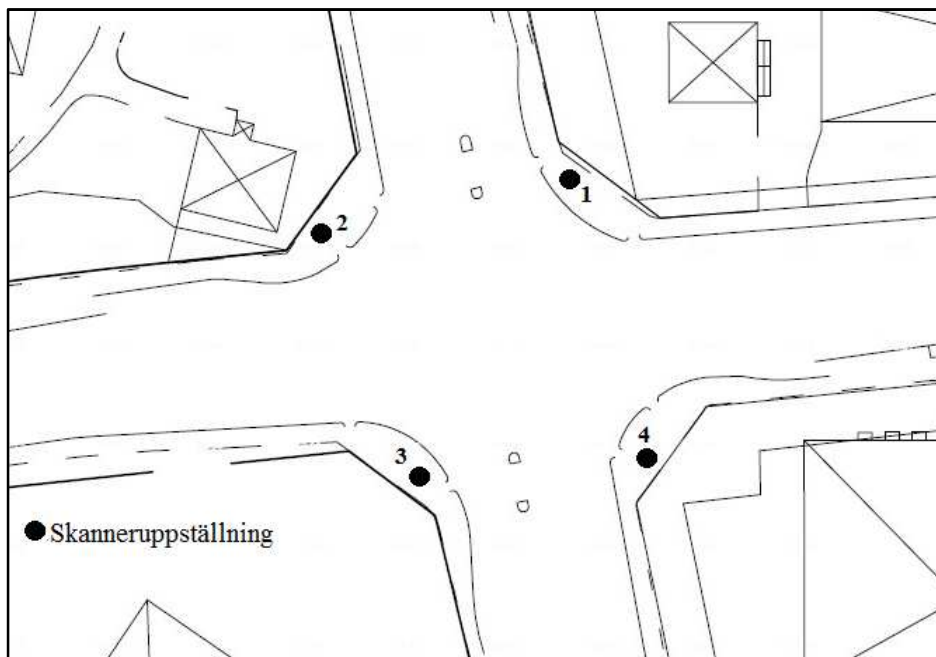
Måltavla 1 monterades på ett stativ med GPS-fäste. Höjden för måltavlans mitt var 1,714 m.

Måltavla 2 monterades på ett stativ med GPS-fäste. Höjden för måltavlans mitt var 1,692 m.

Måltavla 3 monterades på en GLS-stång. Höjden för måltavlans mitt var 1,515 m

Måltavla 4 monterades på en GLS-stång. Höjden för måltavlans mitt var 1,515 m

Då måltavlornas koordinater och höjd över marken är kända kunde datan föras in i Cyclone 8.0 och transformera koordinatsystem till samma lokala koordinatsystem som används för totalstationen.



Figur 14– Skanneruppställningar. En måltavla placerades på respektive spik

## 4 Resultat

I det här kapitlet redovisas resultaten och jämförelser av de båda mätmetoderna.

### 4.1 Totalstationsdata

Nedan visas koordinaterna för de fyra spikarna. Se fig 13 för placering av spikar.

Spik	x	y	z
1	0	0	0
2	24,281	0	-0,618
3	21,784	27,027	-0,413
4	-6,128	25,944	0,254

Tabell 2 – Inmätta spikar med totalstation

Tabell 3 visar 13 inmätta punkter som kommer att jämföras med laserskannern. De 13 punkterna som har valts att jämföras är väl spridda över korsningen. Se bilaga 3 för samtliga mätvärden från totalstationen. Mätvärde x1 från punkt 11 är inte med i beräkningarna på grund av stor avvikelse från övriga mätvärden.

Standardosäkerheten i de enskilda mätningarna och ett medeltalets standardosäkerheten har beräknats. Standardosäkerheten har beräknats med ekv. 3 och medeltalets standardosäkerhet har beräknats med ekv.5.

$$u = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (\text{ekv. 5})$$

$\sigma$	=	Standardosäkerhet
$u$	=	Medeltalets standardosäkerhet
$n$	=	Antal mätningar

Punkt	$\bar{X}$	<b>u</b>	$\bar{Y}$	<b>u</b>	$\bar{Z}$	<b>u</b>
9	23,121	0,0024	5,262	0,0015	-0,747	0,0001
10	23,082	0,0028	5,763	0,0026	-0,736	0,0002
11	27,172	0,0009	5,796	0,0006	-0,894	0,0001
12	27,197	0,0029	5,303	0,0011	-0,896	0,0002
13	-5,375	0,0024	6,145	0,0027	0,062	0,0002
14	-6,431	0,0037	6,472	0,0021	0,076	0,0005
19	-5,627	0,0008	13,835	0,0012	0,154	0,0003
20	-8,390	0,0036	13,933	0,0014	0,217	0,0001
21	-8,390	0,0034	12,872	0,0009	0,224	0,0002
24	0,226	0,0015	28,865	0,0044	-0,007	0,0002
25	0,707	0,0033	28,926	0,0015	-0,007	0,0002
26	0,807	0,0029	27,722	0,0007	-0,035	0,0004
27	0,412	0,0028	27,626	0,0010	-0,032	0,0001

Tabell 3 – Medeltalets standardosäkerhet i de 13 undersökta punkterna

Eftersom bara fyra mätningar har gjorts i varje punkt är standardosäkerheten osäkra samt att alla mätningar är på ungefär samma avstånd från totalstationen den sammanlagda standardosäkerheten i x och y (0,0051m) standardosäkerheten i z (0,0004m) beräknas. De små avvikelserna i vertikalled beror på att prismet är på samma höjd vid varje inmätning.

Den sammanlagda standardosäkerheten har beräknats genom lagen om felfortplantning av mätosäkerhet. Formeln är uttryckt i ekv. 6.

$$\sigma_{xy} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (\text{ekv. 6})$$

$$\sigma_{xy} = 0,0073\text{m}$$

$$u_{xy} = 0,0051\text{m}$$

$$\sigma_z = 0,0009\text{m}$$

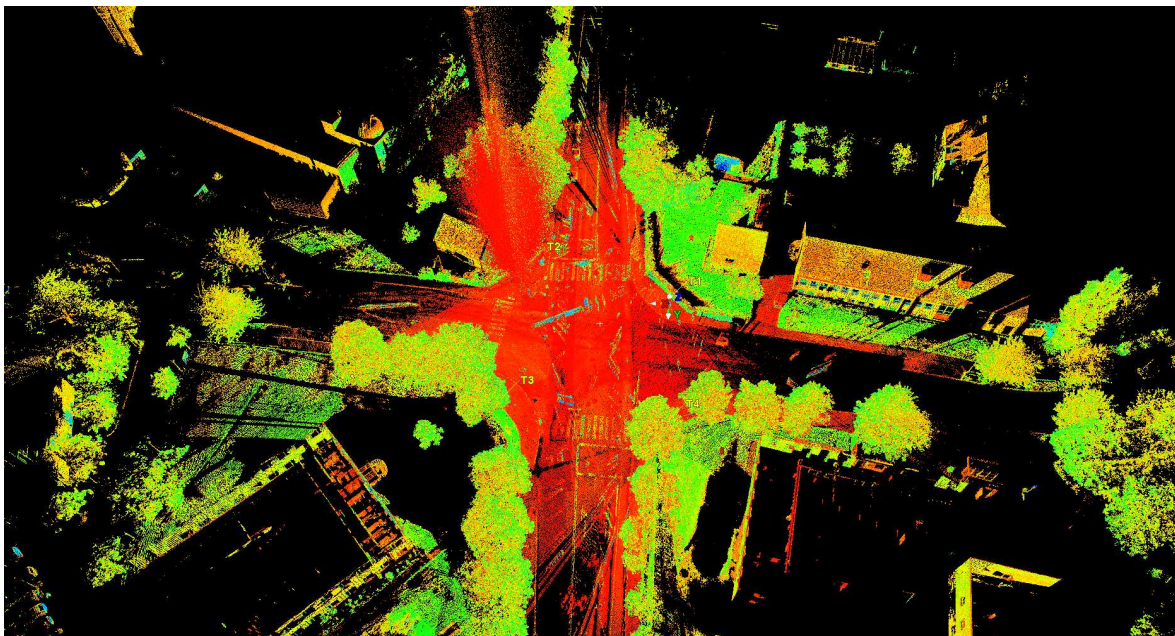
$$u_z = 0,0004\text{m}$$

Avståndet mellan de mätpunkterna med totalstation är beräknade med pythagoras sats.

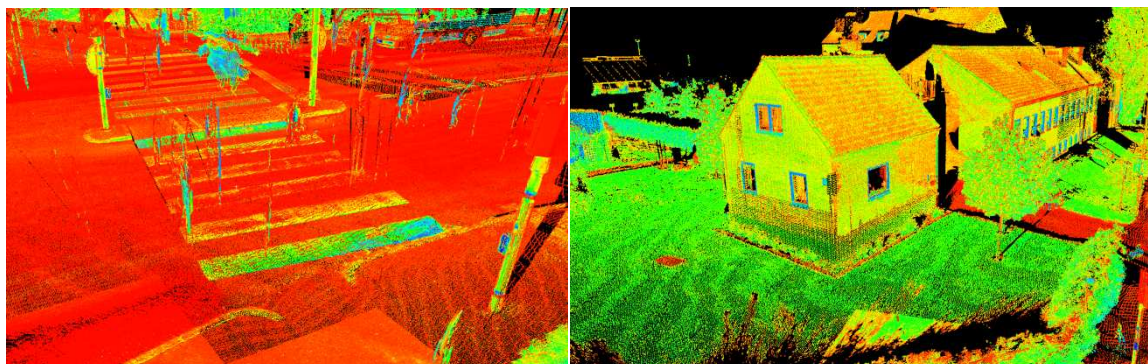
$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2 + (z_1 - z_2)^2} \quad (\text{ekv. 7})$$

## 4.2 Skanningsdata

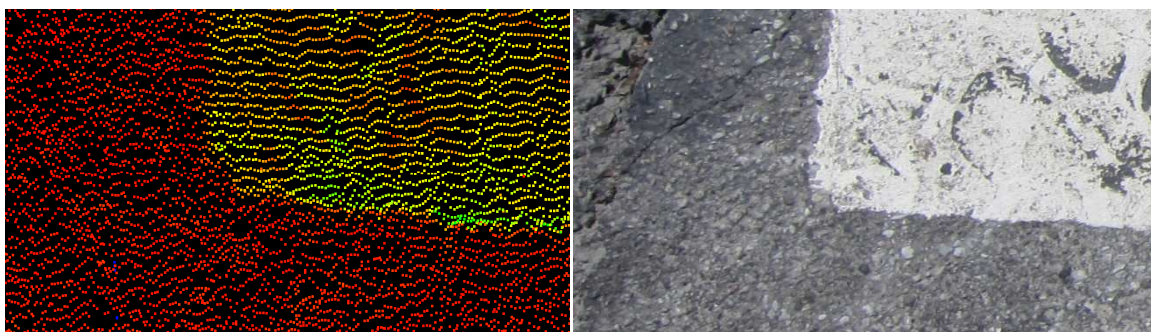
Totalt uppmättes ca 346 miljoner punkter in i det registrerade punktmolnet av de fyra skanningsuppställningarna. Figur 15 visar en översiktsbild över punktmolnet. Ingen bild togs av skanningsinstrumentet, men intensiteten i de returnerade signalerna visar tydligt materialskillnader.



Figur 15– Översiktsbild på punktmolnet i korsningen Sölvegatan/Tornavägen.



Figur 16 – Bild från punktmolnet. Till vänster ett övergångsställe. Till höger intilliggande hus och grönska



Figur 17 – Jämförelse av bild från punktmoln och riktig bild. Bilden till vänster visar hur tätt punkterna lästs in av skannern.



#### 4.2.1 Registrering och georeferering

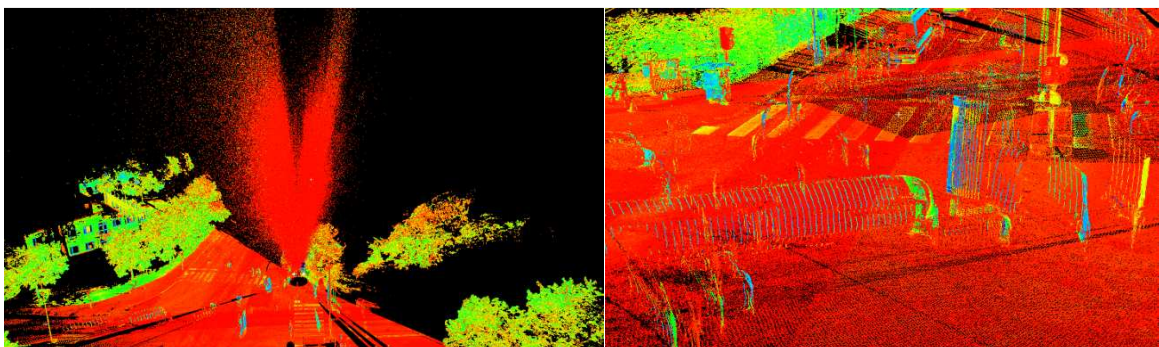
Vid registrering av de fyra punktmolnen i skannern lokala koordinatsystem blev det största felet 4 mm. Felet kan beskrivas som avvikelser från det verkliga värdet och det uppmätta värdet av måltavlans mitt. Fel kan bero på att måltavlorna har rört på sig under mätningen eller att regn eller andra förhållanden har påverkat finskanningen av måltavlorna. Vid georeferering blev det största felet 9 mm. Se fig 18. Felet kan beskrivas som avvikelserna i transformationen från skannerns koordinatsystem till totalstationens koordinatsystem. Det är ett ganska stort fel som kan bero på den mänskliga faktorn, avvikelser i uppställning av måltavlor över spikarna i förhållande till totalstationens uppmätta data.

Constraint ID	ScanWorld	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector
✘ T1	Station-002...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.003 m	(0.002, -0.002, 0.000) m
✘ T1	Station-004...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.005 m	(0.002, -0.005, 0.000) m
✘ T1	Station-001...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.004 m	(0.002, -0.003, -0.002) m
✘ T1	Station-003...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.006 m	(0.001, -0.006, 0.000) m
✘ T2	Station-003...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.006 m	(0.002, -0.006, 0.001) m
✘ T2	Station-001...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.007 m	(0.001, -0.007, 0.001) m
✘ T2	Station-004...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.009 m	(0.000, -0.008, 0.002) m
✘ T2	Station-002...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.007 m	(0.001, -0.007, -0.001) m
✘ T3	Station-002...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.006 m	(-0.004, 0.004, 0.000) m
✘ T3	Station-004...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.008 m	(-0.003, 0.007, 0.001) m
✘ T3	Station-003...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.005 m	(-0.004, 0.003, -0.002) m
✘ T3	Station-001...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.008 m	(-0.006, 0.004, 0.001) m
✘ T4	Station-002...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.005 m	(0.001, 0.005, 0.002) m
✘ T4	Station-004...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.007 m	(0.001, 0.006, -0.003) m
✘ T4	Station-003...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.009 m	(0.001, 0.009, 0.000) m
✘ T4	Station-001...	KPKT (Leveled)	Coincident Vertex - V...	On	1.0000	0.007 m	(0.003, 0.006, 0.000) m

Figur 18- Bild över fel i georefereringen. Största felet är 9 mm.

#### 4.2.2 Scan noise (Brus)

Under skanningen var det inte helt optimala förhållanden. Vid uppställning två och tre föll det en hel del regn vilket resulterade i mycket brus, se fig 19. Här ser vi tydligt hur skannern registrerar regndropparna i stället för den verkliga ytan som man vill mäta. Man kan konstatera att skanning vid regn ger dålig mätdata. Vid mätningen var det också väldigt mycket trafik. Den högra bilden i figur 19 visar brus som uppkommit i samband med att skannern har registrerat punkter på förbipasserande bilar och fotgängare.



Figur 19- Bild på brus i punktmolnet. Till vänster, brus från regn i uppställning två. Bilden till höger visar punkter som har registrerats på förbipasserande bilar/fotgängare

### 4.2.3 Koordinater

Koordinater i punktmolnet för de 13 undersökta punkterna. skillnaden och antal standardosäkerheter mellan skanner- och totalstationsmätningarna är beräknade. Se tabell 4,5 och 6. Laserskannern ligger inom totalstationens intervall i alla planbestämda punkter. I de höjdbestämda punkterna är antalet standardosäkerheter större vilket beror på att standardosäkerheten är små i samtliga mätningar.

Punkt	$\bar{X}$ totalst	Xskanner	$\Delta t-s$	$\Delta(t-s)/\bar{u}_{xy}$
9	23,121	23,120	0,0007	0,1365
10	23,082	23,083	0,0011	0,2146
11	27,172	27,173	0,0006	0,1170
12	27,197	27,198	0,0006	0,1170
13	-5,375	-5,370	0,0050	0,9753
14	-6,431	-6,429	0,0018	0,3511
19	-5,627	-5,625	0,0016	0,3121
20	-8,390	-8,391	0,0011	0,2146
21	-8,390	-8,391	0,0012	0,2341
24	0,226	0,226	0,0001	0,0195
25	0,707	0,707	0,0005	0,0975
26	0,807	0,809	0,0022	0,4291
27	0,412	0,414	0,0020	0,3901

Tabell 4 – Jämförelse X-koordinat mellan totalstation och laserskanner

Punkt	$\bar{Y}$ totalst	Yskanner	$\Delta t-s$	$\Delta(t-s)/\bar{u}_{xy}$
9	5,262	5,263	0,0008	0,1560
10	5,763	5,762	0,0008	0,1560
11	5,796	5,797	0,0012	0,2341
12	5,303	5,302	0,0009	0,1755
13	6,145	6,146	0,0013	0,2536
14	6,472	6,473	0,0012	0,2341
19	13,835	13,84	0,0048	0,9363
20	13,933	13,933	0,0002	0,0390
21	12,872	12,873	0,0015	0,2926
24	28,865	28,868	0,0030	0,5852
25	28,926	28,929	0,0029	0,5657
26	27,722	27,723	0,0011	0,2146
27	27,626	27,629	0,0026	0,5071

Tabell 5 – Jämförelse Y-koordinat mellan totalstation och laserskanner

Punkt	$\bar{Z}_t$	Zs	$\Delta t-s$	$\Delta(t-s)/\bar{u}_z$
9	-0,747	-0,739	0,0082	19,2899
10	-0,736	-0,735	0,0008	1,8819
11	-0,894	-0,893	0,0006	1,4115
12	-0,896	-0,89	0,0063	14,8203
13	0,062	0,068	0,0057	13,4088
14	0,076	0,071	0,0046	10,8212
19	0,154	0,151	0,0028	6,5868
20	0,217	0,218	0,0011	2,5877
21	0,224	0,224	0,0001	0,2352
24	-0,007	-0,007	0,0004	0,9410
25	-0,007	-0,006	0,0008	1,8819
26	-0,035	-0,033	0,0024	5,6458
27	-0,032	-0,032	0,0003	0,7057

Tabell 6 – Jämförelse Z-koordinat mellan totalstation och laserskanner

Mätningar från RTK har också valts att jämföras med totalstationen i fyra gemensamma punkter. För att göra jämförelsen möjlig har en helmertransformering gjorts för de fyra spikarna. Mer om detta i kapitel 4.4. Antal standardosäkerheter mellan RTK och totalstationsmätningarna är beräknade.

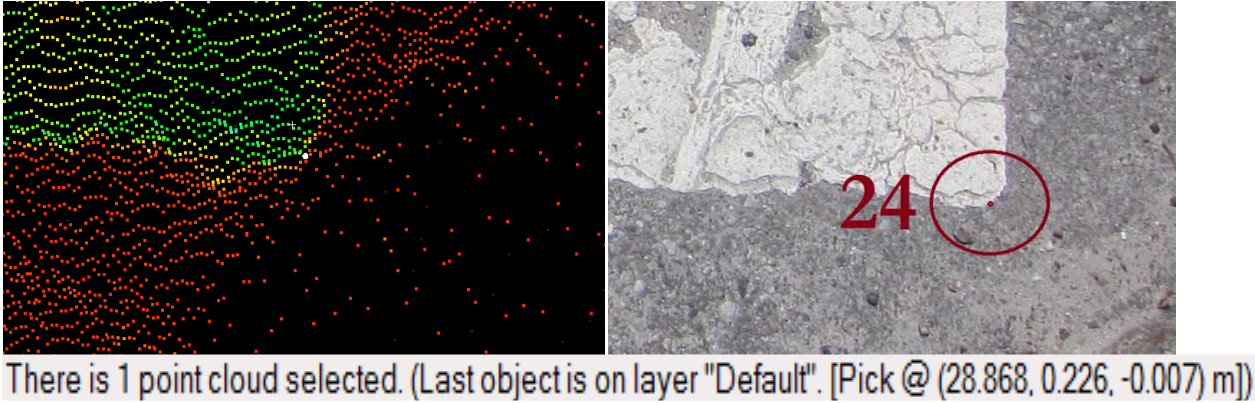
Punkt	$\bar{X}_t$	$X_{rtk}$	$\Delta t-rtk$	$\Delta(t-rtk)/\bar{u}_{xy}$
1	23,057	23,041	0,0161	3,149
9	23,121	23,147	0,0258	5,040
15	-4,736	-4,737	0,0014	0,275
27	0,412	0,391	0,0211	4,115

Tabell 7 - J jämförelse X-koordinat mellan totalstation och RTK

Punkt	$\bar{Y}_t$	$Y_{rtk}$	$\Delta t-rtk$	$\Delta(t-rtk)/\bar{u}_{xy}$
1	20,950	20,947	0,0033	0,644
9	5,262	5,261	0,0012	0,233
15	7,201	7,199	0,0015	0,299
27	27,626	27,667	0,0409	7,970

Tabell 8 - Jämförelse Y-koordinat mellan totalstation och RTK

Koordinater i punktmolnet har hittats genom att placera den vita markören, se fig 20, på samma ställe där prismet placerades för inmätning med totalstation. Se bilaga 4 för tabell med jämförelse mellan totalstation och 3D skanningsdata.



Figur 20 – Bilden till vänster; vald punkt i punktmolnet (vita pricken, punkt 24). Koordinaterna för punkten visas (y,x,z). Bilden till höger; punkt 24 inmätt med totalstation

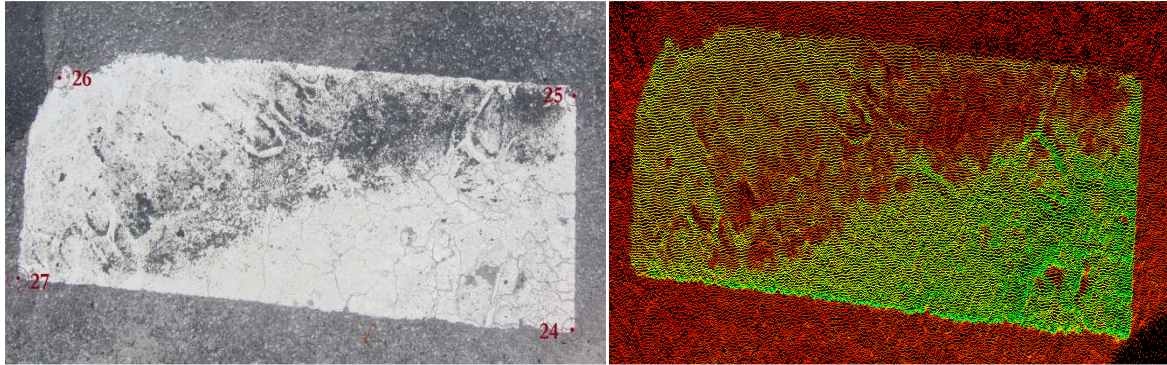
Koordinaterna från totalstation och laserskannern redovisas nedan.

Punkt 24	$\bar{X}$	$\bar{u}_t$	Skanner
X	0,226	0,0051	0,226
Y	28,865	0,0051	28,868
Z	-0,007	0,0004	-0,007

Samma sak har gjort för alla de 13 utvalda punkterna. Avstånd mellan punkterna med totalstation beräknas med Pythagoras sats(ekv. 7). Vid beräkning har den medeltalets sammanlagda standardosäkerhet ( $\bar{u}$ ) använts. Avståndet i punktmolnet beräknas med Cyclones inbyggda funktion för avståndsberäkning. Avstånden mellan olika punkter uppmätta med totalstation och laserskanner jämförs i 4.3.

### 4.3 Avståndsjämförelse mellan totalstation och laserskanner

Avståndsjämförelser har gjorts på ett antal objekt i korsningen. Avståndsdifferensen ( $d\Delta$ ) mellan det ”verkliga värdet” (totalstationsmätningarna) och laserskannern har beräknats.



Figur 21 – Punkt 24-27

d26-27 <sub>Totalstation</sub>	0,4062m
d26-27 <sub>Skanner</sub>	0,4061m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0001m	

d25-24 <sub>Totalstation</sub>	0,4845m
d25-24 <sub>Skanner</sub>	0,4817m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0028m	

d27-25 <sub>Totalstation</sub>	1,3329m
d27-25 <sub>Skanner</sub>	1,3228m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0101m	

d26-24 <sub>Totalstation</sub>	1,2825m
d26-24 <sub>Skanner</sub>	1,2851m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0026m	



**Figur 22 – Punkt 19-21**

d19-21 <sub>Totalstation</sub>	2,9273m
d19-21 <sub>Skanner</sub>	2,9311m
<hr/>	
dΔ = 0,0038m	

d19-20 <sub>Totalstation</sub>	2,7658m
d19-20 <sub>Skanner</sub>	2,7684m
<hr/>	
dΔ = 0,0026m	

d20-21 <sub>Totalstation</sub>	1,0617m
d20-21 <sub>Skanner</sub>	1,0600m
<hr/>	
dΔ = 0,0017m	



**Figur 23 - Punkt 13-14**

d13-14 <sub>Totalstation</sub>	1,1054m
d13-14 <sub>Skanner</sub>	1,1083m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0030	



**Figur 24 – Punkt 9-12**

d9-11 <sub>Totalstation</sub>	4,0893m
d9-11 <sub>Skanner</sub>	4,0909m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0016m	

d10-12 <sub>Totalstation</sub>	4,1442m
d10-12 <sub>Skanner</sub>	4,1435m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0007m	

d12-9 <sub>Totalstation</sub>	4,0796m
d12-9 <sub>Skanner</sub>	4,0810m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0014m	

d11-10 <sub>Totalstation</sub>	4,0937m
d11-10 <sub>Skanner</sub>	4,0932m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0005m	

En längre avståndsmätning har också gjort mellan punkt 9 och 24.

d9-24 <sub>Totalstation</sub>	32,8909m
d9-24 <sub>Skanner</sub>	32,8917m
<hr/>	
d $\Delta$ = 0,0008m	

#### 4.4 RTK-mätning

En 2D helmertransformering har gjorts på RTK-mätningarna till samma koordinatsystem som totalstationen. De fyra spikarna är inmätta med RTK i koordinatsystemet SWEREF99 13 30. Följande punkter har mätts in på spikarna med RTK.

SWEREF99 13 30			Totalstation		
Spik	x	y	Spik	X	Y
3	6176458,220	131488,931	3	21,784	27,027
4	6176485,824	131484,768	4	-6,128	25,944
1	6176484,686	131511,368	1	0,000	0,000
2	6176460,862	131515,944	2	24,281	0,000

Tabell 9 – SWEREF99 koordinater som ska transformeras till totalstationens koordinatsystem

Transformationen beräknas genom följande formler;

$$X_0 = \bar{X} - (a * \bar{x}) + (b * \bar{y})$$

$$Y_0 = \bar{Y} - (a * \bar{y}) - (b * \bar{x})$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(X_i - \bar{X})) + \sum_{i=1}^n ((y_i - \bar{y})(Y_i - \bar{Y}))}{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})) + \sum_{i=1}^n ((y_i - \bar{y})(y_i - \bar{y}))}$$

$$a = -0,982817671$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(Y_i - \bar{Y})) - \sum_{i=1}^n ((y_i - \bar{y})(X_i - \bar{X}))}{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x})(x_i - \bar{x})) + \sum_{i=1}^n ((y_i - \bar{y})(y_i - \bar{y}))}$$

$$b = -0,18825$$

$$X_0 = 6045601,905$$

$$Y_0 = 1291945,585$$

Skalfaktorn, m och vridningsvinkeln,  $\alpha$  beräknas genom;

$$m = \sqrt{a^2 * b^2}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{b}{a}$$



$$m = 1,00068319$$

$$\alpha = 0,18924428 \text{ rad} = 12,04766505 \text{ gon}$$

Translationen beräknas genom;

$$(X) = X_0 + (a * x) - (b * y)$$

$$(Y) = Y_0 + (b * x) + (a * y)$$

Resultatet av transformationen redovisas i tabellen nedan.

Spik	Beräknat		Totalstation	
	(X)	(Y)	X	Y
3	21,787	27,039	21,784	27,027
4	-6,126	25,931	-6,128	25,944
1	0,000	0,005	0,000	0,000
2	24,276	-0,007	24,281	0,000

Tabell 10 – Resultat av transformationen från SWEREF99 till totalstation

Standardosäkerheten i translationen har beräknats genom ekv 8.

$$\sigma_k = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n}} \quad (\text{ekv. 8})$$

$$\sigma_x = 0,003\text{m}$$

$$\sigma_y = 0,009\text{m}$$

$$\sigma_{xy} = 0,009\text{m}$$

Fyra gemensamma punkter (1,9,15,27) har jämförts med totalstationsmätningen.

Punkt	x	y
1	6176458,135	131495,146
9	6176460,980	131510,561
15	6176487,983	131503,417
27	6176479,102	131484,292

Translationen gav följande resultat;

<b>Punkt</b>	$\bar{X}_t$	$X_{rtk}$	$\Delta t\text{-rtk}$	$\Delta(t\text{-rtk})/\bar{u}_{xy}$
<b>1</b>	23,057	23,041	0,0161	3,149
<b>9</b>	23,121	23,147	0,0258	5,040
<b>15</b>	-4,736	-4,737	0,0014	0,275
<b>27</b>	0,412	0,391	0,0211	4,115

<b>Punkt</b>	$\bar{Y}_t$	$Y_{rtk}$	$\Delta t\text{-rtk}$	$\Delta(t\text{-rtk})/\bar{u}_{xy}$
<b>1</b>	20,950	20,947	0,0033	0,644
<b>9</b>	5,262	5,261	0,0012	0,233
<b>15</b>	7,201	7,199	0,0015	0,299
<b>27</b>	27,626	27,667	0,0409	7,970

## 5 Slutsats och diskussion

Vad gäller resultatet från mätningarna i denna studien kan man dra en försiktig slutsats att laserskanner kan ersätta totalstationsmätningar för den typen av mätningar som utförts här. Men det är för tidigt och dra allmängiltiga slutsatser efter bara en mätning. Det krävs fler mätningar och jämförelse mellan de olika metoderna.

Fältmätningarna genomfördes under ganska realistiska förhållanden i en trafikerad gatukorsning. Måltavlorna ett och två var placerade på stativ, vilket hade varit att föredra även för måltavlorna tre och fyra vilket tyvärr inte var praktiskt möjligt.

För att kunna jämföra mätdata mer rättvist hade det mest ideala varit att även mäta under bättre väderförhållanden och speciellt under samma dag då mätmetoderna mäter under samma förutsättningar.

Eftersom endast 29 punkter mättes in med totalstationen var den mer tidseffektiv än laserskanning. Men ju fler punkter som behöver mätas in, desto mer fördelaktig är laserskanning. Att ha i åtanke är att laserskanning kräver mycket bearbetning efter fältarbete men är betydligt säkrare då man inte måste ut i trafiken för att göra mätningar.

Enligt resultatet är laserskannern noggrannare än RTK-mätningarna. Resultatet är något osäkert då RTK-mottagare inte har kunnat placeras på exakt samma punkt, eftersom mätningarna har utförts vid olika tillfällen. Övergångsställena i korsningen är slitna vilket även gör det svårt att träffa samma punkt. Området är även skymt av stora träd vilket försämrar noggrannheten i RTK-mätningarna, vilket inte är ett helt ovanligt problem.

För vidare analys av de olika mätmetoderna bör man t ex göra jämförelser i mätningar på längre avstånd eller jämförelser på områden där mätningarna inte påverkas av yttre faktorer så som trafik, t ex en lågtrafikerad parkeringsplats. Jämförelse mellan puls- och fasbaserad mätning skulle också kunna vara intressant.

## 6 Referenser

Anders Fridén, Ann-Katrin Persson (2009) Realtidsuppdaterad etablering av fri station – ett fälttest med radioutsänd projektanpassad nätverks-RTK. Gävle

Constantinos Antoniou, Maria Tsakiri, George Yannis (2012). Road safety improvements in junctions using 3D Laser Scanning. National Technical University of Athens

Ergün, B (2011). Terrestrial Laser Scanning Data Integration in Surveying Engineering. Laser Scanning, Theory and Applications. ISBN: 978-953-307-205-0.

Geoff Jacobs (2007). 3D Scanning. User Feedback on Scanners with Tilt Compensation.

Milan Horemuz (2011). Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik. I Lantmäteriet m.fl. Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik.

Reshetyuk, Y (2009). Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning (ISBN 978-91-85539-34-5)

Swahn, H (2008). Noggrannhetskontroll av data och 3D-modell från pulsskanner och fasmätningsskanner. Stockholm: Kungliga Tekniska Högskolan.

Van Ganechten, B (2008). Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning. Training material based on practical applications.

Van Goor, B (2011). Change detection and deformation analysis using Terrestrial Laser Scanning. Case study of the metro tunnel at Rotterdam central station.

Zogg, HM (2008). Investigations of High Precision Terrestrial Laser Scanning with Emphasis on the Development of a Robust Close-Range 3D-Laser Scanning System

## **Artiklar**

China Military Online 2010-05-20.

Beidou satellite navigation system to cover whole world in 2020

[http://eng.chinamil.com.cn/news-channels/china-military-news/2010-05/20/content\\_4222569.htm](http://eng.chinamil.com.cn/news-channels/china-military-news/2010-05/20/content_4222569.htm)

The Economic Times 2010-04-12

April 15 launch to give India its own GPS

[http://articles.economictimes.indiatimes.com/2010-04-12/news/28422120\\_1\\_russian-glonass-gagan-three-stage-rocket](http://articles.economictimes.indiatimes.com/2010-04-12/news/28422120_1_russian-glonass-gagan-three-stage-rocket)

Space news 2011-01-20.

European Commission Report Shines Harsh Light on Galileo

<http://www.spacenews.com/article/galileo-assessment-pulls-no-punches#.Ua9yTEDwkWc>

## **Internetkällor**

FARO (2009) FARO Photon 80/20

<http://archive.cyark.org/temp/FAROPhoton8020datasheet.pdf> - Nerladdad 2013-05-13

Lantmäteriet (2013) Helmerttransformation 2-D

<http://www.lantmateriet.se/Kartor-och-geografisk-information/GPS-och-geodetisk-matning/Om-geodesi/Transformationer/Transformationsmetoder/Helmert-2-D/>  
Nerladdad 2013-07-10

Leica Geosystems (2009) Leica TPS1200+ Series

High performance Total Station

[http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures/Leica\\_TPS1200+\\_brochure\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/tps/tps1200/brochures/Leica_TPS1200+_brochure_en.pdf) – Nerladdad 2013-06-20

Leica Geosystems (2011) HDS7000 Laser Scanner

Ultra-High Speed with Extended Range

[http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS7000/brochures-datasheet/HDS7000\\_DAT\\_en.pdf](http://hds.leica-geosystems.com/downloads123/hds/hds/HDS7000/brochures-datasheet/HDS7000_DAT_en.pdf)  
Nerladdad 2013-04-13

Leica Geosystems (2012) Leica Viva GNSS GS08plus receiver Datasheet  
[http://www.leica-geosystems.se/downloads123/zz/gpsgis/GS08plus/brochures-datasheet/Leica%20Viva%20GS08plus%20DS\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.se/downloads123/zz/gpsgis/GS08plus/brochures-datasheet/Leica%20Viva%20GS08plus%20DS_en.pdf)  
Nerladdad 2013-07-11

Leica Geosystems (2013a) Targets for the Leica ScanStation C10 and HDS6200  
[http://hds.leica-geosystems.com/en/Targets\\_19143.htm](http://hds.leica-geosystems.com/en/Targets_19143.htm)  
Nerladdad: 2013-06-09

Leica Geosystems (2013b) Leica ScanStation P20  
Industry's Best Performing Ultra-High Speed Laser Scanner  
[http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-P20\\_101869.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-ScanStation-P20_101869.htm)  
Nerladdad 2013-06-20

Leica Geosystems (2013c) MS50 MultiStation – The new dimension in measuring technology  
[http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Nova-MS50\\_103592.htm](http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Nova-MS50_103592.htm)  
Nerladdad 2013-06-20

LU (2011) Mätosäkerhet  
[http://www.nateko.lu.se/courses/exta50/F%C3%B6rel%C3%A4sningar/111110\\_Matosakerhet.pdf](http://www.nateko.lu.se/courses/exta50/F%C3%B6rel%C3%A4sningar/111110_Matosakerhet.pdf)  
Nerladdad 2013-06-30

## **7 Innehållsförteckning bilagor**

Bilaga 1: Leica ScanStation P20 Produktspecifikationer

Bilaga 2: Leica TPS1200+ Produktspecifikationer

Bilaga 3: Mätvärden totalstation

## 7.1 Bilaga 1

# Leica ScanStation P20

## Produktspecifikationer

Allmänt	
Instrumenttyp	Kompakt, ultrasnabb pulslaser med geodetisk noggrannhet, räckvidd och synfält, med integrerad kamera och laserfod
Användarinterface	Inbyggd kontroll, notebook eller tablet-PC, PDA
Datalagring	Integrerad
Kamera	Självjusterande, integrerad högupplöst digitalkamera med zoom video

Systemfunktionalitet	
<b>Noggrannhet vid singelmätning</b>	
3D Positionsnoggrannhet	3 mm vid 50 m; 6 mm vid 100 m
Linearitetsfel	≤ 1 mm
Vinkelnoggrannhet	8" horisontal; 8" vertikal
<b>Noggrannhet mätpunkt*</b>	2 mm standardavvikelse upp till 50 m
<b>Dubbelaxlig lodkompensator</b>	Valbar på/av, upplösning 1", dynamiskt område +/- 5', noggrannhet 1.5"

Laserscanning och Bildsystem					
Typ	Ultrasnabb time-of-flight förstärkt med Waveform Digitising (WFD) teknologi				
Våglängd	808 nm, osynlig/658nm, synlig				
Laserklass	2, i enlighet med IEC 60825-1				
Spridning stråle	0.2mrad				
Stråldiameter i optikfönstret	≤ 2,8 mm				
Räckvidd	Upp till 120 m, 18% reflektivitet, minsta avstånd 0.4 m				
Scanninghastighet	Upp till 1 000 000 punkter/sek				
Avståndsbrus**	Avstånd Svart(10%) Grå (28%) Vit (100%)				
	10 m	0.8 mm rms	0.5 mm rms	0.4 mm rms	
	25 m	1.0 mm rms	0.6 mm rms	0.5 mm rms	
	50 m	2.8 mm rms	1.1 mm rms	0.7 mm rms	
	100 m	9.0 mm rms	4.3 mm rms	1.5 mm rms	
Scanningtid och upplösning (tt:mm:ss)	7 förinställda punktavstånd (mm vid 10 m)				
	Avstånd	Kvalitetsnivå			
	mm	1	2	3	4
	50	00:20	00:20	00:28	----
	25	00:33	00:33	00:53	01:43
	12.5	00:58	01:44	03:24	06:46
	6.3	01:49	03:25	06:46	13:30
	3.1	03:30	06:47	13:30	26:59
	1.6	13:33	27:04	54:07	----
	0.8	54:07	1:48:13	----	----



<b>Synfält</b>	
Horisontellt	360°
Vertikalt	270°
Inriktning/Siktning	Parallaxfri, integrerad zoom video
<b>Scanningoptik</b>	Vertikalt roterande spegel på horisontellt roterande bas Upp till 50 Hz med internbatteri Upp till 100 Hz med extern strömkälla
<b>Datalagringskapacitet</b>	256 GB inbyggd solid-state (SSD) enhet eller extern USB-enhet
<b>Kommunikation</b>	Gigabit Ethernet eller integrerat trådlöst LAN
<b>Bildinstrument</b>	5 megapixels per varje 17° x 17° färgbild; streaming video med zoom; autojustering till omgivande ljus
<b>LCD-display</b>	Pekskärm med pennstift, grafisk display fullfärg VGA, 640 x 480 pixlar
<b>Horisonteringsindikator</b>	Extern doslibell, elektronisk libell i mjukvaran
<b>Data IO</b>	Ethernet, WLAN eller USB 2.0 enhet
<b>Laserlod:</b>	Laserklass 1, IEC 60825-1 Centreringsnoggrannhet: 1.5 mm vid 1.5 m Diameter laserpunkt: 2.5 mm vid 1.5 m Valbart PÅ/AV

<b>Elektronisk</b>	
<b>Strömförsörjning</b>	24 V DC, 100 – 240 V AC
<b>Strömförbrukning</b>	40 W typiskt
<b>Batterityp</b>	Internt Li-Ion; Extern: Li-Ion
<b>LED Ström</b>	Internt 2, Extern: 1 samtidig användning, utbyttbar under drift
<b>Varaktighet</b>	Intern > 7 tim med 2 batterier, extern > 8.5 tim i rumstemperatur

<b>Miljöspecifikationer</b>	
<b>Driftstemperatur</b>	-20° C till +50° C
<b>Minne LED</b>	-40° C till +70° C
<b>Belysning</b>	Fullt operationell mellan fullt solljus och komplett mörker
<b>Luftfuktighet</b>	Icke kondenserande
<b>Damm/fukt</b>	IP54 (IEC 60529)

<b>Fysiska specifikationer</b>	
<b>Scanner</b>	
Dimensioner (D x B x H)	238 mm x 358 mm x 395 mm
Vikt	11.9 kg, utan batterier
<b>Internbatteri</b>	
Dimensions (D x B x H)	40 mm x 72 mm x 77 mm
Vikt	0.4 kg
<b>Externbatteri</b>	
Dimensioner (D x B x H)	95 mm x 248 mm x 60 mm
Vikt	1.9 kg
<b>AC Strömförsörjning</b>	
Dimensioner (D x B x H)	170 mm x 85 mm x 42.5 mm
Vikt	0.86 kg
<b>Fäste</b>	Upprätt eller upp och ned

## Standardtillbehör som ingår

Scanner transportlåda  
Trefot, Leica Professional Series  
4 x Internbatterier  
Batteriladdare / AC strömkabel, Biladapter, Daisy chain kabel  
Datakabel  
Höjdmätare och distanshållare för höjdmätare  
1 års CCP Bas supportkontract

## Ytterligare tillbehör och tjänster

Sv/v mättavlor och tillbehör  
Omfattning av Customer Care Products (CCPs) som innehåller support, hård och mjukvaru-underhåll samt förlängd garanti.  
Externt batteri med laddstation, AC strömförsörjning and strömkabel  
Professional laddare för internbatteri  
AC strömförsörjning för scanner  
Stativ och stativstjerna  
Adapter för montering upp och ned

## Tillval kontroll

Fullfärgs pekskärm för scanning på instrumentet  
Fjärrstyrning Leica CS10/CS15 kontrollenhet eller annan utrustning för fjärrskrivbord som t.ex. iPad, iPhone eller andra SmartPhones.

## Beställningsinformation

Kontakta din lokala Leica Geosystems representant.

Alla specifikationer är icke bindande kan komma att ändras utan särskild information.  
Alla specifikationer av noggrannhet är beräknade enligt en sigma om inget annat anges.  
\* Algoritmerna anpassade för plana Sv/v mättavlor  
\*\* Detaljerad förklaring vid förfrågan

Scanner Laserklass 2 i enlighet med IEC 60825-1 resp. EN 60825-1  
Laserlod: Laserklass 2 enligt IEC 60825-1 resp. EN 60825-1

iPhone och iPad är varumärken från Apple Inc.

Illustrationer, beskrivningar och tekniska data är inte bindande. Alla rättigheter förbehålles.  
Tryckt i Schweiz - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Schweiz, 2013  
795788sv - V.13 - galledia

Leica Geosystems AG  
Heerbrugg, Schweiz  
[www.leica-geosystems.com/hds](http://www.leica-geosystems.com/hds)



- when it has to be right

**Leica**  
Geosystems

## 7.2 Bilaga 2

# Leica TPS1200+

## Technical specifications and system features

### Models and options

	TC	TCR	TCRM	TCA	TCP	TCRA	TCRP
Angle measurement	•	•	•	•	•	•	•
Distance measurement (IR-Mode)	•	•	•	•	•	•	•
PinPoint reflectorless dist. measur. (RL-Mode)		•	•			•	•
Motorized			•	•	•	•	•
Automatic Target Recognition (ATR)				•	•	•	•
PowerSearch (PS)					•		•
Guide Light (EGL)	◦	◦	◦	•	•	•	•
Remote Control Unit / RadioHandle	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦
GUS74 Laser Guide				◦		◦	
SmartStation (ATX1230+ GNSS)	◦	◦	◦	◦	◦	◦	◦

• = Standard    ◦ = Optional

### Angle measurement

		Type 1201+	Type 1202+	Type 1203+	Type 1205+
Accuracy (std.dev., ISO 17123-3)	Hz, V	1" (0.3 mgon)	2" (0.6 mgon)	3" (1 mgon)	5" (1.5 mgon)
	Display resolution:	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)	0.1" (0.1 mgon)
Method	absolute, continuous, diametrical				
Compensator	Working range:	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)	4' (0.07 gon)
	Setting accuracy:	0.5" (0.2 mgon)	0.5" (0.2 mgon)	1.0" (0.3 mgon)	1.5" (0.5 mgon)
	Method:	centralized dual axis compensator			

### Distance measurement (IR-Mode)

Range (average atmospheric conditions)	Round prism (GPR1):	3000 m
	360° reflector (GR24):	1500 m
	Mini prism (GMP101):	1200 m
	Reflective tape (60 mm x 60mm)	250 m
	Shortest measurable distance:	1.5 m
Accuracy / Measurement time (standard deviation, ISO 17123-4)	Standard mode:	1 mm + 1.5 ppm / typ. 2.4 s
	Fast mode:	3 mm + 1.5 ppm / typ. 0.8 s
	Tracking mode:	3 mm + 1.5 ppm / typ. <0.15 s
	Display resolution:	0.1 mm
Method	Special phase shift analyzer (coaxial, visible red laser)	

### PinPoint R400/R1000 reflectorless distance measurement (RL-Mode)

Range (average atmospheric conditions)	PinPoint R400:	400 m / 200 m (Kodak Gray Card: 90 % reflective / 18 % reflective)
	PinPoint R1000:	1000 m / 500 m (Kodak Gray Card: 90 % reflective / 18 % reflective)
	Shortest measurable distance:	1.5 m
	Long Range to round prism (GPR1):	1000 m - 7500 m
Accuracy / Measurement time (standard deviation, ISO 17123-4) (object in shade, sky overcast)	Reflectorless < 500 m:	2 mm + 2 ppm / typ. 3 - 6 s, max. 12 s
	Reflectorless > 500 m:	4 mm + 2 ppm / typ. 3 - 6 s, max. 12 s
	Long Range:	5 mm + 2 ppm / typ. 2.5 s, max. 12 s
Laser dot size	At 30 m:	approx. 7 mm x 10 mm
	At 50 m:	approx. 8 mm x 20 mm
Method	PinPoint R400 / R1000: System analyzer (coaxial, visible red laser)	

### Motorized

Maximum speed	Rotating speed:	45° / s
---------------	-----------------	---------

**Automatic Target Recognition (ATR)**

<b>Range ATR mode / LOCK mode</b> (average atmospheric conditions)	Round prism (GPR1):	1000 m / 800 m
	360° reflector (GR24, GRZ122):	600 m / 500 m
	Mini prism (GMP101):	500 m / 400 m
	Reflective tape (60 mm x 60 mm):	55 m (175 ft)
	Shortest measurable distance:	1.5 m / 5 m
<b>Accuracy / Measure time</b> (std. dev. ISO 17123-3)	ATR angle accuracy Hz, V:	1" (0.3 mgon)
	Base positioning accuracy:	± 1mm
	Measure time for GPR1:	3 - 4 s
<b>Maximum speed (LOCK mode)</b>	Tangential (standard mode):	5 m / s at 20 m, 25 m / s at 100 m
	Radial (tracking mode):	4 m / s
<b>Method</b>	Digital image processing (laser beam)	

**PowerSearch (PS)**

<b>Range</b> (average atmospheric conditions)	Round prism (GPR1):	300 m
	360° reflector (GR24, GRZ122):	300 m (perfectly aligned to instrument)
	Mini prism (GMP101):	100 m
	Shortest distance:	5 m
<b>Search time</b>	Typical search time:	< 10 s
<b>Maximum speed</b>	Rotating speed:	45° / s
<b>Method</b>	Digital signal processing (rotating laser fan)	

**Guide Light (EGL)**

<b>Range</b> (average atmospheric conditions)	Working range:	5 m - 150 m
<b>Accuracy</b>	Positioning accuracy:	5 cm at 100 m

**General data**

<b>Telescope</b>		<b>Laser plummet</b>	
Magnification:	30 x	Centering accuracy:	1.5 mm at 1.5 m
Free objective aperture:	40 mm	Laser dot diameter:	2.5 mm at 1.5 m
Field of view:	1°30' (1.66 gon) / 2.7 m at 100 m	<b>Endless drives</b>	
Focusing range:	1.7 m to infinity	Number of drives:	1 horizontal / 1 vertical
<b>Keyboard and Display</b>		<b>Battery (GEB221)</b>	
Display:	1/4 VGA (320*240 pixels), graphic LCD, colour, illumination, touch screen	Type:	Lithium-Ion
Keyboard:	34 keys (12 function keys, 12 alphanumeric keys), illumination	Voltage:	7.4 V
Angle display:	360° °', 360° decimal, 400 gon, 6400 mil, V%	Capacity:	4.4 Ah
Distance display:	meter, int. ft, int. ft/inch, US ft, US ft/inch	Operating time:	typ. 5 - 8 h
Position:	face I standard / face II optional	<b>Weights</b>	
<b>Data storage</b>		Total station:	4.8 - 5.5 kg
Internal memory:	256 MB (optional)	Battery (GEB221):	0.2 kg
Memory card:	CompactFlash cards (256 MB)	Tribrach (GDF121):	0.8 kg
Number of data records:	1750 / MB	<b>Environmental specifications</b>	
Interfaces:	RS232, Bluetooth® Wireless-Technology (optional)	Working temperature range:	-20° C to +50° C
<b>Circular Level</b>		Storage temperature range:	-40° C to +70° C
Sensitivity:	6' / 2 mm	Dust / water (IEC 60529):	IP54
		Humidity:	95 %, non-condensing

**Remote Control Unit (RX1250T/Tc)**

<b>Communication</b>	via integrated radio modem		
<b>Control unit</b>	Display:	1/4 VGA (320*240 pixels), graphic LCD, touch screen, illumination	
	Keyboard:	62 keys (12 function keys, 40 alphanumeric keys), illumination	
	Interface:	RS232	
<b>Battery (GEB211)</b>	Type:	Lithium-Ion	
	Voltage:	7.4 V	
	Capacity:	2.2 Ah	
	Operating time:	RX1250T: typ. 9 h, RX1250Tc: typ. 8 h	
<b>Weights</b>	Control unit RX1250T/Tc:	0.8 kg	
	Battery (GEB211):	0.1 kg	
	Reflector pole adapter:	0.25 kg	
<b>Environmental specifications</b>	Working temperature range:	RX1250T -30° C to +65° C / RX1250Tc -30° C to +50° C	
	Storage temperature range:	-40° C to +80° C	
	Protection against water, dust and sand (IEC 60529, MIL-STD-810F)	IP67	
		waterproof to 1 m temporary submersion, dust tight	

- when it has to be right



### 7.3 Bilaga 3

Punkt	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$\bar{x}$	$\sigma$	$u$
1	23,057	23,055	23,059	23,056	23,057	0,0019	0,0009
2	23,085	23,080	23,085	23,087	23,084	0,0032	0,0016
3	24,540	24,545	24,536	24,537	24,540	0,0038	0,0019
4	24,515	24,533	24,531	24,535	24,528	0,0093	0,0046
5	24,269	24,269	24,269	24,267	24,269	0,0013	0,0007
6	24,290	24,272	24,268	24,280	24,278	0,0098	0,0049
7	27,072	27,084	27,090	27,079	27,081	0,0074	0,0037
8	27,080	27,090	27,090	27,096	27,089	0,0064	0,0032
9	23,127	23,120	23,115	23,122	23,121	0,0048	0,0024
10	23,077	23,078	23,089	23,084	23,082	0,0057	0,0028
11	27,082	27,204	27,201	27,203	27,203	0,0015	0,0009
12	27,189	27,197	27,202	27,201	27,197	0,0057	0,0029
13	-5,374	-5,381	-5,377	-5,369	-5,375	0,0048	0,0024
14	-6,431	-6,440	-6,431	-6,421	-6,431	0,0074	0,0037
15	-4,736	-4,737	-4,735	-4,735	-4,736	0,0012	0,0006
16	-4,727	-4,732	-4,734	-4,738	-4,733	0,0046	0,0023
17	-8,524	-8,526	-8,514	-8,513	-8,519	0,0067	0,0033
18	-8,513	-8,515	-8,515	-8,534	-8,519	0,0100	0,0050
19	-5,628	-5,625	-5,627	-5,626	-5,627	0,0016	0,0008
20	-8,385	-8,393	-8,399	-8,383	-8,390	0,0072	0,0036
21	-8,385	-8,400	-8,389	-8,386	-8,390	0,0068	0,0034
22	-0,918	-0,917	-0,926	-0,922	-0,921	0,0043	0,0022
23	-1,386	-1,374	-1,379	-1,386	-1,381	0,0057	0,0028
24	0,228	0,226	0,228	0,222	0,226	0,0030	0,0015
25	0,700	0,716	0,706	0,704	0,706	0,0066	0,0033
26	0,798	0,807	0,812	0,810	0,807	0,0059	0,0029
27	0,419	0,406	0,412	0,411	0,412	0,0055	0,0028
28	16,406	16,409	16,410	16,403	16,407	0,0030	0,0015
29	16,568	16,559	16,551	16,555	16,558	0,0074	0,0037

<b>Punkt</b>	<b><math>y_1</math></b>	<b><math>y_2</math></b>	<b><math>y_3</math></b>	<b><math>y_4</math></b>	<b><math>\bar{y}</math></b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>u</math></b>
<b>1</b>	20,962	20,961	20,962	20,960	20,962	0,0010	0,0005
<b>2</b>	20,443	20,443	20,449	20,446	20,445	0,0029	0,0014
<b>3</b>	20,525	20,528	20,537	20,532	20,531	0,0052	0,0026
<b>4</b>	20,982	20,981	20,978	20,983	20,981	0,0021	0,0010
<b>5</b>	15,015	15,019	15,025	15,020	15,020	0,0040	0,0020
<b>6</b>	13,967	13,970	13,982	13,972	13,973	0,0068	0,0034
<b>7</b>	13,983	13,983	13,987	14,001	13,989	0,0086	0,0043
<b>8</b>	15,039	15,039	15,047	15,043	15,042	0,0042	0,0021
<b>9</b>	5,264	5,265	5,262	5,258	5,262	0,0029	0,0015
<b>10</b>	5,758	5,760	5,770	5,764	5,763	0,0052	0,0026
<b>11</b>	5,797	5,796	5,794	5,796	5,796	0,0012	0,0006
<b>12</b>	5,305	5,304	5,300	5,302	5,303	0,0021	0,0011
<b>13</b>	6,148	6,150	6,143	6,138	6,145	0,0054	0,0027
<b>14</b>	6,475	6,476	6,469	6,467	6,472	0,0042	0,0021
<b>15</b>	7,200	7,198	7,210	7,195	7,201	0,0067	0,0034
<b>16</b>	7,702	7,705	7,701	7,698	7,701	0,0028	0,0014
<b>17</b>	7,786	7,786	7,785	7,779	7,784	0,0033	0,0017
<b>18</b>	7,251	7,252	7,256	7,251	7,252	0,0025	0,0012
<b>19</b>	13,835	13,834	13,834	13,839	13,835	0,0023	0,0012
<b>20</b>	13,934	13,936	13,933	13,929	13,933	0,0029	0,0014
<b>21</b>	12,871	12,872	12,873	12,869	12,872	0,0019	0,0009
<b>22</b>	28,209	28,208	28,220	28,220	28,214	0,0067	0,0033
<b>23</b>	27,225	27,227	27,228	27,220	27,225	0,0038	0,0019
<b>24</b>	28,870	28,868	28,871	28,852	28,865	0,0087	0,0044
<b>25</b>	28,925	28,924	28,930	28,924	28,926	0,0029	0,0015
<b>26</b>	27,722	27,724	27,720	27,722	27,722	0,0014	0,0007
<b>27</b>	27,625	27,628	27,624	27,628	27,626	0,0020	0,0010
<b>28</b>	30,863	30,866	30,855	30,860	30,861	0,0044	0,0022
<b>29</b>	29,747	29,744	29,748	29,752	29,748	0,0032	0,0016

<b>Punkt</b>	<b><math>z_1</math></b>	<b><math>z_2</math></b>	<b><math>z_3</math></b>	<b><math>z_4</math></b>	<b><math>\bar{z}</math></b>	<b><math>\sigma</math></b>	<b><math>u</math></b>
<b>1</b>	-0,714	-0,715	-0,715	-0,714	-0,714	0,0003	0,0002
<b>2</b>	-0,707	-0,706	-0,706	-0,707	-0,706	0,0007	0,0003
<b>3</b>	-0,772	-0,775	-0,774	-0,775	-0,774	0,0013	0,0007
<b>4</b>	-0,751	-0,755	-0,754	-0,754	-0,753	0,0017	0,0009
<b>5</b>	-0,581	-0,582	-0,580	-0,580	-0,581	0,0012	0,0006
<b>6</b>	-0,580	-0,581	-0,579	-0,581	-0,580	0,0009	0,0004
<b>7</b>	-0,663	-0,664	-0,662	-0,663	-0,663	0,0005	0,0002
<b>8</b>	-0,669	-0,674	-0,674	-0,669	-0,672	0,0027	0,0014
<b>9</b>	-0,747	-0,747	-0,747	-0,747	-0,747	0,0002	0,0001
<b>10</b>	-0,735	-0,736	-0,736	-0,735	-0,736	0,0004	0,0002
<b>11</b>	-0,894	-0,894	-0,894	-0,893	-0,894	0,0003	0,0001
<b>12</b>	-0,896	-0,897	-0,896	-0,896	-0,896	0,0004	0,0002
<b>13</b>	0,063	0,062	0,063	0,062	0,062	0,0003	0,0002
<b>14</b>	0,075	0,075	0,077	0,076	0,076	0,0009	0,0005
<b>15</b>	0,013	0,012	0,012	0,013	0,012	0,0007	0,0003
<b>16</b>	0,018	0,017	0,019	0,019	0,018	0,0008	0,0004
<b>17</b>	0,087	0,087	0,086	0,087	0,087	0,0004	0,0002
<b>18</b>	0,069	0,069	0,068	0,069	0,069	0,0002	0,0001
<b>19</b>	0,154	0,155	0,154	0,153	0,154	0,0006	0,0003
<b>20</b>	0,217	0,217	0,217	0,217	0,217	0,0002	0,0001
<b>21</b>	0,224	0,224	0,224	0,225	0,224	0,0004	0,0002
<b>22</b>	0,057	0,057	0,056	0,058	0,057	0,0007	0,0003
<b>23</b>	0,090	0,089	0,089	0,090	0,090	0,0008	0,0004
<b>24</b>	-0,007	-0,008	-0,008	-0,007	-0,007	0,0004	0,0002
<b>25</b>	-0,007	-0,007	-0,007	-0,006	-0,007	0,0005	0,0002
<b>26</b>	-0,036	-0,035	-0,035	-0,036	-0,035	0,0007	0,0004
<b>27</b>	-0,032	-0,032	-0,032	-0,032	-0,032	0,0002	0,0001
<b>28</b>	-0,348	-0,348	-0,349	-0,347	-0,348	0,0006	0,0003
<b>29</b>	-0,370	-0,370	-0,371	-0,370	-0,370	0,0004	0,0002

