

UAS med laserskanning inom kommunal verksamhet



DJI Matrice 300 med Emesents Hovermap VF1 monterad



StreamSam



EUROPEISKA
UNIONEN
Europeiska
regionala
utvecklingsfonden



Innehåll

Förkortningar och språkbruk	4
1. Bakgrund	5
1.1. Flygtillstånd, regelverk.....	5
2. Tillgänglig utrustning och programvaror	5
2.1. SLAM-teknik.....	6
2.2. Markstöd	6
2.3. GNSS-stöd	6
3. Tester	7
3.1. Betydelsen av olika typer av områden/miljöer	7
3.2. Markstöd	7
3.3. Friflygning och flygning i rutt.....	8
3.4. Jämförelse med andra insamlingsmetoder	8
3.4.1. Laserskanning utan SLAM.....	8
3.4.2. Fotogrammetriska metoder	8
3.4.3. Markbunden skanner	9
3.4.4. Totalstation och GNSS-mottagare.....	9
3.5. Kvalité på data	9
4. Kommunal mätning	9
4.1. Kartprodukterna Grundkarta och Nybyggnadskarta	9
4.2. Projekteringsmätning	10
4.3. Övriga typer av mätupdrag.....	10
5. Resultat och utvärdering	11
5.1. Data från en laserskanningsutrustning.....	11
5.2. Extrahera geografiska data i punktmoln.....	13
5.2.1. Byggnader.....	13
5.2.2. Träd, stolpar och liknande	14
5.2.3. Vägar	15
5.2.4. Effektivitet i kartering från punktmoln	15
5.3. Kvalité och mätosäkerhet	15
5.3.1. Olika miljöers påverkan	16
5.3.1.1. Stora öppna ytor.....	16
5.3.1.2. Skog och träddata	16
5.3.1.3. Stadsmiljö	17
5.3.1.4. Inomhus.....	18



5.3.2.	Förbättringsmöjligheter.....	18
5.3.2.1.	Skanningsteknik.....	18
5.3.2.2.	Markstöd	19
5.3.2.3.	GNSS	19
5.3.2.4.	Utplacering av objekt	19
5.3.2.5.	Bearbetning av data.....	20
5.3.3.	Jämförelse med annan mobil laserskanning	20
5.3.4.	Jämförelse med terrester laserskanning.....	21
5.3.5.	Jämförelse med fotogrammetriska metoder.....	21
6.	Reflektioner kring användning.....	22
6.1.	Extrahera geografiska data till kartprodukter.....	22
6.2.	Inomhusfördel	22
6.3.	Kombination med mätdata.....	23
6.4.	Jämförelse med andra produkter	23
7.	Summering	23



Förkortningar och språkbruk

Nedan följer en förklaring och ett förtydligande av olika förkortningar och termer som används i texten:

Term	Förklaring	Beskrivning
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	UAV syftar på den flygande farkosten.
UAS	Unmanned Aircraft System	UAS syftar på hela systemet, d.v.s. både den flygande farkosten och tillhörande handkontroll.
EASA	European Union Aviation Safety Agency	Europeiska unionens byrå för luftfartssäkerhet tar fram regelverk för användandet av UAS.
SLAM	Simultaneous Localization And Mapping	SLAM är en teknik för laserskanning där ett punktmoln skapas genom att små delar skannade punkter matchas mot varandra och sätts ihop via gemensamma punkter.
GNSS	Global Navigation Satellite Systems	Globala satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystem. I dokumentet används GNSS för all typ av positionsbestämning med hjälp av satellitbaserade system.
GCP	Ground Control Point	GCP används för att benämna stödpunkter på marken som mäts in för att georeferera data. I den programvara som har använts för att processa data finns det en modul som heter GCP. Vid hänvisning till den modulen har GCP använts, medan i den löpande texten i övrigt har termen markstöd använts.
LAS		Ett filformat för punktmoln.
IMU	Inertial measurement unit	En elektronisk sensor som mäter acceleration och förflyttning i olika vinklar.



1. Bakgrund

Kalmar kommun har genom projektet StreamSam testat och utvärderat UAS försedd med laserskanningsutrustning med fokus på kommunal mätverksamhet. Inom projektet har vi haft tillgång till en UAV och en skanningsutrustning med SLAM-teknik. Efterhand som projektet har pågått har vi också breddat utvärdering till att jämföra med andra laserskanningsutrustningar och även insamling med kamera från UAV. Olika tekniker och insamlingsmetoder passar olika bra beroende på typ av uppdrag.

Fokus har varit på insamling med UAS, men jämförelser bör även göras med fler olika insamlingsmetoder. Den laserskanningsutrustning vi har haft tillgång till har även gått att använda handburen och det kommer detta dokument även nämna.

StreamSam är ett EU-finansierat projekt innehållande flera delar inom samhällsbyggnadsprocessen. Denna skrivelse berör delen som handlar insamling av data med UAS. Projektet har haft en huvudprojektledare och en delprojektledare för varje del. Arbetet med insamling av data med UAS har skett på Mätningseenheten på Samhällsbyggnadskontoret. Projektet i sin helhet går att ta del av på [Streamsam - Streamsam \(kalmar.se\)](http://Streamsam - Streamsam (kalmar.se)).

1.1. Flygtillstånd, regelverk

En förutsättning för att flyga med drönare försedd med laserskanningsutrustning är att skaffa ett tillstånd inom specifik kategori enligt EASA:s regelverk. Än så länge finns det inga drönare med laserskanningsutrustning som kan flygas utan denna typ av tillstånd. Det skall nämnas att det är ett väldigt omfattande och tidskrävande arbete, vilket också påverkade oss väldigt mycket inom detta projekt. Beroende på var och hur flygning utförs kan andra tillstånd behövas, till exempel flygtillstånd från närliggande flygtrafikledning eller spridningstillstånd från Lantmäteriet. Det finns även fler typer av tillstånd inom olika geografiska platser. Vi har tidigare arrangerat webbsändning kring tillstånd inom specifik kategori enligt EASA:s regelverk.

2. Tillgänglig utrustning och programvaror

Projektet har haft tillgång till en UAV i form av DJI Matrice 300 och laserskanningsutrustning från Emesent kallad Hovermap VF1. Matrice 300 är en UAV som är knappt en meter mellan rotorbladen och med utrustning på kan den väga upp till 9 kg. Den ingår i ett UAS som är utrustad med flera dubbla funktioner med ett högt fokus på säkerhet. Hovermap är en laserskanningsutrustning av SLAM-teknik som skannar upp till 300 000 punkter/sek. För att processa data och få fram ett punktmoln i punktmolnsformat (som exempelvis LAS) med denna utrustning behövs även Emesents egna programvara. När projektet inleddes fanns en programvara som heter Emesent Processing Software. Den har utvecklats under projektets gång och släppts som ett nytt program kallat Aura. Vi har använt båda dessa. Vi har till en början haft modulen för färgläggning av punktmolnen, vilket utförs med hjälp av en GoPro-kamera fäst på utrustningen. Dessutom har nya moduler släppts under projektets gång och vi har även haft tillgång till modulen kallad GCP. Den innebär att cirkelformade stöd av reflexmaterial kan mätas in med geodetisk mätutrustning och hjälpa till med ihopsättning och geofererering av punktmolnen som tas fram.

För att kunna göra mer omfattande tester har vi även nyttjat vår egen utrustning. Det har varit en kamera kallad P1 till Matrice 300 och sedan kameraförsedda UAV:er i form av DJI Phantom 4 V2.0 och DJI Mavic Mini. Vi har alltså haft tre UAS med kamera som har kunnat användas till att ta fram



fotogrammetriska data. Fotogrammetriska produkter har tagits fram via programvarorna Agisoft Metashape och ESRI:s Drone2Map.

Som geodetisk mätutrustning har i huvudsak Trimble SX10 använts. Det är en totalstation som även kan skanna. Den har även gett möjligheten att jämföra med data från en stillastående markskanner. Det skall dock nämnas att den skannar långsammare (färre punkter) än en renodlad stativskanner, men det har ändå varit givande i jämförelser. Utöver detta har utrustning från Trimble använts i form av totalstation S7 och GNSS-mottagare kallad R10 och R12.

Till sist skall också nämnas att programvaran Trimble Business Center med skanningsmodul använts till hantering av punktmolnsdata.

2.1. SLAM-teknik

Hovermap är en laserskanningsutrustning som tillämpar SLAM-teknik. SLAM står för Simultaneous Localization And Mapping och innebär i korthet att data från varje skanning delas upp i väldigt små delar och passas ihop med varandra. Alla små delar sätts till slut ihop till ett punktmoln när bearbetningen är klar.

Denna teknik har både fördelar och nackdelar. En SLAM-skanner är exempelvis oberoende av GNSS-positionering, vilket gör att utrustningen går att använda i trånga utrymmen, under objekt och även inomhus. Förutom att sitta på en UAV kan utrustningen användas handburen och även sitta på ett fordon i rörelse. Det betyder att användningen av utrustning blir väldigt bred.

Om det finns många tydliga föremål som bearbetningsprogrammet kan använda går det att uppnå hög kvalitet när ett punktmoln sätts ihop på detta sätt. Samtidigt blir det här även en begränsning om antalet tydliga föremål som programvaran kan använda är för lågt. Då kan det lätt bli förskjutningar i punktmolnen. En liten vinkelförändring (förskjutning) kan växa och bli större och större med avståndet. Det här blir också en begränsning inom vissa typer av områden.

2.2. Markstöd

Programvaran som sätter ihop punktmolnen har även en funktion där det går att använda geodetiskt inmätta markstöd för att hjälpa till inom processen att sätta ihop ett punktmoln. Det går att sätta ihop ett punktmoln utan att använda denna funktion, men funktionen hjälper till att sätta ihop punktmolnet på ett bättre sätt. Detta görs genom att funktionen minskar de förskjutningar som kan uppstå både till antal och storlek. Funktionen georefererar också punktmolnet i den processen när markstöd används, vilket annars behöver göras efter att punktmolnet är framtaget. Punktmoln framtagna med en SLAM-skanner hamnar normalt i ett lokalt koordinatsystem. Den nämnda GCP-funktionen i Emesents programvara kräver markstöd av reflekterande material som är cirkelformade.

2.3. GNSS-stöd

En SLAM-skanner fungerar normalt utan GNSS, men med hjälp av GNSS skulle sammansättningen av punktmolnen kunna underlättas. Med hjälp av detta skulle framför allt förskjutningarna i punktmolnen kunna minskas både till storlek och antal på liknande sätt som markstöden ovan gör. Under vår projekttid har inte denna funktion varit tillgänglig för vår utrustning, då den är under utveckling. Lansering planeras att ske ungefär samtidigt som denna text blir klar, vilket leder till att vi inte hinner med något test av denna funktion. Om detta skulle fungera på ett bra sätt skulle det



kunna bli en kombination av två olika tekniker och kan teknikernas fördelar dessutom nyttjas tillsammans finns det hög potential.

3. Tester

3.1. Betydelsen av olika typer av områden/miljöer

Vi har tittat på många olika områden och miljöer i våra tester. Detta för att betydelsen av hur den miljön som skannas ser ut påverkar resultatet i väldigt stor utsträckning. Stora kalhuggna områden har testats för att undersöka hur bra en markmodell kan bli och hur effektiv insamling kan bli över större områden. Skogsområden i olika storlek och typer har testats med några olika syften. Ett syfte har varit för att se hur heltäckande mark det går att få under vegetationen, medan ett annat syfte har varit att försöka se vilken typ av redovisning av träd som är möjlig, exempelvis hur det går att plocka ut centrumpunkt, stamdiameter, krondiameter, höjd med mera

Stadsmiljöer har också testats i olika former. Där har fokus i huvudsak varit på om vi kan uppnå vårt önskade kvalitetsmått på +/- 3 cm på olika detaljer, utöver det har vi även tittat på hur detaljrika olika objekt blir.

Skanning har också utförts inomhus och här har också fokus varit på vilken kvalitet som kan uppnås. Större delen av våra vardagliga uppdrag handlar om insamling av geografiska data utomhus, men våra tester inomhus har varit lyckade och det kan i framtiden utöka vår bredd av uppdrag med fler möjligheter inomhus.

3.2. Markstöd

Då projektet inleddes hade vi inte tillgång till GCP-funktionen. Vår skanningsutrustning och tillhörande bearbetningsprogramvara kunde därför inte hantera markstöd i själva beräkningsprocessen av punktmolnen. Däremot kunde stöd användas för att georeferera punktmolnet när punktmolnet väl varit färdigt. En bit in i projektet släpptes en ny funktion för att hantera markstöd som kunde implementeras i själva processandet (skapandet) av ett punktmoln och det var alltså GCP-funktionen. Det nämndes ovan under avsnitt 2.2 att det då gav möjligheten att minska både antalet och storleken på förskjutningar i punktmolnet. På det sättet höjer det då kvalitén på det punktmoln/data som fås fram av programvaran.

En hel del tester har gjorts med markstöd för att försöka nyttja denna funktion på bästa sätt. Programvaran har enbart kunnat hantera cirkelformade stöd av reflekterande material. När reflekterande material används får dessa punkter i punktmolnet ett kraftigt avvikande intensitetsvärde, vilket gör att det syns tydligt var dessa stöd finns. Programvaran har enbart kunnat använda stöd som den själv kan hitta i punktmolnet. Först gör den en egen utsökning av stöd, som den sedan försöker matcha utifrån punkter med koordinater som har importerats i processen. Om programvaran inte har hittat stöden har det varit möjligt att assistera programvaran och hjälpa den att hitta stöden genom att markera ett begränsat område och låta den söka på nytt. Det har dock inte varit möjligt att själv pricka ut ett stöd i punktmolnet.



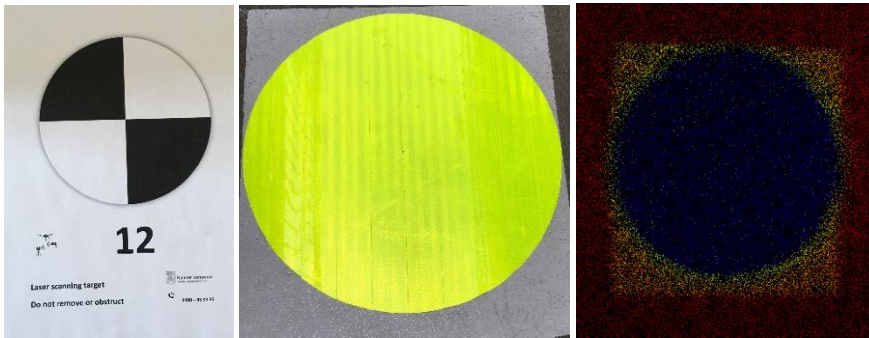


Bild längst till vänster visar vanligt stöd för georeferering i form av en flytt när punktmolnet redan är skapat. Bilden i mitten visar ett egensnickrat stöd av reflextejp på en skiva. Denna typ av stöd fungerar också för georeferering, men med den extrafunktion att det bakas in i skapandet av punktmolnet och kan då hjälpa till att korrigera för förskjutningar utöver att flytta det till rätt plats i ett koordinatsystem. Bilden längst till höger visar hur ett reflexstöd från bilden i mitten ser ut i ett punktmoln när punktmolnet färgläggs efter intensitet. Tänk att punktmolnet i övrigt är princip rött med enbart gula inslag, men där stödet finns blir punkterna istället blåa i denna färgskala. De är alltså lätta att hitta.

3.3. Friflygning och flygning i rutt

Skanning med SLAM-teknik är inte beroende av att göras i en förutbestämd rutt eller specifika stråk utan kan göras med fri förflyttning av skannern. Handburen skanning förflyttar en person runt gående inom det aktuella området. När utrustningen sitter på en UAV kan den förflyttas med fri flygning inom det aktuella området eller genom att flyga i stråk som är vanligt förekommande inom exempelvis insamling av data för att använda fotogrammetri. Vi har dels testat hur olika förflyttningsmetoder påverkar skanning med SLAM-skanner, dels tittat på skillnader i förflyttning som finns mot insamling med andra metoder.

3.4. Jämförelse med andra insamlingsmetoder

Utöver att bara undersöka insamling och data med en SLAM-skanner har vi även haft ambition att försöka jämföra med andra insamlingsmetoder. Både liknande metoder med UAV, och även skanning med markbunden skanner och konventionell detaljmätning i form av insamling med GNSS-mottagare och totalstation.

3.4.1. Laserskanning utan SLAM

Under projektets gång och inom projektets ram har vi inte haft tillgång till någon ytterligare laserskanningsutrustning och således inte genomfört tester med en sådan utrustning. Däremot har vi haft tillgång till exempeldata från annan laserskanningsutrustning där flygning sker i stråk och utrustningens position används för att beräkna fram och passa ihop det till ett punktmoln. Möjlighet har alltså funnits att titta på och utvärdera data mellan olika typer av laserskanningsutrustning, men däremot har kvalitetsjämförelser på samma plats inte varit möjlig.

3.4.2. Fotogrammetriska metoder

Vi har flera UAV:er i olika storlek försedda med kameror inom vår verksamhet och har utfört tester för att jämföra insamlat data med fotogrammetriska metoder mot data insamlat med laserskanningsutrustning (den nämnda SLAM-skannern). Störst fokus har varit på insamlat data, men även metoder har kunnat jämföras.

3.4.3. Markbunden skanner

En totalstation med inbyggd skanningsfunktion (se tillgänglig utrustning under avsnitt 2) har använts för att kunna jämföra data från SLAM-skannern mot en markbunden skanner. Till viss del har även insamlingsmetoder och möjligheter jämförts. Det skall nämnas att det finns renodlade markbundna skannrar som kan skanna betydligt snabbare, vilket också har vägts in vid sådana jämförelser.

3.4.4. Totalstation och GNSS-mottagare

Totalstation och GNSS-mottagare använder vi normalt i vår insamling idag och jämförelser mot den typ av utrustning har varit extra intressant i detta projekt. Dels att undersöka om eller när skanning kan ersätta konventionell mätning eller när och hur data från en skanner kan komplettera konventionellt insamlade data.

3.5. Kvalité på data

Kvalitén på data har varit ett stort fokus under vårt projekt, vilket redan nämnts ovan. Det är framför allt kvalitén som styr hur och när data kan användas. Det viktigaste är egentligen inte att uppnå högsta kvalité alla gånger, men kvalitén måste vara känd för annars är det omöjligt att besluta om hur den skall och kan användas. Det är anledningen till att vi har lagt stort fokus på detta.

4. Kommunal mätning

Under våra tester med UAV försedd med laserskanningsutrustning har vi undersökt hur och när denna typ av insamling skulle kunna integreras och kombineras eller helt eller delvis ersätta delar inom vanliga kommunala mätningsuppdrag. Därför har kommunala mätningsuppdrag varit en parameter att ha med i tankarna. Grundkartor och nybyggnadskartor är exempel på produkter som tas fram utifrån kommunal mätning. Även olika typer av projekteringsmätningar utförs ofta av en kommunal mätorganisation. Utöver de ovan nämnda uppdrag har vi funderat kort på ytterligare exempel på mätningstekniska uppdrag där en UAV försedd med laserskanningsutrustning kan tillföra något.

4.1. Kartprodukterna Grundkarta och Nybyggnadskarta

En grundkarta tas fram som ett kartunderlag till en detaljplan. Grundkartan är själva kartunderlaget i botten som detaljplanen ritas på. Innehållet i en grundkarta har ofta en grund som bygger på kommunens egen primärkarta och de begränsningar och förutsättningar kommunen har satt upp kring den. Vanligtvis ingår alla eller åtminstone de flesta typer av data som finns i kommunens primärkarta även i de grundkartor kommunen tar fram. Några exempel på objekt som alltid finns med i en grundkarta är vägar, byggnader, vattendrag, markdetaljer och fastighetsgränser. En grundkarta innehåller således ganska mycket, men den kompletteras ofta med en rad olika typer av objekt utifrån vad som finns i området och vad som hanteras i detaljplanen. Ofta är det olika avstånd i framförallt planled som styr vilka objekt som kan vara viktiga att ha med. Det kan vara avstånd mellan befintliga objekt, men det kan också vara avstånd mellan befintligt objekt och planbestämmelsegränser. En grundkarta är en kartprodukt i 2D, men kompletteras ofta med höjder av olika slag och/eller höjdkurvor. Även om en 2D-produkt tas fram görs grundkartan även tillgänglig i digitala format, vilket gör att data i digitalt format kan ha höjduppgifter på sig. Angående kvalité och noggrannhetskrav på data i en grundkarta kan det variera mellan olika typer av objekt, men generellt sett har många objekt ett krav på sig att redovisas med en mätosäkerhet på 2-5 cm, medan en del objekt bör kunna räcka



med en mätosäkerhet på 10 cm. Dokumentationen HMK Grundkarta kan med fördel läsas vidare för att gå in djupare på riktlinjer och innehåll i en grundkarta.

En nybyggnadskarta är en karta som används vid ansökan om bygglov. Nybyggnadskartan är ett kartunderlag där det som är tänkt att byggas ritas in och måttsätts. Då blir handlingen en situationsplan som lämnas in till kommunens bygglovsverksamhet. Nybyggnadskartan bygger precis som grundkartan på kommunens primärkarta. En stor del av innehållet är detsamma, men det är ofta ett större fokus på höjder i nybyggnadskartan. En nybyggnadskarta innehåller också i många fall VA-uppgifter och aktuella planbestämmelser. Nybyggnadskartan är också en kartprodukt i 2D-format, men som ändå hanterar höjder och eftersom den oftast tas fram i ett digitalt format kan den hantera höjder även på de objekt som förekommer i kartan. En stor skillnad mellan grundkarta och nybyggnadskarta är storleken och utbredningen. En grundkarta tas ofta fram över ett större område, som skall planeras medan en nybyggnadskarta täcker en viss byggnation och tas ofta fram över en fastighet. När det gäller mätosäkerhetskrav på data är det generellt sett något högre krav på nybyggnadskartans innehåll och en gräns som ofta nämns är 3 cm.

4.2. Projekteringsmätning

Projekteringsunderlag kan vara ett väldigt varierande underlag beroende på vad det skall användas till och vad som skall projekteras. Det gör att kraven på innehåll och kvalité kan variera väldigt mycket. Ett projekteringsunderlag där det handlar om en grov förprojektering skiljer sig till stora delar mot om det handlar om en detaljprojektering. Mätosäkerhetskraven kan då också variera rejält. Vid en grov förprojektering kan det handla om högre värden på mätosäkerhet än 10 cm, medan det vid detaljprojektering kan handla om mätosäkerhetskrav på någon eller några centimeter. Det går även att fördjupa sig kring mätosäkerhet med att tala om den inre respektive yttre noggrannheten. Projekteringsunderlag kan alltså ha väldigt höga krav gällande mätosäkerhet.

I övrigt är projekteringsunderlag nästan enbart digitala nuförtiden och hanterar data i 3D. Det finns dock ett visst 2D-tänk kvar då möjlighet för utskrift på papper ofta brukar behållas.

4.3. Övriga typer av mätuppdrag

Bland kommunala mätorganisationer kan det vara stor variation när det kommer till vilka uppdrag som utförs. Mindre organisationer fokuserar oftast på att klara sina huvudsakliga uppdrag såsom kartprodukterna som har nämnts ovan, medan andra utför alla möjliga mätuppdrag.

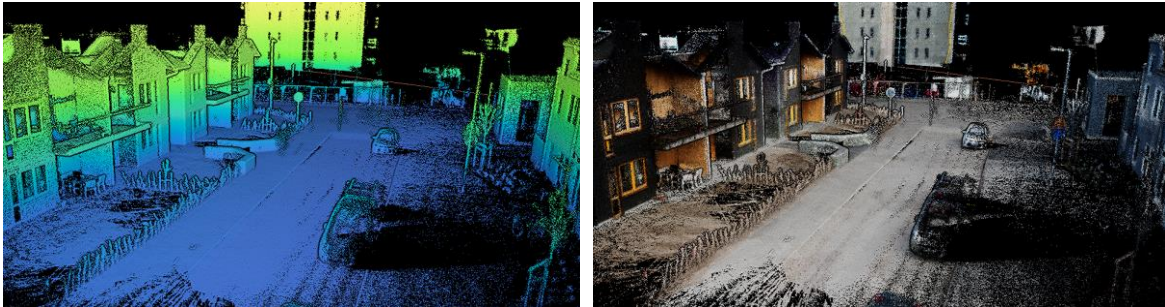
Bland de användningsområden där UAV försedd med laserskanningsutrustning kan vara en hjälp finns olika typer av återgivning av mark i form av markmodeller och även tillämpning i form av volyMBERÄKNING. Insamling av data kring träd som centrumpunkt, höjd, stamdiameter och kron diameter är exempel på andra vanliga förekommande uppgifter som önskas, vilket också har testats. Projektet har även haft stort fokus på byggnader och 3D-modellering av dessa. Eftersom vi har haft en SLAM-skanner har byggnader också skannats inomhus, vilket vår mätorganisation tidigare endast arbetat med vid enstaka tillfällen/förfrågningar.



5. Resultat och utvärdering

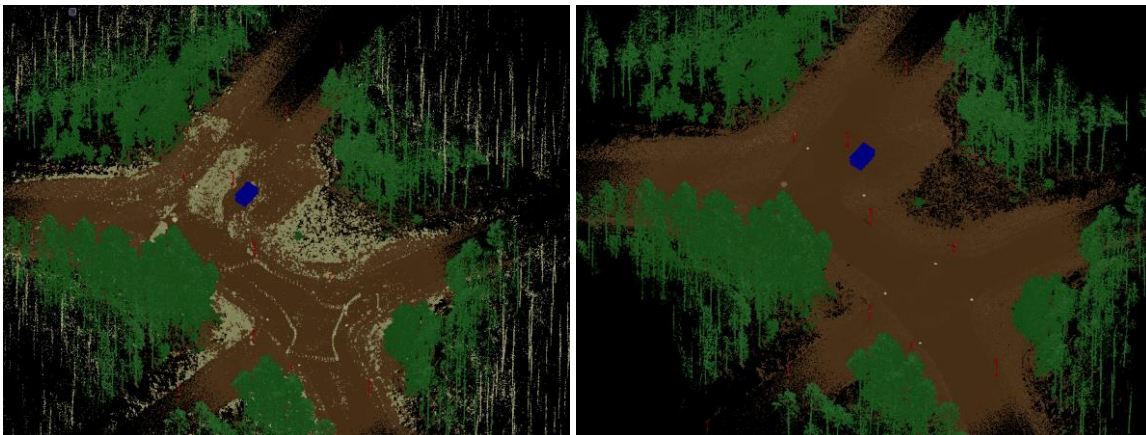
5.1. Data från en laserskanningsutrustning

Det data som fås ut av en laserskanningsutrustning består av ett punktmoln. Punktmolnet kan visas i olika färgskalor utifrån de innehållande attribut som har lagrats för varje punkt i punktmolnet. Till utrustningen som har använts i projektet har vi haft en kamera placerad på skanningsutrustningen för att kunna återge den faktiska färgen från verkligheten.

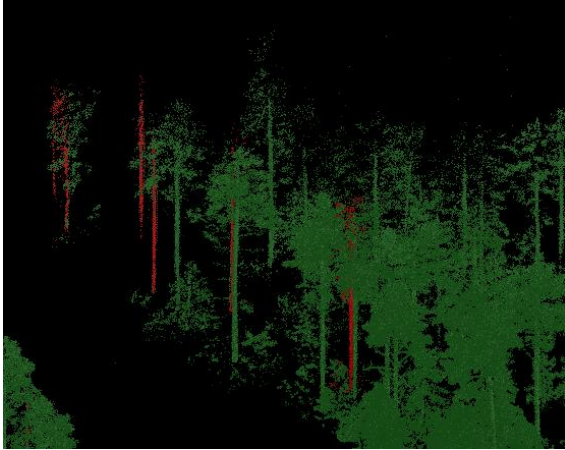


Exempel på punktmoln från laserskanner. Bild till vänster punktmoln färglagt utifrån höjd, medan bilden till höger visar punktmoln färglagt utifrån bilder och då alltså den faktiska färgen.

Punktmolnet kan sedan bearbetas vidare på många olika sätt. Dels går det visualisera punktmolnen på olika sätt i olika programvaror, dels kan punktmolnet användas för att ta fram andra produkter såsom exempelvis modeller, höjdraster, geografiska data i form av punkter, linjer, ytor. Innan det tas fram en slutprodukt behöver punktmolnet oftast rensas och städas på olika sätt. Genom att punkter i punktmolnet sorteras i olika klasser kan klassificering av punktmoln ge mycket. Automatisk klassificering är en funktion som finns i de flesta programvaror som hanterar punktmolnsdata, men utförande och resultat kan variera.

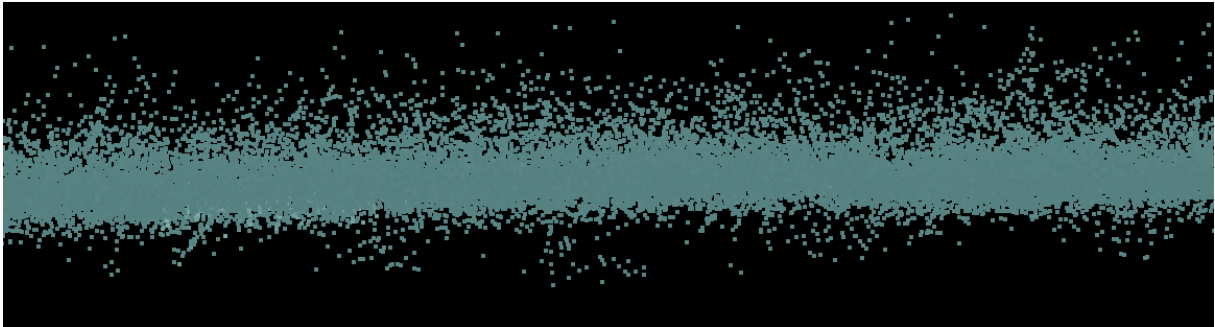


Exempel på automatiskt klassificerade punktmoln. Till vänster ovan syns flera klasser (Brun = Mark, Blå = Byggnad, Röd = Stolpar, Grön = Vegetation, Gul = Ej klassificerat). Till höger visas efter manuell korrigering och borttagande av icke klassificerade punkter.

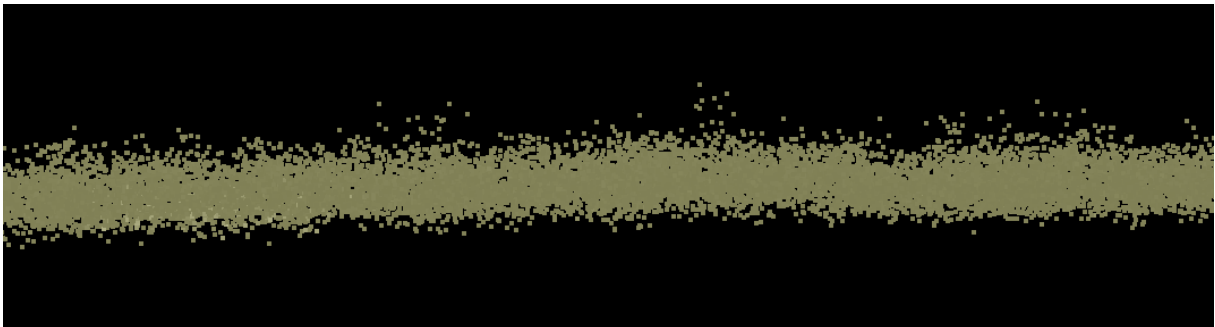


Exempel på felaktigheter som kan förekomma i automatisk klassificering. Här har en del träd klassificerats som stolpar (röda) i stället, främst beroende på avsaknad av trädkronor och då förstår inte programvaran skillnaden. I detta exempel var det i utkanten av punktmolnet och då är det naturligt att bara delar av objekt har kommits med.

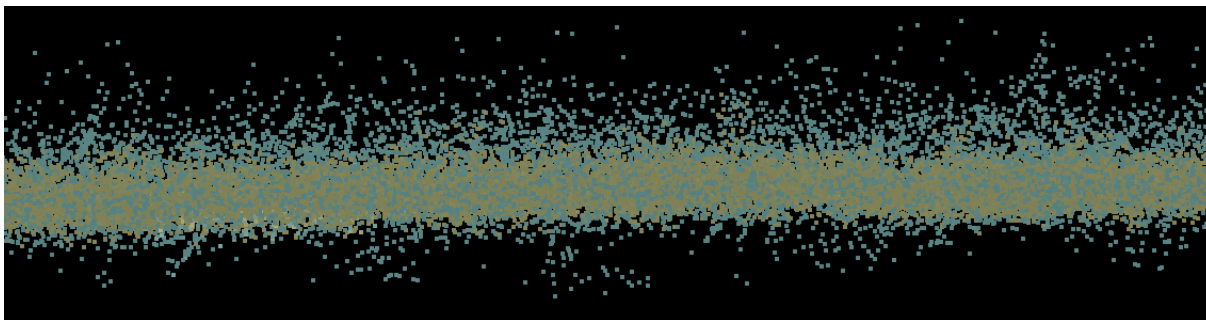
Det finns också flera olika typer av filtreringsfunktioner för att tunna ut punktmolnen. Där går det att välja en rad olika inställningar. Viss manuell handpåläggning behövs nästan alltid för att rensa och städa i punktmolnen, och beroende vad det skall användas till kan det bli ganska omfattande och då också tidskrävande.



En del av en vägg på en byggnad sett ovanifrån (2D-vy) insamlad med SLAM-skanner



Samma vägg på en byggnad sett ovanifrån (2D-vy) insamlad med SLAM-skanner, men här har filtrering av punkter utförts.



Samma vägg som ovan där ej filtrerat punktmoln (blå) och filtrerat punktmoln (gul) visas i samma bild. Filtrering gör en tydlig skillnad. Samtidigt är det centrum på punktmolnet som plockas ut när fasad önskas och det går att göra ifrån båda varianterna. Det kan vara något lättare i det filtrerade punktmolnet, men framför allt blir det en säkrare bedömning när punktmolnet har filtrerats.

Ett punktmoln framtaget från en SLAM-skanner hamnar normalt sett i ett lokalt koordinatsystem. Det går då att georeferera hela punktmolnet om det finns kända koordinater på tydligt identifierbara objekt i punktmolnet. Då flyttas hela punktmolnet utifrån de punkter som används för georefereringen. Då går det bara att uppnå bästa möjliga flytt. Vill man i stället omvandla själva punktmolnet under georefereringen behövs markstöd som tas med i processen för att skapa punktmolnet. I vår utrustning har markstöd på detta sätt varit en extra modul i programvaran (kallad GCP-funktion). Vårt tillvägagångssätt har varit att placera ut skivor med reflextejp och programvaran hittar dessa utifrån intensitetsvärden. Koordinaterna läggs till i processen där ett punktmoln skapas. Sedan används dessa markstöd till att förbättra punktmolnet och därefter georeferera det till rätt plats.

5.2. Extrahera geografiska data i punktmoln

Olika sätt att plocka ut geografiska data i form av punkter, linjer och ytor från ett punktmoln har testats. Det är genomförbart att manuellt pricka ut olika objekt, men beroende på vad det är för typ av objekt finns det olika svårigheter. Punktmolnet är i 3D och kräver lite annorlunda tänk jämfört med att arbeta i 2D. Utvecklingen går snabbt på detta område då programvarutillverkare arbetar med att ta fram alltmer automatiska funktioner för att kartera punktmolnsdata. Med hjälp av AI kan sådana funktioner förbättras ytterligare. Det finns även beställningsbara tjänster för kartering från punktmoln där AI används, men än så länge krävs en del manuell hantering. Det beror på att vissa objekt är enklare än andra att kartera på ett korrekt sätt för sådana tjänster.

5.2.1. Byggnader

Väggar på en byggnad är relativt enkelt att kartera för de syns tydligt och det finns stora ytor att pricka ut det på. Det går att pricka ut linjer längs varje sida på en fasad. Dessa kan sedan förlängas ihop till en 2D-polygon och det går att bygga vidare till den redovisning som önskas för en byggnad med exempelvis taklinjer och olika höjdnivåer på en byggnad.

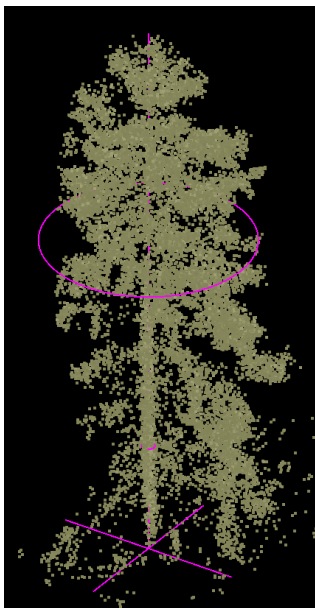
Det går att bygga vidare och komplettera med exempelvis data inomhus och bygga BIM-modeller. BIM-modellering växer alltmer och används numera ofta vid både nybyggnation och ombyggnation. Det finns många olika detaljnivåer inom BIM-modellering. Det går att nöja sig med bara golv, väggar och tak, men det finns knappt någon gräns för hur detaljrikt det är möjligt att göra det heller. Punktmolnen räcker väldigt långt då de är så detaljrika i sig.



Exempel på punktmoln framtaget med SLAM-skanner till vänster och BIM-modell av samma punktmoln till höger.

5.2.2. Träd, stolpar och liknande

I programvaran Trimble Business Center har vi testat att använda en automatisk funktion för att extrahera träd som en centrumpunkt med attributen markhöjd intill trädet, trädets höjd, stamdiameter och krondiameter. Det fungerar förvånansvärt bra så länge punktmolnet täcker in det önskade området. Det gäller att tänka på att skära bort ytterkanterna på ett punktmoln, eftersom det där det kan finnas många träd som inte har skannats komplett och det kan ge felaktig information. Det fungerar både i skogsområden och i parkmiljöer, men när det kommer till krondiameter kan det bli en hel del felaktigheter. När träden står skilda från varandra fungerar det betydligt bättre än när trädkronor från flera träd har växt ihop. Därav är framför allt trädkronorna mer osäkra i skog. Programvaran tar snabbt och enkelt fram träden med dessa uppgifter, men en manuell kontroll av varje träd behövs för att kontrollera trädkronorna mot det aktuella punktmolnet. I en skog fås sällan alla träd med heller, vilket också leder till att manuell genomgång är nödvändig.



Tree spread:	2,900
Trunk diameter:	0,180
Tree height:	7,940

Bilden visar exempel på ett fristående träd och dess attribut som har extraherats.

Motsvarande funktion som för träd finns även för andra liknande objekt som stolpar och skyltar.

Luftledningar är en annan typ av objekt som det finns en halvautomatisk funktion för. Det är också objekt som är relativt enkla att hitta i ett punktmoln.

Generellt sett är det enklare att kartera objekt som tydligt sticker upp från marken. När det gäller objekt på eller nära marken blir det svårare. Det finns ofta låg vegetation som ställer till det och objekten kan mer eller mindre flyta ihop. Vegetationen kan dock sorteras ut hyfsat bra med klassificering, så att det går att släcka dessa punkter. Det är dock svårt att få bort allt. Det kan också bli väldigt svårt att avgöra vad punkterna som blir kvar nära marken i sådana fall faktiskt har tagit på. Möjligtvis att en skanner med fler ekon gör det något enklare, men det är inte hela lösningen ändå.

5.2.3. Vägar

Det finns vissa halvautomatiska funktioner för att extrahera ut väglinjer också. Kantsten är ett exempel, målade linjer är ett annat. Det går relativt smidigt om det handlar om en rak väg som ser likadan ut en lång sträcka. Det är sällan fallet, åtminstone i stadsmiljö, där vi har testat. Vid in- och utfarter blir det oftast en annan visning på kantstenen, det kommer korsningar där kantstenen byter riktning och det tillkommer refuger lite här och där. Alla liknande förändringar längs en gata ställer till det för de automatiska delarna av sådana här funktioner. Kartera väglinjer helt manuellt kan ibland vara snabbare och det går ganska bra i stadsmiljön där det finns tydliga objekt. Kantsten fungerar, men om det finns vägkanter mot grus eller gräs kan det vara betydligt svårare att se var det faktiskt går. Här finns en skillnad på en mobil skanner kontra en markbunden skanner också. En markbunden ger ett mycket tydligare punktmoln, som ger bättre och lättare bedömningar, men samtidigt blir det många fler skymda vinklar.

5.2.4. Effektivitet i kartering från punktmoln

När automatiska funktioner kan nyttjas blir det effektivt och det kommer finnas fler och fler möjligheter att utöka de automatiska delarna i framtiden. Då kan tid sparas. Men när hinder uppstår som gör att bedömningen blir svår eller kanske rentav omöjlig är det inte lika givet. Det kan till och med ta längre tid kontra insamling med konventionella instrument såsom totalstation och GNSS-mottagare. Fördelen när en mätare är ute och mäter in objekt är att den faktiska bedömningen görs på plats. Det finns ofta ett behov av att faktiskt se hur det ser ut på plats, vilket inte går genom att endast titta i punktmolnet. Det har funnits möjlighet att nyttja den kamera vi haft på utrustningen (för färgläggning av punktmoln) för att se hur det faktiskt ser ut. Det blir dock tidskrävande vid datorn och ibland räcker det inte heller.

Kartering från punktmoln kan bli både snabbare och långsammare jämfört med konventionell inmätning. Det beror på vad som önskas, vad syftet med insamlingen av data är och hur mycket automatik som kan användas. Ner på väldigt små detaljer blir det i ett punktmoln också svårt att pricka ut det exakta hörnet/kanten. Detta för att det alltid finns ett visst avstånd mellan punkterna i ett punktmoln och de träffar aldrig exakt på kanten. Att då beräkna fram önskad punkt i 3D blir tidskrävande. Det blir sällan ett problem med en mobil skanner då den kommer åt på fler ställen och punkttätheten är tillräckligt hög. Det kan dock uppstå med en markbunden skanner på lite längre avstånd och beroende på vinklar. Jämfört med inmätning ute på plats görs samtidigt ändå generaliseringar och i verkligheten är det sällan så tydliga kanter och skarvar som en ritning ger sken av.

5.3. Kvalité och mätosäkerhet

SLAM-tekniken har visat sig ha en del fördelar, som gör att det finns goda möjligheter kring kvalité och användning. Samtidigt är den ganska känslig för en rad olika faktorer, vilket påverkar resultat och användbarhet i stor utsträckning. Det blev också tydligt i testerna att punktmolnet ofta såg bra ut för

ögat, men att det var först när jämförelser gjordes mot andra data som det visade sig hur det faktiskt låg till.

5.3.1. Olika miljöers påverkan

Området som skannas har en väldigt stor påverkan på punktmolnets kvalitet. Den stora faktorn är vad det finns för objekt i området och det är på grund av hur punktmolnet sätts ihop. Eftersom små delar matchas ihop med varandra blir det lätt förskjutningar om matchningen inte blir riktigt bra. För att undvika dessa behöver skannern hela tiden ha kontakt med tidigare skannat data där det finns tydliga objekt som matchningen kan använda. Det skall nämnas att det finns en inbyggd IMU i enheten, som hjälper till att beräkna fram ruten, men det krävs ändå att programvaran hittar objekt som kan matchas ihop. Dessa objekt måste vara tydliga och dessutom fasta så att de inte rör på sig. Både antalet sådana objekt och avståndet till dessa objekt påverkar.

I början av projektet var vi ganska begränsade till var vi hade tillåtelse att flyga. Då hann vi göra en hel del tester på områden där utrustningen fungerar mindre bra, medan mer tester i stadsmiljö gjordes under senare delen av projektet då vi hade fått nödvändiga tillstånd.

5.3.1.1. Stora öppna ytor

Öppna ytor var naturligt en områdestyp som var enkel att börja testa. Vi testade åkermark, kalhygge och även område där viss vegetation hade växt upp. Under dessa tester försökte vi alltid ta med närliggande grusväg, mur eller annat för att få något mer stabilt. Vi använde oss också av markstöd i dessa tester och flög i huvudsak i stråk, även om vi testade friflygning också. Vi hade tillgång till Lantmäteriets genomförda laserskanningar (NNH och Laserdataskog) för en första grov jämförelse i höjdled. Vi mätte också in markpunkter på de ställen det fanns någorlunda hårdgjorda ytor, framför allt på grusvägarna runt och genom områdena för att ha bättre data att jämföra med. Det var främst höjdled som gick att jämföra i de här områdena.

Avvikelsena kunde dock vara höga, ibland till och med flera meter. Precis vid stöden handlade det om avvikelser med bara några centimeter. Det visar också att det inte var fel på jämförelsematerialet. Att det blir dåligt på åkermark var väntat eftersom det där är väldigt dåligt med objekt. Däremot trodde vi mer på kalhygge för där var det ändå stora stenar och stubbar kvar. Uppenbarligen räckte inte dessa till och vår teori är att flygning sker ett antal meter upp i luften (30–40 meter i vårt fall) och objekten är på marken. Skillnaderna på en sten eller stubbe ovanifrån blir inte så stora och då fungerar de ändå inte som tillräckligt tydliga objekt.

Vi testade ganska många flygningar i sådana här områden och även med en rad olika inställningar i programvaran som sätter ihop punktmolnet. Problemet är att avvikelserna är stora och att de är varierande. Vi hittade inga tydliga trender i avvikelserna heller, förutom att de är mindre alldeles precis runt markstöden och det handlade om väldigt begränsade ytor. På andra ställen kunde det vara decimeteravvikelser och ända upptill meteravvikelser. Till slut konstaterade vi att i den här typen av områden är det väldigt svårt att få till något data av tillräcklig kvalitet.

5.3.1.2. Skog och träddata

Skog har något bättre förutsättningar för ett lyckat resultat, men med flygning har vi haft samma problem som beskrivits för öppna ytor. Skanning med handburen SLAM-skanner har gått bättre då träden har fungerat som objekt som skannern lyckats nyttja i skapandet av punktmolnet. Skillnaden med handburen skanning blir då att det är stammarna som kan nyttjas och de är mer stabila, kontra



flygning då det är mindre grenar och blad högre upp på träden. De är svårare att nyttja för de rör sig mycket lättare i vinden.

Här jämförde vi data från handburen skanning med ett punktmoln från markbunden skanner och då var avvikelserna som mest uppe på en decimeter. I det här fallet skulle vi nyttja träddata och då var mätosäkerheten tillräcklig.

Det kan även nämnas att vi har upplevt stora förskjutningar i skanning av skogsområden också och då blir osäkerheten stor även när det gäller träd. Förskjutningarna kan leda till att det visas fler träd än vad det faktiskt finns. Detta då en del träd kan synas dubbelt och det är inte lätt att reda ut vilka träd som är korrekta.

5.3.1.3. Stadsmiljö

När tillståndsfrågan (se avsnitt 1.1) till slut fick en lösning kunde vi flyga även i stadsmiljöer. Även i stadsmiljöer testade vi både handburen skanning och flygburen skanning. Här blir det betydligt bättre kvalitet än tidigare. Avvikelseerna är betydligt mindre än i ovan nämnda miljöer för att nu finns det betydligt många fler tydliga objekt som kan nyttjas för skapandet av punktmolnet.

Ett av testen som är värt att nämna var i ett villaområde där vi skannade på båda sätten. En del av detta område bestod av ca 15 villatomter. Vi använde 12 markstöd (ca 50 meter mellan stöden) och testade både flygning och handburen skanning med exakt samma förutsättningar. Som jämförelsedata nyttjade vi dels tidigare totalstationsinmätt data, dels punktmoln från markstående skanner. När vi granskade skanningarna såg det först ut som att det stämde väldigt bra och att det inte fanns några avvikelser över 5 cm i punktmolnet från flygningen. Det visade sig bara vara i den västra halvan av området. I den östra halvan hittades flera skillnader på upp till 10 cm. När vi sedan tittade på punktmolnet från den handburna skanningen var det i stället tvärtom. Då var den östra delen väldigt bra medan det fanns decimeteravvikelse i den västra delen i stället.

Det pekar på att det blir små förskjutningar även i den här typen av miljöer och det är svårt att avgöra när och var de uppstår. Vi har även begränsat områdena ännu mer till storlek och skannat enbart en byggnad och dess närområde. Vi testade att handskanna en större skolbyggnad med handburen skanning runt hela byggnaden. Byggnaden var formad som ett H och det gjordes utan reflexstöd, det vill säga programvarans funktion för att minska antal förskjutningar i bearbetningsprocessen användes inte. Vi mätte fasaden runt byggnaden med totalstation och på flera ställen såg det bra ut med avvikelser under 5 cm, men på en flygel fick vi 15 cm skillnad mot totalstationens inmätta fasadlinje.

På en annan skolbyggnad, ännu något mindre, testade vi handburen skanning med reflexstöd. Det var en byggnad formad som ett T (samma byggnad som visas som BIM-modell under avsnitt 5.2.1) och på den använde vi 11 stöd uppsatta på fasaden. Stöden och fasaden mättes in med totalstation och i detta test kom vi ner på avvikelser på 3 cm och lägre mellan inmätt fasad och fasaden i punktmolnet. Det visar att det går att få ett bra resultat utomhus med en SLAM-skanner ändå. Likaså fick vi till ett lyckat test utomhus med flygning över ett väldigt begränsat område. Det handlade om en korsning och dess närområde. Vi använde 8 stycken reflexstöd inom ett område på 60 x 30 meter och det gav också avvikelser på som mest 3 cm.



Det är alltså möjligt att få till så pass bra resultat utomhus, men det handlar då om väldigt begränsade områden och det behövs förhållandevis många stöd. I exemplet med den T-formade byggnaden användes 11 stöd uppsatta på byggnadens fasad och dessa mättes in från 6 stycken totalstationsuppställningar runt byggnaden. När områdena blir begränsade till storlek och det samtidigt är en hel del inmätning är det lätt att ställa frågan kring effektiviteten, vilket också får till följd att det påverkar när insamlingsmetoden används. Det gäller då att informationen som samlas in väger upp den tid som datainsamlingen tar. Beroende på tänkt användning kan mängden data som fås ut absolut ha potential att väga upp det ändå.

5.3.1.4. Inomhus

Denna insamlingsteknik har fungerat allra bäst inomhus. Inomhus är det nästan alltid korta avstånd till objekt som kan nyttjas för skapandet av punktmoln. Dessutom är det få eller åtminstone färre objekt som rör på sig. Det är mycket större möjligheter att få ut ett punktmoln av god kvalitet efter processandet. Eftersom det har fungerat så bra har vi också använt utrustningen inomhus i större utsträckning än vad vi tänkte från början.

Vi har skannat ett flertal byggnader invändigt och fått med alla utrymmen på flera våningar. Det har krävts en del inmätning av stöd med hjälp av en totalstation för att sätta ihop punktmolnen och georeferera dem. Det har gett ett lyckat resultat där materialet fungerar utmärkt för BIM-modellering, då det ofta behövs ett detaljerat underlag.

Inomhus har kvalitén på data blivit bra (upp till 3-4 cm) i princip varje gång, både med och utan den extra funktionen med reflexstöd. Den funktionen ger något lägre avvikelser. Avvikelserna kan vara försumbara i många fall. Dock ger funktionen en extra stabilitet och säkerhet i att önskad kvalitet nås. Det har hänt att processen med att sätta ihop ett punktmoln har misslyckats. Då har det ofta berott på en trång passage eller liknande, som har gett upphov till att kopplingen mot tydligt definierbara objekt har tappats. Ibland går det att justera inställningar och starta om processen, men vid enstaka tillfällen har vi fått skanna om en del.

5.3.2. Förbättringsmöjligheter

När det kommer till just en SLAM-skanner finns det en del att tänka på för att få ett lyckat resultat, samtidigt som det finns vissa parametrar att skruva på. En del av svårigheterna och begränsningarna har visats sig i det som beskrivits ovan.

5.3.2.1. Skanningsteknik

Hur skannern förflyttas har stor påverkan på slutresultatet, vilket är viktigt att tänka på vid insamling av data. Det är närmast ett måste att varje skanning startas och avslutas på samma plats. Vid start och slut är det också bra att skanna lite längre tid. Detta för att hjälpa programvaran att hitta de tydliga objekten som används för att sätta ihop ett punktmoln. Start- och slutpunkt bör också innehålla flera av dessa tydligt definierbara objekt. Ett ytterligare sätt att hjälpa programvaran är att se till att ha ett rejält överlapp och att varje gång skannern återgår till en redan tidigare skannad plats hjälpa till att skapa ett överlapp. Även när skannern flyttas runt är det bra att alltid eller så ofta som möjligt ha en koppling till de här tydligt definierbara objekten. En öppen yta blir av den anledningen problematiskt.



Vid trånga passager är det en fördel att gå bakåt igenom dessa för att på så sätt behålla kopplingen till redan skannade objekt. Vid skanning inomhus backas oftast genom dörrar eller liknande. Annars är risken större att koppling bryts och det är inte säkert att programvaran kan ta fram ett punktmoln.

När stöd används, oavsett om det är vanliga stöd enbart för flytt av färdigt punktmoln eller om det är reflexstöd för att nyttjas i bearbetningsprocessen, är avståndet till stöden viktig. Skanning behöver ske från ett kort avstånd till varje stöd och gärna att skannern stannar till lite vid varje stöd.

Allt det här som har nämnts kring hur skannern förflyttas är lättare att uppnå vid handburen skanning, men det blir desto svårare vid flygburen skanning, framför allt vid flygning i rutt.

Närheten till stöden när vi har flugit i rutt har vi löst genom att vi avbrutit rutflygningen när ett stöd passerats och då gått ner till bara någon/några meter över stödet, för att sedan stiga igen och fortsätta ruten med samma procedur över varje stöd.

En annan parameter är hastigheten som skannern förflyttas på. Eftersom koppling hela tiden sker mellan skannade objekt får förflyttningen inte ske med snabba rörelser. Vid flygburen skanning har vi flugit i intervallet 1.5 – 2.0 m/s. Eftersom det finns ett tydligt beroende av närheten till de nämnda tydligt definierbara objekten har flygning skett på upp till 30-40 meters höjd. Hastighet i kombination med flyghöjd och att sänka ner över stöden leder till att det tar förhållandevis ganska lång tid att flyga jämfört med andra flygburna insamlingsmetoder.

5.3.2.2. Markstöd

Markstöd i form av reflexer ger som ovan nämnt en förbättring av kvalitén, men det betyder inte att det går att skanna utan att följa det som nämnts under skanningsteknik ovan. Stöden ger som sagt en viss förbättring och ökad tillförlitlighet i att önskad kvalitet är uppnådd. Det har också visat sig att det behövs både fler och tätare stöd än vad vi trodde från början.

5.3.2.3. GNSS

Att ta stöd av GNSS har under detta projekt inte varit möjlig för vår SLAM-skanner. Den möjligheten fanns inte för någon SLAM-skanner på marknaden när projektet startade. Den senaste tiden har flera tillverkare av utrustning och programvaror börjat ta fram lösningar på detta. Tillverkaren av vår utrustning har precis implementerat detta i sin programvara, men inte lanserat detta ännu. Det är alltså inte möjligt att testa hur det påverkar inom detta projekt. Det är dock något som är värt att testa framöver.

5.3.2.4. Utplacering av objekt

Ett annat sätt att hjälpa skannern att nå de här omtalade definierbara objekten, som uppenbarligen behövs, är att själv placera ut objekt om det nu inte redan finns i området. Detta har testats någon enstaka gång, men inget utförligt testande kring hur många eller hur stora objekt som behövs har utförts. Det går dock att konstatera att objekten behöver vara ganska stora eller åtminstone höga vid flygburen skanning. Det blir också tidskrävande, eftersom det blir ett moment till. Dels skall objekten tas med och placeras ut, dels skall markstöd placeras ut och mätas in. Detta gör att det blir ganska mycket och tidskrävande förberedelser inför varje flygning, speciellt med tanke på att objekten behöver ha viss storlek för att fungera och dessutom ha viss tyngd för att inte flytta på sig.

5.3.2.5. Bearbetning av data

I bearbetningsprogramvaran kan olika inställningar påverka resultatet och olika inställningar kan behövas beroende på hur skanningen har utförts och vilken typ av område som har skannats. Det kan vara nödvändigt att processa med olika inställningar för att hitta det optimala för just den skanningen. Ibland kan en viss typ av inställningar inte processa ett korrekt punktmoln alls utan det kan bli som ett klot eller ett långt streck. Ändras inställningar kan ett korrekt punktmoln fås fram.

Databearbetning efter att processen med att sätta ihop ett punktmoln har slutförts kan också höja kvalitén på data. Kring varje yta eller varje del som skannas blir det en viss tjocklek i punktmolnet på flera centimeter. Det finns vissa filtreringsfunktioner, som kan användas på punktmoln för att minska denna tjocklek. Det gör att de sämsta punkterna på varje del tas bort. Det ger ett renare punktmoln och gör det tydligare att bedöma var objektet faktiskt är. Samtidigt kan mitten där det är som tätast ändå bedömas oavsett tjockleken i punktmolnet när objekt skall extraheras. Det begränsar nyttan något, men eftersom punktmolnet rensas på dåliga punkter ger det ändå säkrare bedömning ifall tyngdpunkten inte skulle vara i mitten (Se exempelbilder från filtrering under avsnitt 5.1)

5.3.3. Jämförelse med annan mobil laserskanning

En laserskanningsutrustning utan SLAM-teknik är beroende av GNSS för att bestämma laserskanningsutrustningens position och därigenom kan ett punktmoln tas fram. Nu har en sådan utrustning inte testats i detta projekt, men vi har ändå kunnat titta på data från ett par sådana. SLAM-tekniken har uppenbara fördelar i att den kan användas inomhus, under andra objekt och i trånga miljöer. Däremot blir en SLAM-skanner begränsad i exempelvis öppna miljöer. Det gör att en GNSS-beroende skanner har större nytta om enbart utomhusinsamling skall utföras och över stora områden, vilket ofta fallet kan vara vid kartläggning. Det bästa kanske kan vara en kombination och det verkar vara på gång i branschen då sådan utrustning börjar komma ut på marknaden. Det låter onekligen bra, men det behöver testas hur väl det fungerar att kombinera i samma utrustning.

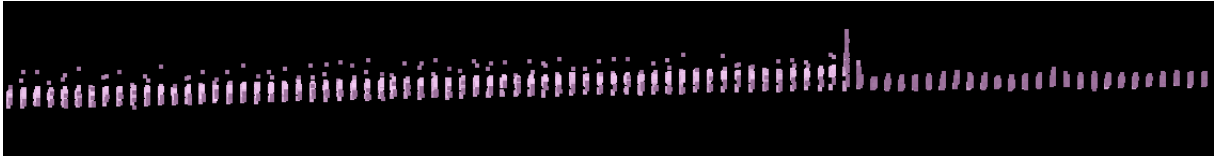
När det handlar om kvalitét är vår uppfattning att en SLAM-skanner ändå har större möjligheter till en högre kvalitét än en skanner med GNSS-beroende, åtminstone vid utrustning i samma prisklass, men då på kraftigt begränsade områden och med mer förberedelser i form av tätare stöd. Samtidigt visar våra tester att det med en SLAM-skanner finns fallgropar och svårigheter att få till ett bra resultat, men att det kan bli väldigt bra när det lyckas och förutsättningarna är goda.

Det skall också nämnas att det finns laserskanningsutrustning i ganska skilda prisklasser och därför behöver jämförelser göras med det i beaktande. Det finns betydligt dyrare laserskanningsutrustningar med GNSS-beroende och som också påstås ha en väldigt mycket bättre mätosäkerhet. De har vi inte haft möjlighet att testa i detta projekt. Det kan också nämnas att SLAM-skannrar förbättras och börjar också komma i ganska skilda prisklasser numera. Det finns flera nyare som har släppts under tiden detta projekt har pågått. Enbart den utrustning vi har använt, Hovermap, har släppts i två nyare versioner kallade ST och ST-X under projektiden. De både skannar fler punkter och uppges ha en bättre mätosäkerhet.

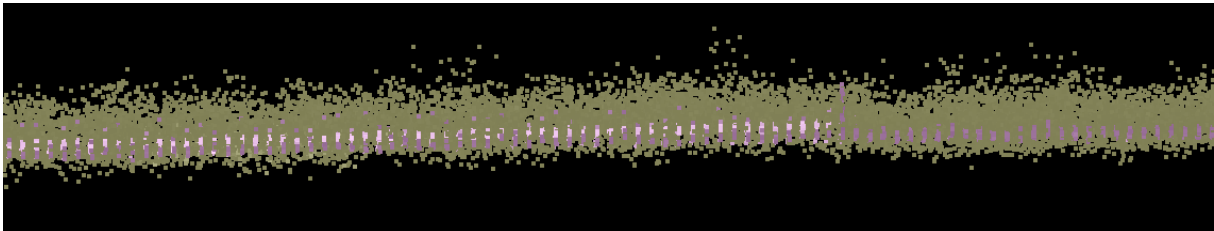
Tidsmässigt blir SLAM-skannern något begränsad beroende på insamlingshastighet och avstånd till objekten som skannas och avstånd till stöden. En GNSS-beroende skanner kan normalt flyga snabbare och kanske även på högre höjd. Kvalitén minskar med hastigheten och avstånd till objekt. Det gäller alla typer av mobil laserskanningsutrustning så det är inget som är enbart kopplat till SLAM-tekniken.

5.3.4. Jämförelse med terrester laserskanning

Om jämförelse görs mellan SLAM-skannern och terrester laserskanning finns det en del uppenbara skillnader. Kvaliteten på data är en väldigt tydlig skillnad. Ett punktmoln från en terrester laserskanner blir mycket renare, vilket syns väldigt tydligt. Kvaliteten på data är också betydligt jämnare med en terrester laserskanning. De här små förskjutningarna som hela tiden uppstår med SLAM-tekniken leder till att avvikelserna varierar inom ett område, på ett sätt som inte uppstår med en terrester laserskanner. En terrester laserskanner har en mer jämnare mätosäkerhet. Även för en sådan ökar osäkerheten med avståndet skall sägas.



Samma vägg på en byggnad som visades under avsnitt 5.1. Väggen visas alltså ovanifrån (2D-vy). Fasaden är inte helt slät och inte heller exakt i lod, vilket förklarar utseendet. Bilden visar ändå tydlig skillnad i avsaknad av mycket brus.



Punktmoln från terrester laserskanning i lila färg och filtrerat punktmoln från SLAM-skanner i gult. En extra notering kan göras att den terrestra skanningen inte hamnar exakt i mitten på SLAM-skannern heller, trots att många felkällor minimerats genom att stöd mätts in från samma totalstationsuppställning som skanningen utförts ifrån.

En fördel med SLAM-skannern är just mobiliteten. Skannern kommer åt och får data på många olika ställen medan en terrester skanner alltid har objekt som skymmer andra objekt och det går inte att uppnå samma täckningsgrad utan en orimlig mängd uppställningar. Samtidigt kanske inte det har någon betydelse. Det beror på vad data skall användas till.

Det kan gå snabbt att utföra själva skanningen med en SLAM-skanner. Samtidigt behövs det förberedelser i form av mätning för att få ett bra resultat. Beroende på förutsättningar och vad insamlat data skall användas till kan insamlings effektiviteten variera.

5.3.5. Jämförelse med fotogrammetriska metoder

Vid jämförelse med fotogrammetriska insamlingsmetoder handlar det om att jämföra laserskanning med fotogrammetri. När det gäller kvalitet nämndes det ovan att det finns en större variation mellan mobil och terrester laserskanning. På samma sätt blir den här variationen ännu större vid fotogrammetriska metoder. Variationen i avvikelserna mot referensmaterialet är ännu större när det kommer till fotogrammetri. Insamlat data med en mobil laserskanner ger alltså en jämnare kvalitet än data insamlat med fotogrammetriska metoder. Detta gäller under förutsättning att jämförelse inte görs med misslyckad/dålig SLAM-skanning som har nämnts ovan.

Vi har gjort mängder med tester med fotogrammetri med olika kameror, med och utan GNSS, variation kring markstöd i placering, antal, utformning, och även olika flygparametrar såsom flyghastighet och överlapp m.m. Det är svårt att nå mer på 5 cm eller bättre med fotogrammetri, åtminstone att det går att uppnå inom ett helt område med hög tillförlitlighet. Varje gång vi har

jämfört mot annan data har det alltid funnits avvikelser på över 5 cm på någon plats inom området även om det på de flesta platser är bättre än så. Variationen upplever vi som hög. Här är laserskanning stabilare.

Andra skillnader är att laserskanningsutrustning oftast har ett eller flera ekon, vilket betyder att en enskild laserstråle kan delas upp och ge träff på både ett blad på en gren och på marken under när det finns vegetation i ett område. Det är en stor fördel med laserskanning att det går att få mer data på marken jämfört med fotogrammetri som enbart ger träff på det översta som syns.

När flygning sker med en kamera för fotogrammetrisk insamling blir en del av resultatet ett ortofoto och det kan många gånger vara själva slutprodukten och syftet med flygningen. I de fallen är fotogrammetrisk insamling att föredra. Fler och fler laserskanningsutrustningar har dock en kamera för att framtagna punktmoln skall kunna färgläggas. Material från denna kamera kan användas med fotogrammetri för att komplettera med ett ortofoto, vilket annars inte fås med en laserskanningsutrustning. Ett sådant ortofoto är svårare att få till, framför allt för att flygning med laserskanning sker i glesare stråk än vad flygning för fotogrammetri utförs med. Vi har en kamera på den utrustning som har använts i detta projekt och vi har testat att använda den för att ta fram ett ortofoto. Det har varit ett blandat resultat. Ibland har det inte gått att få ihop och ibland har ortofotot blivit lite ojämnt. Som ett komplement kan det dock ändå finnas ett syfte. Annars är det egentligen två olika flygningar just på grund av den nämnda skillnaden i överlapp. Även flyghöjden kan vara en stor skillnad. Det går generellt sett att flyga högre och även snabbare med fotogrammetrisk metod och då kan större områden täckas in effektivare.

6. Reflektioner kring användning

Det är ingen tvekan kring att data från flygburen laserskanning kan vara användbart på många olika sätt inom kommunal verksamhet, men som alltid gäller det att hålla koll på dess kvalité och därefter bedöma när det är lämpligt att använda eller inte.

6.1. Extrahera geografiska data till kartprodukter

Det är fullt möjligt att extrahera data som sedan kan användas i olika kartprodukter såsom Grundkarta eller Nybyggnadskarta. Ibland kan dock bedömningen vara svårare i ett punktmoln jämfört med i verkligheten då punktmolnet kan vara otydligare och dessutom behöver hanteras i 3D. Kvalitén behöver också vara känd för att veta när det går att använda och inte. Det kan bli ganska tidskrävande om extraheringen av data från punktmoln skall göras helt manuellt då det först blir tid för insamlingen och sedan även tid för extraheringen vid dator. Omfattningen både kring hur stora områden det handlar om och hur mycket detaljer som skall samlas in blir då avgörande för om det blir en tidsvinst eller inte jämfört med konventionell mätning. I takt med utvecklingen som dessutom går snabbt blir det mer och mer automatik i extraheringen, vilket leder till att tidsvinsten kan bli större i framtiden.

6.2. Inomhusfördel

Mobil laserskanning med SLAM-teknik har klara och tydliga fördelar vid insamling av data inomhus och/eller i trånga utrymmen. Insamling av data för BIM-modellering av befintlig byggnation är ett stort användningsområde för en SLAM-skanner.



6.3. Kombination med mätdata

Data från laserskanning tillsammans med konventionellt mätt data kan komplettera varandra på ett väldigt lyckat sätt. Det gäller oavsett om det handlar om data från terrester eller mobil laserskanner. För den som skall använda data vidare kan då få en mycket större förståelse för hur det ser ut på platsen, jämfört med ifall det bara finns konventionellt mätt data. Utöver en bättre bild av platsen finns det också möjlighet att se hur det ser ut mellan inmätta objekt. Det kan då bli tydligare om mer behöver mätas konventionellt, men samtidigt kan data även plockas ifrån punktmolnet om komplettering behövs. Val av metod för komplettering beror som alltid på datakvalitén kontra dess användningsområde.

Enbart ett punktmoln kan vara av nytta många gånger. Det finns även ett stort värde för den som skall ta över data och arbeta vidare med materialet att få objekten som punkter, linjer och ytor. Just att få dessa objekt behövs i många fall även ifall ett punktmoln finns. Det finns tydliga fördelar med att insamlaren av data tar fram det materialet, för att det är den som samlar in data som gör den bedömningen bäst och det är svårt att komma ifrån att bäst bedömning görs på plats. Vid skapande av objekt i form av punkter, linjer och ytor görs alltid en form av generalisering och då kan punktmolnet fungera som en bekräftelse på hur den generaliseringen är gjord. Det kan då även ge en större förståelse för tillvägagångssätt och även vad gäller fördelar och nackdelar med konventionell mätning för en person som inte är insatt i det. En kombination av både konventionella mätdata med ett punktmoln kan vara till stor nytta i projekteringssammanhang exempelvis.

6.4. Jämförelse med andra produkter

Det är tydligt att konventionell mätning håller en högre kvalitet jämfört med framför allt flygburen datainsamling, som det har fokuserats på i detta projekt. Något annat har inte varit att vänta, men för att flygburet insamlat data skall få så stor användning som möjligt behöver kvalitén på det insamlade materialet bli så nära konventionell mätning som möjligt. Att nå hela vägen fram kvalitetsmässigt är som sagt inget att räkna med. Samtidigt finns det andra produkter tillgängliga, som också kan duga bra i olika sammanhang. Exempelvis finns det landstäckande laserskanningar utförda med flygplan, som Lantmäteriet tillhandahåller. Kvalitén i höjdled på detta material brukar ofta röra sig om cirka en decimeter. I många fall kan det vara så att det räcker med ett sådant material kombinerat med konventionellt insamlat data. Då blir risken att data insamlat från en UAS blir överflödigt, framförallt om kvalitén inte blir bättre än dessa landstäckande laserskanningar. Sedan finns det givetvis andra fördelar med data från UAS, såsom att aktualiteten blir bättre med nyare data och det kan ofta vara nog så viktigt. Punkttätheten skiljer också rejält jämfört med landstäckande laserskanningar.

7. Summering

För att komma igång med insamling av data med en UAV försedd med laserskanningsutrustning är det en stor tröskel att ta sig igenom det gällande regelverket för att få ett tillstånd att flyga (avsnitt 1.1). Det behövs ett tillstånd inom det som kallas specifik kategori vilket tog oss 1,5 år att lösa. Tiden går säkert att korta numera eftersom regelverket var nytt för alla inblandade när vi började med det arbetet. Det går dock inte komma ifrån att det är ett omfattande arbete som krävs för att nå dit. Några alternativ finns egentligen inte i nuläget. Regelverket kommer förmodligen inte att ändras, även om det garanterat kommer att skruvas lite på tillämpningarna framöver. Om det blir mycket enklare är dock svårt att svara på. En annan möjlighet är att UAV försedd med laserskanningsutrustning skulle bli så lätt att de kan väga under 250 gram. Det skulle öppna upp möjligheterna mer. Då

laserskanningsutrustning väger en hel del i nuläget jämfört med exempelvis en kamera ligger det en bit framåt i tiden.

Under våra tester med en SLAM-skanner har vi haft svårigheter att uppnå önskad kvalitet, vilket har nämnts under framför allt avsnitt 5.3. Vi har haft önskemål om att uppnå en mätosäkerhetsnivå på ± 3 cm. Det har varit möjligt med vår utrustning inomhus och utomhus i vissa typer av områden, som till ytan dessutom har varit kraftigt begränsade. Det är alltså möjligt att uppnå den nivån, men det är inte lätt och krävs en del för nå dit. Vi har inte kunnat testa hur det är med en annan mobil laserskanningsutrustning som inte bygger på SLAM-teknik i detta projekt. Vi har ändå svårt att se att det skulle vara möjligt att uppnå data med den önskade mätosäkerheten med hög tillförlitlighet över stora områden utifrån det material vi har haft tillgång till, andras erfarenheter och tillverkarnas specifikationer. Utrustning i den billigaste prisklassen når inte alls upp till det ens i sina specifikationer. Möjligtvis kan det vara möjligt i den högsta prisklassen av utrustning. Utvecklingen går dock snabbt framåt och det bör finnas bättre förutsättningar när flera metoder kan kombineras. SLAM-teknik kombinerat med markstöd och GNSS med den bästa utrustningen skulle kanske kunna nå dit.

Det största problemet är inte ifall mätosäkerheten inte når nivån inom ± 3 cm, utan tillförlitligheten i kvalitén. Utifrån alla våra jämförelser varierar avvikelserna ganska mycket inom ett och samma område. Det gör det svårt att veta när data är användbart och inte. Ovissheten kring kvalitén gör det oerhört svårt att bedöma när det går att använda. Samma uppfattning har vi fått kring all mobil laserskanningsutrustning. När det kommer till fotogrammetriska metoder är variationerna ännu större, vilket gör den typen av data ännu svårare att bedöma. Att det är användbart i sammanhang där data enbart skall användas grovt, som kanske volymeräkning av massor, en grov förprojektering eller visualisering, är självklart. När det gäller alla tillämpningar däremellan upp till de med de högsta kraven är det svårt att bedöma när det är användbart.

Det går alltid att kontrollera data och det behövs alltid i någon form. Kontrollerna får dock inte bli så rigorösa att samma typ av data måste samlas in fullt ut på flera sätt, då uppnås aldrig någon tidsvinst.

Punktmoln används i många tillämpningar redan idag och den typen av data kommer bli mer och mer användbar i framtiden, både i takt med utvecklingen av produkterna och bearbetningsprogramvaror. Fler automatiska funktioner som fungerar allt bättre byggs in i programvarorna och i kombination och nyttjande av AI kommer all hantering av punktmoln i programvaror förbättras. Det är ett utvecklingsområde där det händer mycket. Ett stort användningsområde är att extrahera data från punktmolnen, vilket kommer leda till fler nyttor inom kartering.

Vår skanningsutrustning har under projektiden släppts i två nyare och bättre versioner, så det finns inget tvivel om att utvecklingen går snabbt. De problem vi har stött på med utrustning kommer säkert kunna minskas i takt med utvecklingen framöver. Laserskanning kommer användas mer och mer framöver. Förmodligen gäller det i framtiden att tänka ännu mer på att kombinera olika metoder i en och samma insamling för att få ut tillräcklig kvalitet där det behövs. Konventionell mätning i kombination med både terrester laserskanning och mobil laserskanning i ett och samma uppdrag kan bli framtiden för alla metoder har sina fördelar och nackdelar. Generellt kring insamlingsmetoder är att det utvecklas ständigt nya metoder, men det är sällan så att någon metod försvinner helt.

