

HMK
- handbok i mät- och kartfrågor

Terrester laserskanning

2015



HMK-Terrester laserskanning, status 2015

HMK-Terrester laserskanning 2015 har uppdaterats med

- länkar till andra dokument

Uppdateringarna har utförts av Anders Grönlund, Lantmäteriet.

Gävle 2016-06-30

/Anders Grönlund, Uppdragsledare HMK

Förord 2015

Terrester laserskanning är ett område som snabbt växer och används inom många verksamheter.

Det har medfört att vi inom HMK beslutat att skriva en handledning för detta.

Arbetet har utförts av Yuriy Reshetyuk vid Högskolan i Gävle.

Gävle 2016-02-03
Uppdragsledare
Anders Grönlund

[Samlade Förord](#)

Innehållsförteckning

1	Inledning.....	5
2	Teknisk specifikation.....	7
2.1	Allmän beskrivning.....	7
2.2	Specifikation av arbetets omfattning.....	8
2.3	Specifikation av utgångsmaterial.....	8
2.4	Specifikation av produkten.....	8
2.4.1	Detaljnivå (geometrisk upplösning).....	9
2.4.2	Lägesosäkerhet.....	10
2.4.3	Tilläggspecifikation.....	10
2.5	Specifikation av leverans.....	11
2.5.1	Referenssystem.....	11
2.5.2	Laserdata och bilder.....	12
2.5.3	Tilläggspecifikation av leverans.....	13
3	Genomförande.....	15
3.1	Planering av skanning.....	15
3.1.1	Rekognosering.....	15
3.1.2	Val av skanner.....	16
3.1.3	Referenssystem, stöd- och kontrollpunkter.....	17
3.1.4	Val av metod för registrering och georeferering samt skanners uppställningar.....	20
3.2	Registrering och georeferering.....	22
3.2.1	Indirekt georeferering.....	22
3.2.2	Direkt georeferering.....	27
3.3	Datainsamling.....	29
3.3.1	Instrument.....	29
3.3.2	Punkttäthet.....	29
3.3.3	Uppställning av skanner och signaler.....	30
3.3.4	Styrning av skanner.....	31
3.3.5	Omfattning av skanning.....	31
3.3.6	Förhållanden vid skanning.....	32

3.3.7	Fältanteckningar	33
3.3.8	Lasersäkerhet	33
3.4	Databearbetning	34
3.4.1	Förberedelse av data	34
3.4.2	Registrering och georeferering	35
3.4.3	Datarensning	35
3.4.4	Reducering av antalet punkter	35
3.4.5	Leverans	36
4	Beställarens kontroll	37
5	Referenser/Läs mer	38
	Bilaga A.1: Produktionsdokumentation	40
	Bilaga A.2: Metadata	41
	Bilaga A.3: Kontroll av laserdata	42
A.3.1	Komplett leverans	42
A.3.2	Produkt	42
A.3.3	Fördjupad kontroll vid behov	45
	Bilaga B.1: Mall för upprättande av teknisk specifikation	46

1 Inledning

För eventuella fortlöpande justeringar av detta dokument, se [HMK-nytt](#).

HMK-Terrester laserskanning (TLS) behandlar laserdata insamlade med hjälp av terrestra laserskannrar, på avstånd till objektet mellan några och hundratals meter. Dokumentet har utarbetats baserat på befintliga riktlinjer, specifikationer och rekommendationer för TLS samt vetenskapliga och andra publikationer. Förteckning över dessa finns i avsnitt 5. Författaren är tacksam till Historic England för tillstånd att använda materialet från referens [5] i detta dokument.

För hur strukturen är uppbyggd i detta dokument samt hur hänvisningar skall göras, läs [HMK-Introduktion](#) avsnitt 1.7

Dokumentet stödjer:

- Upprättande av en teknisk specifikation
- Genomförande av ett uppdrag avseende terrester laserskanning
- Kontroll av leverans.

Dokumentet omfattar HMK-standardnivå 3 – projektinriktad mätning och kartläggning för projektering och byggande. Läs mer om HMK-standardnivåer i [HMK Geodatakvitet 2015](#) avsnitt 2.6

Frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i [HMK-Introduktion 2015](#), avsnitt 3.

TLS används idag för kostnadseffektiv, noggrann och detaljrik 3D-dokumentation av olika objekt och miljöer, till exempel industrier, byggnader, dammar, tunnlar, broar, historiska minnesmärken och arkeologiska utgrävningar. Dess främsta tillämpning är alltså en återgivning av ett objekts *geometri* i 3D med låg lägesosäkerhet och hög detaljnivå. Därför, även om TLS kan betraktas som geodetisk mätningsteknik, får den också ses som en "3D-metrologisk" mätningsteknik. För utförligare beskrivning av tekniken hänvisas till referens [1].

Jämfört med flygburen och fordonsburen laserskanning (HMK-Laserdata 2015 respektive HMK-Fordonsburen laserdatainsamling 2015) används TLS i mera varierande miljöer (till exempel både inom- och utomhus) och under mera varierande förhållanden. Det är därför omöjligt att ge, i föreliggande dokumentet, specifika rekommendationer för skanning i en viss miljö. Istället är det i första hand anpassat för tillämpningar inom byggd miljö. Vissa TLS tillämpningar kan kräva att utföraren tar hänsyn till ytterligare aspekter eller vidtar ytterligare åtgärder, som inte behandlas i detta dokument.

Ett lyckat genomförande av TLS-mätningar kräver gedigna kunskaper inom denna teknik och geodetisk mätningsteknik i allmänhet. Därför bör beställaren av TLS-tjänster kräva att utföraren i fält uppvisar ett bevis om avklarad utbildning i TLS, samt har grundläggande mätningsteknisk färdighet (enligt Lantmäteriets rekommendationer). Därutöver ska utföraren kunna uppge referenser för utförda TLS-uppdrag med kontaktuppgifter.

Avgränsningar

I detta dokument behandlas inte:

- Närbildslaserkannrar (eng. close-range laser scanners) som används för mycket noggrann (mikrometernivå) dokumentation av relativt små föremål.
- Handhållna laserskannrar.

2 Teknisk specifikation

Vid upprättande av teknisk specifikation använder beställaren detta avsnitt samt bilaga B.1 "Mall för upprättande av teknisk specifikation" som stöd.

En teknisk specifikation kan helt eller delvis bestå av hänvisningar till en eller flera befintliga dataproduktspecifikationer (DPS) eller formella standarder. Avsnitt 2 och 3 kan även användas som checklista för att säkerställa att aktuell DPS/standard omfattar alla relevanta krav vid beställning av laserdata.

För generell information om upprättande av teknisk specifikation se [HMK-Introduktion 2015](#), avsnitt 2.1.

2.1 Allmän beskrivning

Rekommendation

Beställaren beskriver översiktligt:

- a) de tjänster och produkter som den tekniska specifikationen omfattar, det vill säga vad som ska utföras och levereras
- b) hur produkterna ska användas.

Den allmänna beskrivningen kan öka förutsättningarna för samsyn mellan beställare och utförare. I första hand behöver beställaren ange syftet med projektet, till exempel underlag för om- eller tillbyggnad, renovering, kontroll av krockar med befintlig utrustning, volymberäkningar, skapande av relationsritningar, visualisering, etc.

Om beställaren inte är fullt medveten om TLS möjligheter och begränsningar, framför allt lägesosäkerhet och detaljnivå, bör utföraren, om möjlighet finns innan upphandlingen påbörjas, upplysa beställaren om TLS potential ("vad man kan göra med data"). En sådan dialog mellan beställaren och utföraren är viktig för att klargöra om TLS är en lämplig mätningsteknik i sammanhanget, eller om det är mer fördelaktigt att använda andra mätmetoder, till exempel en totalstation.

TLS är en lämplig mätningsteknik för detaljerad 3D-dokumentation:

- Av objekt med komplex form som kan vara svåra att mäta in med andra mätmetoder.
- Av svårtillgängliga eller farliga objekt.
- Inför renovering eller ombyggnation.

- Av objekt som kan bli förstörda eller förlorade, till exempel arkeologiska utgrävningar och historiska minnesmärken, så att de kan återskapas i exakt form och storlek.
- Vid behov av 3D-modeller för visualisering.

2.2 Specifikation av arbetets omfattning

Krav

Beställaren specificerar arbetets omfattning.

Beställaren ska ange vilka områden som ska skannas och vilka som ska utelämnas. Dessa kan markeras på befintliga planritningar. Ytterligare kan skanningsområden preciseras på bilder av det aktuella objektet och dess olika delar (till exempel robotceller i en bilfabrik), tagna från olika perspektiv. Till exempel kan beställaren ange om omkringliggande mark eller eventuella tillbyggnader ska ingå i skanningen. Om det är relevant ska beställaren även specificera objekttyper som ska skannas.

2.3 Specifikation av utgångsmaterial

Rekommendation

Beställaren beskriver vilket befintligt material som kan ställas till utförarens förfogande och anger filformat samt referenssystem.

Befintligt material, som kan underlätta och effektivisera planering och genomförande av uppdraget, är till exempel:

- Plan- och designritningar
- Bilder av objektet
- Information om befintligt referenssystem och stomnät på objektet, koordinatlistor, beskrivningar av stom- och stödpunkter med tillhörande metadata och kvalitetsuppgifter.

Om materialet är i digital form ska filformat anges.

2.4 Specifikation av produkten

Krav

Beställaren ställer krav på detaljnivå (geometrisk upplösning) och lägesosäkerheten hos slutprodukten.

Rekommendation

Beställaren anger HMK-standardnivå för slutprodukten.

Information

Med slutprodukten avses i detta dokument ett registrerat och i förekommande fall georefererat punktmoln som representerar objektet eller området som har skannats.

Punktmoln från TLS kan bearberas vidare till andra produkter som inte tas upp i detta dokument, till exempel 3D-modeller, sektioner, 2D-ritningar och animeringar.

I detta dokument behandlas HMK-standardnivå 3 med krav på lägesosäkerhet på 5 cm eller bättre. En annan parameter som brukar anges i laserskanningssammanhang är punkttäthet. Den kan vara uttryckt som (vanligast) avståndet mellan intilliggande punkter på ett specifikt avstånd från skannern, eller som antalet punkter per m². I fall med TLS kan punkttäthet vara större än 10 000 punkter/m² (motsvarar punktavstånd under 10 mm).

2.4.1 Detaljnivå (geometrisk upplösning)

Beställaren ska specificera detaljnivå genom att ställa krav på vad som ska kunna identifieras i punktmolnet. Detta kan göras genom att ange minsta objektstorlek som ska kunna identifieras. Detaljnivå kan variera mellan olika delar av objektet beroende på deras storlek och/eller beskaffenhet. Observera att högre detaljnivå kräver högre punkttäthet och, som följd, längre tid för skanning. Därför ska behovet av detaljnivån avvägas noga innan kravet formuleras, eventuellt i samråd med utföraren.

Det är viktigt att komma ihåg att detaljnivå i ett punktmoln beror på både punkttätheten och träffbildens storlek på objektets yta ([HMK-Geodatakvalitet 2015](#), avsnitt 2.8). Det är därför omöjligt att specificera detaljnivå genom att endast ange punkttätheten. Istället får det överlåtas till utföraren att bestämma vilken punkttäthet som krävs för att uppfylla de ställda kraven.

2.4.2 Lägesosäkerhet

Idag är det möjligt att uppnå lägesosäkerhet i laserdata som är mindre än 10 mm (referenser [6, 8]). Lägesosäkerheten beror dock på många olika faktorer, en av vilka är georeferering. Den relativa lägesosäkerheten i TLS ligger ofta på "millimeternivå" (mindre än 10 mm). Beroende på hur stödpunkter är bestämda, kan den här osäkerhetsnivån uppnås eller inte.

Koordinater av stödpunkter inmätta med en totalstation och bestämda i en minsta kvadratutjämning (till exempel i ett byggplatsnätverk) har ofta lägesosäkerhet på 1 mm eller mindre. I sådana fall påverkas absolut lägesosäkerhet i slutprodukten väldigt lite av referenssystemets lägesosäkerhet. Å andra sidan, om stödpunkternas koordinater bestäms med nätverks-RTK (som har lägesosäkerhet på upp till några centimeter, se [HMK-Geodatakvalitet 2015](#), bilaga A.2), kan den absoluta lägesosäkerheten i slutprodukten komma att påverkas väsentligt av georefereringen. Därför kan den absoluta lägesosäkerheten vara betydligt högre än den relativa.

Krav på lägesosäkerhet ställs utifrån kraven för användningen av den beställda produkten.

2.4.3 Tilläggspecifikation

Rekommendation

Beställaren specificerar eventuella övriga krav på genomförandet.

Beställaren bör inte detaljstyra genomförandet, utan så långt som möjligt överlämna det till utföraren enligt beskrivning i avsnitt 3.

Stöd- och kontrollpunkter

Om ett stomnät saknas på objektet eller om det befintliga stomnätet har bristande kvalitet, ska utföraren etablera ett stomnät, om punktmoln ska georefereras.

Oftast behövs kontrollpunkter för verifiering av lägesosäkerheten i punktmolnet. Kontrollpunkter ska vara geografiskt skilda från stödpunkter som använts vid georeferering av punktmolnet.

Specificering av antalet och placering av kontrollpunkter kan göras av beställaren eller överlåtas till utföraren.

Både stöd- och kontrollpunkter ska vara väl spridda över objektet som skannas.

Färgsättning av punktmoln

Eventuella krav på färgsättning ("texture mapping") av punktmoln (genom drapering av bilder tagna vid skanningen) specificeras vid behov av beställaren. Bilder kan tas med en extern kamera eller en kamera inbyggd i eller fäst på skannern. Kvaliteten i färgsättningen beror på vilken typ av kamera som används samt rådande ljusförhållanden.

Intensitet och färg underlättar tolkning och modellering av objekt i punktmoln. Ett färgsatt punktmoln eller en 3D-modell är också användbart vid till exempel visualisering av befintliga miljöer.

Beställaren kan också kräva att högupplösta bilder ska tas för att ge en översikt över skannerns uppställning och det skannade objektet, för att vara en del av produktionsdokumentationen.

2.5 Specifikation av leverans

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar vilka produkter som ska levereras.
- b) Beställaren specificerar krav på produkterna.
- c) Beställaren specificerar eventuella tilläggskrav på produktionsdokumentationen.

2.5.1 Referenssystem

Krav

Beställaren anger om data ska vara georefererade samt eventuellt referenssystem i plan och höjd för slutprodukten.

Beroende på syftet med skanningsprojektet kan georeferering vara nödvändig eller inte. Om bara relativa mått är av intresse, kan slutprodukten (punktmolnet) vara i ett godtyckligt koordinatsystem som är definierat vid skanningen. Ett exempel på detta är om ett historiskt minnesmärke skannas för att skapa ett underlag inför renovering.

I många tillämpningar kan det dock starkt rekommenderas att georeferera punktmoln, så att det blir möjligt att kombinera dem med andra geodata. Om laserdata ska vara georefererade anger beställaren referenssystem i plan och höjd för slutprodukten. Detta kan vara ett

lokalt (till exempel på en industri eller byggplats) eller nationellt till exempel SWEREF 99 TM och RH 2000. Se [HMK-Ge:Infra 2015](#) avsnitt 2

2.5.2 Laserdata och bilder

Rekommendation

För laserdata definierar beställaren:

- filformat, eventuellt versionsnummer
- filstorlek och rumslig uppdelning
- krav på fullständighet
- omfattning av datarensning
- informationsinnehåll i eventuella metadata
- filformat för metadata.

För eventuella bilder definierar beställaren filformat och eventuellt versionsnummer.

Format

Beställaren ska specificera format för leveransen, till exempel ASCII, ASTM E57, ASPRS LAS, DXF, 3D-PDF, etc. ASTM E57 är ett standardiserat format för lagring av punktmoln och bilder genererade av 3D-mätningssystem (referens [4]). LAS är ett annat standardiserat format för laserdata som är särskilt populär inom flygburen laserskanning. Formatet ska vara kompatibelt med beställarens programvara. Det kan vara skillnader mellan olika versioner av samma format (till exempel LAS), varför beställaren bör specificera både format och version.

Bilder, som används antingen för färgsättning av punktmolnet eller för beskrivning av objektet, levereras lämpligen i tiff-format.

Filstorlek och rumslig uppdelning

Resultat av TLS-mätningar är vanligtvis punktmoln som består av flera miljoner punkter. Om dessa levereras i en (1) fil kan datamängden bli ohanterbar i beställarens programvara. Punktmoln bör därför delas upp i flera filer efter olika kriterier, till exempel:

- Olika objekttyper ("lager"): rör, balkar, väggar, markytan, etc.

- Olika nivåer eller våningar.
- Rumslig uppdelning: varje fil innehåller data över ett visst område, till exempel 500 m².

Fullständighet

Beställaren bör ställa krav på att minimera förekomsten av "glapp" i punktmoln (som kan till exempel uppstå på grund av permanenta eller tillfälliga hinder). Om beställaren ska använda punktmoln för 3D-modellering i egen regi, och det kan påvisas att förväntade glapp inte kommer att påverka modellens kvalitet, kan dessa accepteras. Om större "glapp" är oundvikliga ska utföraren meddela detta till beställaren.

Datarensning

Beställaren bör specificera:

- I vilken omfattning som onödiga punkter (returer från till exempel passerande människor och bilar) ska filtreras bort.
- Om punkter som ligger utanför områdets begränsning (enligt avsnitt 2.2) ska tas bort innan leveransen.

Metadata

Beställaren bör kräva att leveransen åtföljs av metadata för stöd- och kontrollpunkter samt för varje punktmoln och hela skanningsprojektet enligt bilaga A.2. Metadata levereras i ett öppet filformat, läsbart i texteditor, eller definierat av beställaren.

2.5.3 Tillägsspecifikation av leverans

Rekommendation

Beställaren specificerar eventuella övriga krav på leveransen.

Produktionsdokumentation

Produktionsdokumentation utgörs av en rapport, i PDF-format, med innehåll enligt bilaga A.1.

Provleveranser

Beställaren bör ställa krav på provleverans, för att kontrollera datakvaliteten och utvärdera utförarens kapacitet att utföra uppdraget

enligt kraven i den tekniska specifikationen. Beställaren bör också granska planen för skanningen innan datainsamlingen påbörjas, för att säkerställa att planering genomförts enligt kraven i den tekniska specifikationen.

Leveransmedia och katalogstruktur

Eventuella krav på leveransmedia och katalogstruktur för leverans av filer och produkter specificeras vid behov.

Rådata

Beställaren bör kräva att utföraren ska leverera rådata (för arkivering). Alternativt kan eventuella krav på lagring av data för beställarens räkning samt på hur länge data ska finnas tillgängliga hos leverantören ställas.

I TLS-sammanhang ingår följande i rådata:

- Anteckningar och skissar gjorda i fält.
- Rådata för beräkning av koordinater av stöd- och kontrollpunkter, samt slutliga koordinater.
- Obearbetade punktmoln.

Visningsverktyg

Vid behov ställs krav på ett licensfritt visningsverktyg för visualisering av den levererade slutprodukten.

3 Genomförande

Krav

Utföraren ska ansvara för kvalitetssäkring av produktionen samt för att det material som levereras är kvalitetskontrollerat och komplett enligt beställarens specifikation.

Rekommendation

- a) En kvalitetsplan bör upprättas.
- b) Allt insamlat material bör kontrolleras löpande under insamlingen för att eventuella brister tidigt ska kunna identifieras och åtgärdas.

I en kvalitetsplan definieras uppdragets genomförande. I den beskrivs bland annat hur produkterna ska tas fram samt vilka kontroller som ska genomföras och dokumenteras för att kvalitetssäkra planering, datainsamling, efterbearbetning och leverans.

En kvalitetsplan ger förutsättningar för en tydlig kvalitetsstyrning av ett uppdrag. Beställaren kan kräva i upphandlingens kommersiella villkor att en kvalitetsplan upprättas, läs mer i [HMK-Introduktion 2015](#), avsnitt 2.2.

3.1 Planering av skanning

3.1.1 Rekognosering

Rekommendation

Innan fältarbetet bör utföraren rekognosera objektet som ska mätas, för att bekanta sig med rådande förhållanden och bestämma om TLS är en lämplig mätmetod för uppdraget.

I planeringsskedet använder utföraren utgångsmaterialet tillhandahållet av beställaren enligt avsnitt 2.3. Även om det här materialet kan hjälpa till att ta fram en bra plan för mätningarna, bör utföraren, i möjligaste mån, besöka objektet (eventuellt tillsammans med beställaren), för att bekanta sig med rådande förhållanden. Genom att studera och analysera objektet, samt dess omgivning, kan det även

bestämmas om TLS är en lämplig mätmetod, eller om andra tekniker kan vara lämpligare.

Under rekognoseringen bör utföraren ta bilder och eventuellt videor av objektet och dess omgivning, för att kunna bedöma deras komplexitet och tidsåtgång för skanning.

Följande aspekter är speciellt viktiga att utreda:

- Tillgänglighet, till exempel fysiska hinder, tidsbegränsningar och förväntade aktiviteter på objektet. Om mätningar ska utföras på en offentlig plats med många besökare (till exempel turister), bör utföraren planera noga åtgärder för information om pågående skanningsarbete, samt säkerhetsåtgärder.
- Möjliga störningar (vibrationer, etc.).
- Strömförsörjning för skanner och eventuell styrdator.
- Reflektansproblem. Skanning av vissa ytor kan ge inga eller väldigt få retur. Om sådana ytor förekommer på objektet, bör utföraren göra en testskanning, för att bedöma om det överhuvudtaget är möjligt att skanna dem.
- Behov av skyddsutrustning.
- Förekomst av varma och kalla samt kontaminerade objekt som man bör ta hänsyn till.
- Ställtider: behöver man invänta andra jobb att få börja med skanning?
- Behov av att ha med personal från beställaren för att få arbeta.
- Behov av tillstånd, SSG-utbildning.
- Skyddsklassificering m.m.

3.1.2 Val av skanner

Rekommendation

Utföraren väljer skanner så att de ställda kraven uppnås.

Om TLS har valts som mätmetod, behöver utföraren välja en skanner för mätningarna, utifrån ställda kraven och objektets beskaffenhet (maximalt avstånd, reflektans, m.m.). I dagsläget används två typer av skannrar: pulsade och fasmätande.

Pulsade skannrar har längre räckvidd (normalt upp till några hundra meter, beroende på reflektans) än fasmätande, men lägre skanningshastighet och vanligtvis högre mätosäkerhet. Fasmätande skannrar bör användas på korta avstånd (vanligtvis upp till 40 m), och där tiden för datainsamling är begränsad.

Mätosäkerheten hos den valda skannern bör inte överstiga planerad punkttäthet.

Det bästa sättet att kontrollera om en skanner är lämplig för uppdraget, är att göra en testskanning.

Det är också viktigt att komma ihåg att lägesosäkerheten i slutprodukten är inte detsamma som en skanners mätosäkerhet (enligt tillverkarens specifikationer). Lägesosäkerheten i slutprodukten beror på flera faktorer av vilka en är instrumentets mätosäkerhet, och kan verifieras genom jämförelse med oberoende mätningar av bättre kvalitet (se avsnitt 3.1.3).

3.1.3 Referenssystem, stöd- och kontrollpunkter

Krav

Om georeferering krävs ska utföraren:

- a) Kontrollera om det finns ett stomnät på objektet, och utreda dess kvalitet.
- b) Etablera ett stomnät om ett sådant saknas eller har bristande kvalitet.
- c) Bestämma stöd- och eventuellt kontrollpunkter med lägesosäkerhet som inte överstiger 1/3 av standardosäkerheten i slutprodukten, enligt den tekniska specifikationen.
- d) Inmätning av stöd- och kontrollpunkter ska ske, med lämplig geodetisk mätmetod, enligt rutiner beskrivna i [HMK-ReGe 2014](#), avsnitt 3.2 samt 3.3.1. Detta ska ske i anslutning till skanningen för att säkerställa aktualitet.

Stödpunkter ska:

- e) Anpassas i antal och spridning för att uppnå kraven på lägesosäkerhet i slutprodukten.
- f) Vara placerade och signalerade (med specialutformade signaler anpassade för den skanner och programvara som används, normalt från tillverkaren av laserskannern) så att de kan identifieras i punktmolnet, samt att signalernas centrum kan bestämmas med minsta möjliga osäkerhet.

g) Kontrollpunkter ska vara naturliga. Antalet kontrollpunkter beror på objektets storlek, men ska vara minst 15 beräknat baserat på [HMK-Geodatakvalitet 2015](#), tabell A.2.

Referenssystem och stornät

Medan det kan finnas ett stornät på objektet, kan dess kvalitet vara bristande, varför det kan krävas att etablera ett nytt stornät. Om det är lämpligt kan man överväga att använda ett befintligt stornät och uppdatera det med nya koordinatvärden.

Även om georeferering görs i ett referenssystem etablerat i samband med skanningen, kan det förekomma att beställaren kräver att slutprodukten levereras i det befintliga referenssystemet, som har påvisats ha bristande kvalitet. I sådana fall kan utföraren bestämma passpunkter för transformation mellan båda systemen. Det kan dock starkt avrådas från användning av ett sådant förfarande eftersom lägesosäkerheten i slutprodukten kan försämrats.

Signalering av stödpunkter

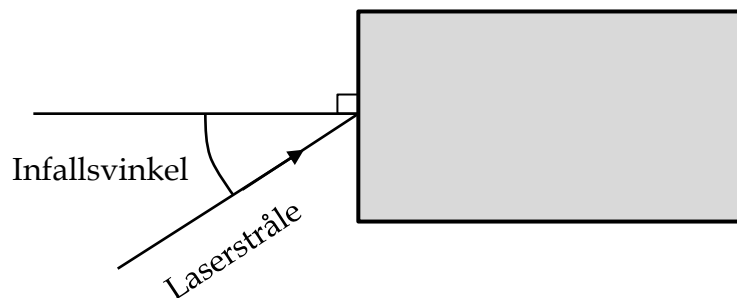
För signaleringen ska specialutformade signaler (plana, sfäriska, etc.) användas, anpassade för den använda skannern och programvaran. Dessa tillhandahålls normalt av tillverkaren eller återförsäljaren av skanningsutrustning. Vissa tillverkare tillhandahåller även signaler i digital form som kan skrivas ut på papper. Användning av egentillverkade signaler eller naturliga stödpunkter kan inte garantera att lägesosäkerheten i slutprodukten uppfyller de ställda kraven. Sådana signaler får därför inte användas.

Signaler kan antingen placeras på objektet eller centreras över en markerad stödpunkt på marken. Det är viktigt att en signal inte skymmer objektets detaljer som ska avbildas i punktmolnet.

Det är viktigt att placera signaler på ett sådant avstånd att deras centrum kan bestämmas med lägsta möjliga lägesosäkerhet. Storleken på signalen anpassas efter punkttätheten. Med vissa skannersmodeller är det möjligt att "finskanna" signaler (det vill säga med mycket hög punkttäthet) på olika avstånd från skannern, medan i andra beror punkttätheten på avståndet till objektet.

Om stödpunkter signaleras med plana signaler, bör de placeras så att de skannas från en liten infallsvinkel. Skanning från en stor infallsvinkel kan resultera i att signalens centrum inte identifieras

korrekt. Infallsvinkeln definieras som en vinkel mellan laserstrålen och normalen till objektets yta i träffpunkten (figur 3.1.3a).



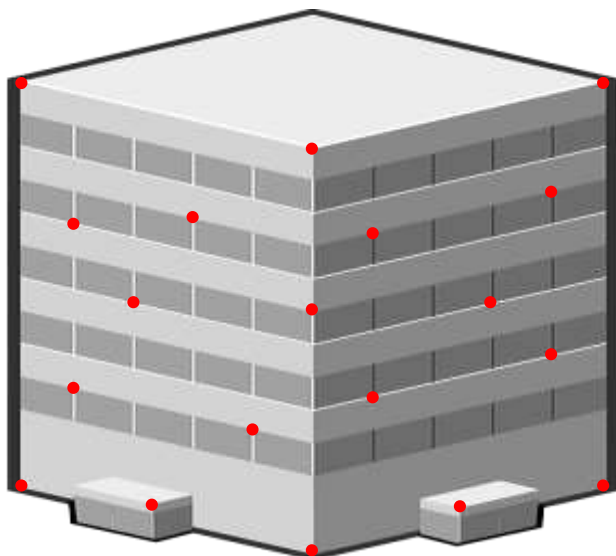
Figur 3.1.3a. Definition av en infallsvinkel.

Mer information om placering av stödpunkter ges i avsnitt 3.2. En testskanning rekommenderas för att kontrollera om hur bra signalens centrum kan bestämmas i punktmolnet.

Kontrollpunkter

Kontrollpunkter ska vara jämt fördelade över hela objektet och vara väl identifierbara i punktmolnet. Kontrollpunkter får inte vara signalerade eftersom den skattade lägesosäkerheten, i detta fall, inte blir representativ för punktmolnets lägesosäkerhet. Ett exempel på placering av kontrollpunkter visas i figur 3.1.3b.

Istället för kontrollpunkter, speciellt när georeferering inte krävs enligt den tekniska specifikationen, kan kontrollmått – avstånd bestämda med oberoende mätmetod, till exempel en totalstation – användas. Dessa ska då bestämmas med lägesosäkerhet som inte överstiger 1/3 av standardosäkerheten i slutprodukten. Mer information om detta förfarande ges i bilaga A.3.



Figur 3.1.3b. Exempel på placering av kontrollpunkter (prickar). Motsvarande placering på byggnadens baksida.

3.1.4 Val av metod för registrering och georeferering samt skanners uppställningar

Rekommendation

Vid val av lämpliga positioner för skanner bör följande beaktas:

- Stor täckning med fri sikt och minsta möjliga antalet skymda partier (så kallade skuggeffekter).
- Avståndet till objektet får inte överstiga skanners räckvidd, med hänsyn tagen till objektets reflektans (enligt tillverkarens specifikationer eller rekommendationer).
- Undvik skanning från stora infallsvinklar som kan medföra ökning av lägesosäkerheten och minskning av punkttätheten.
- Minimera antalet uppställningar.
- Lasersäkerhet (avsnitt 3.3).
- Skanner (och signaler) ska placeras stabilt (avsnitt 3.3).

Val av metod för registrering och eventuell georeferering beror på tillgänglighet av stödpunkter och objektets beskaffenhet. Metoden ska väljas med omsorg, eftersom den har stor påverkan på tidsåtgång för skanning och kvaliteten hos slutprodukten. Registrering och georeferering behandlas i avsnitt 3.2.

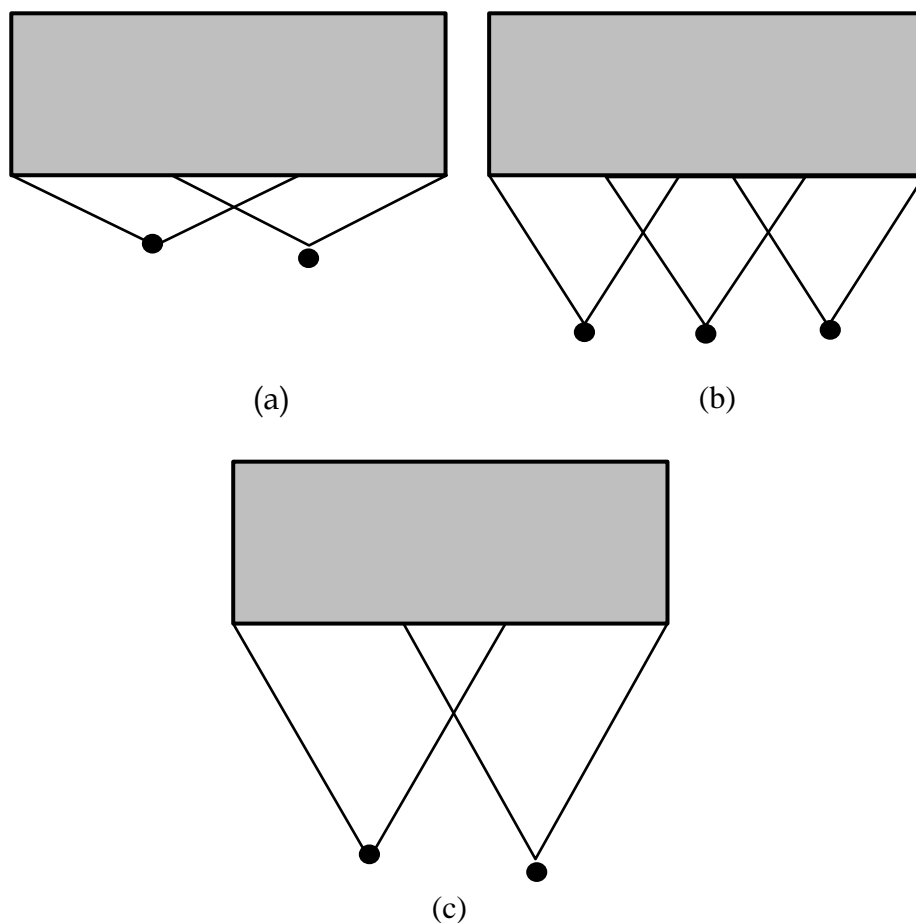
Det är särskilt viktigt att kontrollera avståndet till objektet mot skannerns specifikationer, om skanning sker mot objekt med väldigt låg reflektans från relativt stora infallsvinklar. Ett exempel är skanning av

en vägsträcka med nylagd asfalt från marken. I sådana fall kan skannerns räckvidd minska avsevärt, samt lägesosäkerheten kan försämrans.

Skuggeffekter kan minska genom överlappande skanningar.

Minimering av antalet uppställningar är viktigt med tanke på att mätningar går väldigt snabbt med moderna skannrar, och det som tar mest tid i fält är att ställa upp instrumentet och flytta det mellan stationerna. Detta är särskilt aktuellt för skannrar som kan mäta med samma punkttäthet från olika avstånd (jfr. avsnitt 3.1.3).

Exempel på optimal och icke-optimal placering av en skanner, när indirekt georeferering används (avsnitt 3.2.1), visas i figur 3.1.4.



Figur 3.1.4. Exempel på optimal och icke-optimal placering av en skanner när indirekt georeferering används. a) Icke-optimal placering (stora infallsvinklar). b) Optimal placering med hänsyn till infallsvinkel. c) Ännu bättre placering än i fall b) (med hänsyn till antal uppställningar) om skannern kan mäta med samma punkttäthet från olika avstånd.

3.2 Registrering och georeferering

Registrering innebär transformation av flera punktmoln (från olika positioner) till ett gemensamt koordinatsystem. Därigenom fås ett sammanhängande punktmoln av hela objektet. Georeferering innebär transformation av punktmoln från skannerns koordinatsystem till ett geodetiskt referenssystem. För detaljerad beskrivning av olika registrerings- och georefereringsmetoder hänvisas till referens [1].

3.2.1 Indirekt georeferering

Indirekt georeferering är idag den georefereringsmetod i TLS som ger lägsta lägesosäkerhet.

Två-steps-metoden

Krav

Vid två-steps-metoden gäller följande krav.

- a) Minst 4 väl spridda konnektionspunkter ska användas i övertäckningen.
- b) Minsta övertäckning mellan två punktmoln, vid båda registreringsmetoderna, är 30 %.
- c) Användning av punktmolnsregistrering kräver:
 - bra geometri i övertäckningen, dvs. objekt orienterade i tre inbördes ortogonala riktningar.
 - ungefär samma punkttäthet i överlappande delar av punktmoln.
- d) Minst 5 väl spridda signalerade stödpunkter (inte på samma linje eller nära en sådan konfiguration) ska användas för georeferering.

För registrering med två-steps-metoden kan följande metoder rekommenderas (se referens [1] för mera detaljer):

- Registrering baserat på signalerade eller naturliga konnektionspunkter (gemensamma punkter).
- Punktmolnsregistrering (punktmoln till punktmoln).

Man kan även kombinera dessa två registreringsmetoder. Till exempel, kan punktmolnsregistrering användas där det är svårt eller omöjligt att placera signalerade konnektionspunkter. Vid användning av två-steps-metoden registreras först alla punktmoln (steg 1), och sedan

georefereras det registrerade punktmolnet genom inpassning på stödpunkter (steg 2).

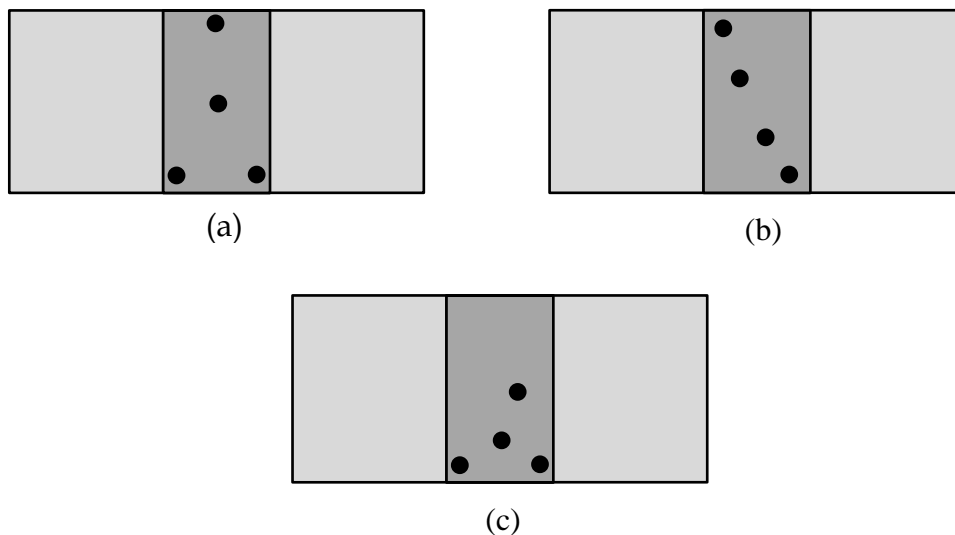
För att uppnå lägsta möjliga lägesosäkerhet vid två-steps-metoden ska man använda signalerade konnektionspunkter. Samma signaltyper som för stödpunkter (avsnitt 3.1.3) används i detta fall. Användning av naturliga konnektionspunkter medför högre lägesosäkerhet och avråds därför i projekt med höga krav på lägesosäkerhet.

En större övertäckning än 30 % medför inte någon väsentlig förbättring av lägesosäkerheten. Det kan vara en fördel att ha 5-6 konnektionspunkter i övertäckningen för kontroll av grova fel.

Naturliga konnektionspunkter är tydliga detaljer som kan användas när det inte är möjligt att placera signaler på objektet. För att kunna användas för registrering ska dessa detaljer skannas med hög punkttäthet, så att deras koordinater kan beräknas med lägsta möjliga lägesosäkerhet. Tydliga detaljer på kanter och hörnpunkter bör inte användas som konnektionspunkter eftersom felaktiga returerna kan registreras på sådana ställen på grund av träffbildens storlek.

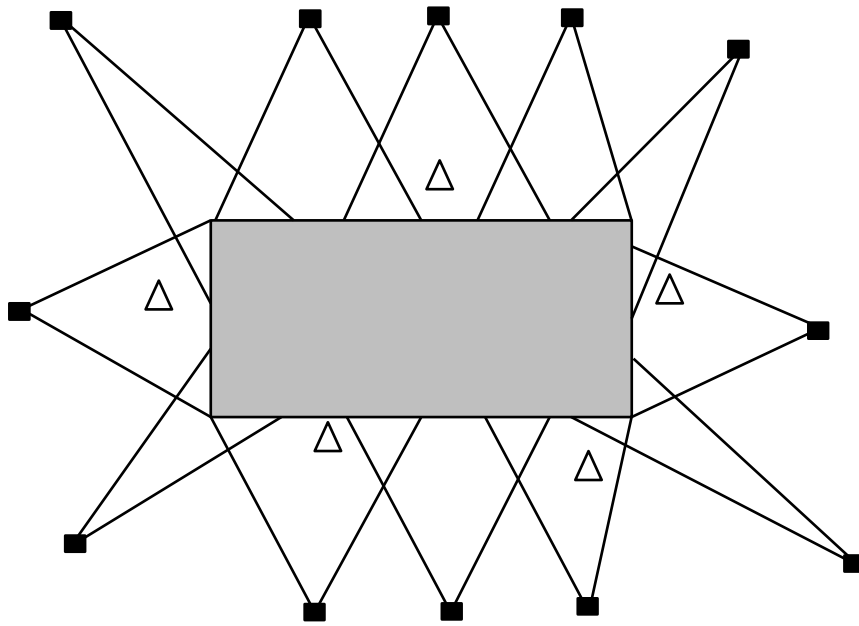
Vid användning av konnektionspunkter är det viktigt att dessa är väl spridda i sidled och djup, i förhållande till skannern.

Konnektionspunkter ska inte ligga på en linje eller nära en sådan konfiguration. Se exempel i figur 3.2.1a.



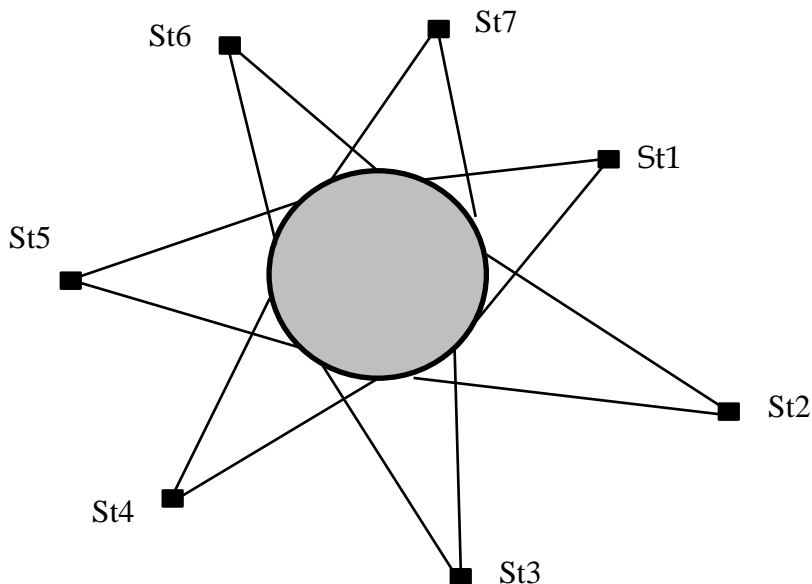
Figur 3.2.1a. Exempel på korrekt (a) och icke-korrekt (b, c) placering av konnektionspunkter vid användning av två-steps-metoden.

Stödpunkter som används för georeferering ska vara väl spridda över hela objektet (figur 3.2.1b).



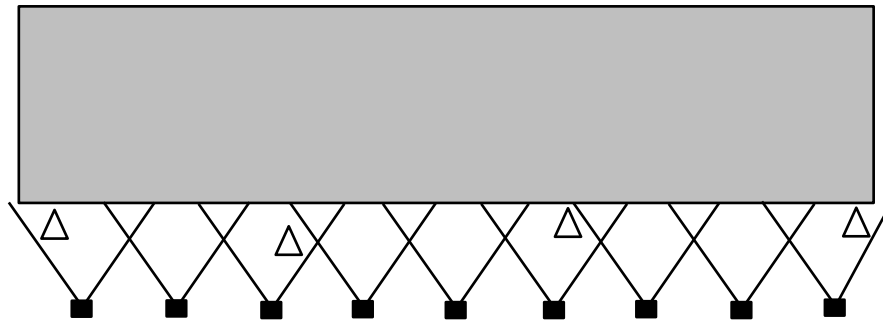
Figur 3.2.1b. Exempel på placering av stödpunkter (trianglar) vid användning av två-steps-metoden.

Vid rundskanningar (inom- eller utomhus) ska det sista punktmolnet överlappa med det första, för att undvika ogynnsam fortplantning av osäkerheter (som i ett flygande polygontåg) (figur 3.2.1c).



Figur 3.2.1c. Skanning runt objekt: det första punktmolnet (St1) överlappar med det sista (St7).

Av samma anledning ska en stödpunkt placeras i var tredje skanning vid skanning av avlånga objekt (referens [12]), till exempel långa fasader (figur 3.2.1d).



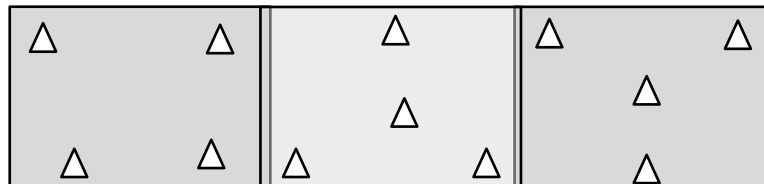
Figur 3.2.1d. Georeferering vid skanning av avlånga objekt (en vy ovanifrån). OBS! Stödpunkter (trianglar) placeras på olika höjder i verkligheten!

Ett-steps-metoden

Krav

- e) Vid ett-steps-metoden ska minst 4 väl spridda signalerade stödpunkter, som inte ligger på samma linje eller nära en sådan konfiguration, vara synliga i respektive punktmoln.

Vid användning av den här metoden kan varje punktmoln georefereras separat (figur 3.2.1e).



Figur 3.2.1e. Georeferering med ett-steps-metoden.

Fördelen med metoden är att ingen övertäckning behövs. Samtidigt ökar tidsåtgången för inmätning av stödpunkter, eftersom betydligt fler sådana behövs jämfört med två-steps-metoden. Ytterligare, eftersom varje punktmoln passas in på stödpunkter separat, kan kopplingen mellan punktmolnen bli svagare än vid två-steps-metoden. Därför kan lägesosäkerhet vara högre än vid två-steps-metoden.

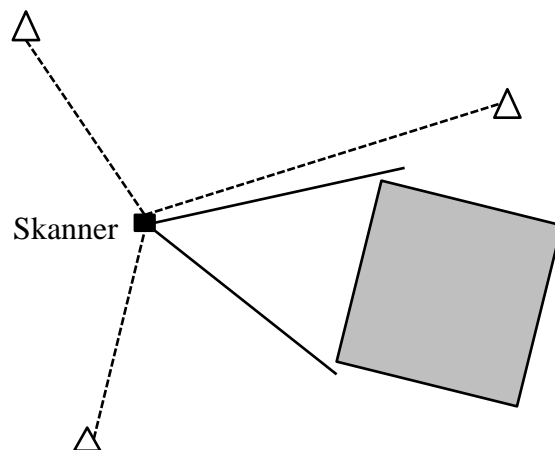
Även om det inte behövs någon övertäckning, rekommenderas det att ha en liten övertäckning (några procent) mellan punktmoln, för kvalitetskontroll.

Fri station

Många moderna laserskannrar är försedda med en kompensator, och därför kan de finhorisonteras, som en totalstation. Detta möjliggör användning av en fri stationsuppställning där minst 3 bakåtoobjekt (signaler) finskannas. Därigenom kan skannerns position och orientering i ett geodetisk referenssystem bestämmas, och punktmoln kan georefereras. Eftersom varje punktmoln georefereras separat, behövs ingen övertäckning. Det kan dock rekommenderas att ha en liten övertäckning (några procent) mellan punktmoln, för kvalitetskontroll.

Lägesosäkerhet vid fri station kan vara högre än vid tvåstegs-metoden.

Liksom vid totalstationsmätningar, ska bakåtoobjekt placeras så att man får bra geometri (figur 3.2.1f).



Figur 3.2.1f. Fri stationsuppställning med en laserskanner.

För att uppnå lägsta möjliga lägesosäkerhet ska medelavstånd från skannern till bakåtoobjekten inte understiga längsta avståndet från skannern till punkter på objektet. Samtidigt ska avståndet till signaler som realiserar bakåtoobjekten inte överstiga tillverkarens rekommendationer (avsnitt 3.3.3). Det kan därför vara problematiskt att skanna höga objekt (till exempel torn) med en fri stationsuppställning.

Vid användning av fri station kan punktmoln georefereras i fält eller på kontoret, efter avslutade mätningar. Skanningsoperatören ska kontrollera att kompensatorn i skannern är påslagen före varje skanning.

Bakåtoobjekt kan signaleras före skanning och sedan mätas in.

Alternativt kan de mätas in med nätverks-RTK samtidigt med deras

finskanning. I detta fall kan en speciell adapter behövas, för att montera en GNSS-antenn (eventuellt integrerad med GNSS-mottagaren) ovanpå signalen, så att deras centrum ligger på samma vertikalaxel. Se exempel i figur 3.2.1g.

Figur 3.2.1g. Montering av en GNSS-antenn på en sfärisk signal för TLS.



3.2.2 Direkt georeferering

Krav

För att kunna använda direkt georeferering måste en skanner vara försedd med en kompensator, som måste vara påslagen under skanningen.

Vid direkt georeferering kan följande metoder användas:

- känt bakåtojekt
- polygontåg.

Det är även möjligt att kombinera indirekt och direkt georeferering.

Vid direkt georeferering behövs ingen övertäckning mellan punktmoln, vilket innebär mindre fältarbete. Dessutom bestäms skannerns position och orientering direkt i ett geodetiskt referenssystem, vilket medför att tiden för efterbearbetning förkortas. Dock kan inte lika låg lägesosäkerhet vid direkt georeferering uppnås som vid den indirekta metoden.

Även om det inte behövs någon övertäckning, rekommenderas det att ha en liten övertäckning (några procent) mellan punktmoln, för kvalitetskontroll.

Vid direkt georeferering kan punktmoln georefereras i fält eller på kontoret, efter avslutade mätningar. Skanningsoperatören ska kontrollera att kompensatorn i skannern är påslagen före varje skanning.

Känt bakåtojekt

Skannern och bakåtojektet (signal) centreras och horisonteras över stödpunkter på marken, och instrument- och signalhöjd mäts. Bakåtojektet kan alternativt placeras på objektet och mätas in med en totalstation. Bakåtojektet finskannas före eller efter skanning av objektet.

Skannerns och bakåtojektets läge kan även bestämmas med GNSS parallellt med skanningen. Hos vissa skannrar kan det vara möjligt att

montera en GNSS-antenn på instrumentet med hjälp av en speciell adapter.

Hos vissa skannrar kan det vara möjligt att montera en prisma (med hjälp av en speciell adapter) på instrumentet och mäta in den med en totalstation. Om vertikalt offset mellan origo av skannerns koordinatsystem och prismacentrum är känt, kan skannerns läge bestämmas.

Endast adapterar tillhandahållna av tillverkaren ska användas för montering av en GNSS-antenn eller prisma på skannern.

Polygontåg

Principen är väldigt lik den som gäller för mätningar med totalstation. Förfarandet i detta fall är följande:

- Först markeras alla tänkta uppställningar av skannern runt objektet.
- Skannern centreras och horisonteras över en stödpoint (första station).
- Bakåt- och framåtobjektet centreras och horisonteras över en annan stödpoint respektive över nästa markerad point (andra station).
- Instrument- och signalhöjder mäts.
- Skanning av objektet utförs.
- Bakåt- och framåtobjekt (signaler) finskannas från första stationen.
- Därefter förflyttas skannern samt bakåt- och framåtobjektens signaler en station framåt, och samma förfarande upprepas.

Tvångcentrering ska användas vid skanning med polygontåg.

Vid skanning av långsträckta objekt ansluts ett polygontåg till två stödpointer (fullständig anslutning). Vid rundskanning ansluts ett polygontåg till utgångspunkterna (ett slutet fullständigt anslutet polygontåg). Anslutningen görs genom finskanning av signaler. Flygande polygontåg ska inte förekomma.

Även om det inte behövs någon övertäckning mellan punktmoln, rekommenderas det att ha en liten övertäckning (några procent) dem emellan, för kvalitetskontroll.

3.3 Datainsamling

3.3.1 Instrument

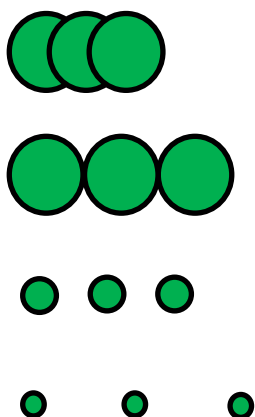
Skanner som används för datainsamling ska uppfylla ställda krav på lägesosäkerhet och geometrisk upplösning. Idag saknas standardiserade rutiner för kalibrering och kontroll av terrestra laserskannrar. För att bevisa att skannern mäter enligt tillverkarens specifikationer ska utföraren kunna visa upp ett dokument som intygar detta. Det kan vara ett kalibreringscertifikat eller liknade dokument, inte äldre än 12 månader, utfärdat av tillverkaren eller ett auktoriserat serviceställe. Detta dokument ska bifogas produktionsdokumentationen.

Utföraren kan också göra egna tester för att kontrollera skannerns prestanda. Till exempel har det visat sig (referens [15]) att ISO-standard 17123-5:2012 "Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 5: Total stations" kan vara lämplig för utvärdering av mätosäkerheten hos en terrester laserskanner. En detaljerad redogörelse av sådana tester, utförda under senast 12 månader, kan i förekommande fall bifogas produktionsdokumentationen.

3.3.2 Punkttäthet

Punkttäthet bör vara lika i horisontal- och vertikalled.

Vid val av punkttäthet ska man komma ihåg att geometrisk upplösning vid TLS beror på både laserstrålens diameter (träffbildens storlek) och punktavstånd se [HMK-Geodatakvalitet 2015](#), avsnitt 2.8. I praktiken kan laserstrålens diameter vara större, lika eller mindre än punktavståndet (figur 3.3.3):



Figur 3.3.3. Exempel på olika förhållanden mellan laserstrålens diameter och punktavståndet i ett punktmoln som kan förekomma i praktiken.

Följande enkla tumregler gäller (referens [10]):

- Geometrisk upplösning avgörs i första hand av laserstrålens diameter om den senare är större än eller lika med punktavståndet. Om punktavståndet är ca 55 % av laserstrålens diameter, blir geometrisk upplösning lika med laserstrålens diameter.
- Geometrisk upplösning är lika med punktavståndet om det är betydligt större än laserstrålens diameter.

Laserstrålens diameter D kan antingen uppges (på ett specificerat avstånd från skannern) i tillverkarens specifikationer eller beräknas enligt följande approximativa ekvation:

$$D \approx d + R\gamma$$

där d är laserstrålens diameter vid utgången från lasern, R är avståndet på vilket D gäller, och γ är stråldivergensen i radianer ($1 \text{ rad} \approx 63,7 \text{ gon}$).

Ytterligare ska punkttätheten (punktavståndet) inte vara högre än lägesosäkerheten i enstaka punkter i ett punktmoln enligt tillverkarens specifikationer. I det motsatta fallet kommer brusnivå i punktmolnet att bli högre och tiden för efterbearbetning kommer att öka avsevärt.

Signaler som används för registrering och georeferering ska finskannas enligt tillverkarens rekommendationer – automatiskt eller manuellt – för att deras centrum kan beräknas med lägsta möjliga lägesosäkerhet. Finskanningen kan lämpligen göras efter skanning av objektet från respektive station. På offentliga platser kan istället signaler finskannas först, för att undvika deras eventuella förflyttning. Om en signal ska användas för skanning från flera uppställningar ska utföraren i fält se till att signalen inte förflyttas.

Resultatet av finskanningen ska alltid kontrolleras direkt i fält, för att försäkra att inga signaler har missats och att deras centra har beräknats korrekt.

3.3.3 Uppställning av skanner och signaler

Skanner och signaler (för konnektions- och/eller stödpunkter) ska placeras så att de blir stabila under hela mätningen. Detta är speciellt viktigt att tänka på om skanning utförs på platser med vibrationsstörningar som kan försämma datakvaliteten. Uppställning av skanner på byggnadsställningar ska undvikas. Om instrumentet behöver höjas för att kunna täcka objektet i höjdded, ska stabilitet av den tänkta plattformen (till exempel en saxlift) undersökas före datainsamlingen.

Om skannern är försedd med en kompensator ska den vara påslagen. Ifall stora vibrationsstörningar av instrumentet under mätningen är oundvikliga (till exempel passerande bilar på en väg), bör kompensatorn stängas av före skanning. Detta eftersom den annars kan komma utanför sitt arbetsintervall, vilket medför att skannern måste horisonteras om. I sådana fall får direkt georeferering eller fri station inte användas.

Signaler för TLS är utformade för att användas på ett specifikt avstånd. Därför ska tillverkarens rekommendationer angående avstånd till signaler alltid följas, så att de blir synliga i punktmolnet, samt att deras centrum kan beräknas (utifrån "finskanningen") med lägsta möjliga lägesosäkerhet. Detta betyder att det inte är möjligt att placera signaler på ett väldigt långt avstånd från skannern, för att reducera osäkerhet i orientering vid georeferering.

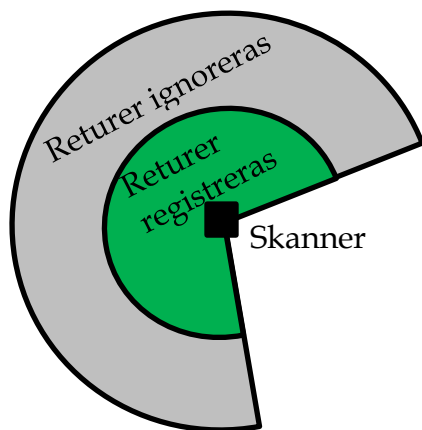
Vid fri station ska eventuella signalhöjder, och vid direkt georeferering ska både instrument- och eventuella signalhöjder, mätas ytterst noga, eftersom felaktigt mätta höjder kommer att göra insamlade data obrukbara, och skanning kommer att behöva göras om. Det rekommenderas att kontrollera instrumentets och signalernas position (centrering, horisontering och höjd) både före och efter skanning från varje station.

3.3.4 Styrning av skanner

För att få största möjliga kontroll över skanningsresultatet bör en skanner styras via en bärbar dator. I detta fall kan operatören kontrollera om allt som behövs har skannats efter avslutad mätning, eller om en kompletterad skanning behövs. Även kontroll av finskanningen av signaler underlättas i detta fall. Det kan dock vara situationer när skanning utan en bärbar dator är lämpligare, till exempel när mätningar ska göras under väldigt begränsad tid och i trånga utrymmen. I sådana fall kan en skanner styras via pekskärmen om sådan finns.

3.3.5 Omfattning av skanning

Eftersom en skanner registrerar returerna från alla objekt inom dess siktfält kommer även returerna från objekt som ligger för nära eller för långt borta att registreras. Dessa "onödiga" returerna kan öka datamängden väsentligt. I sådana fall kan operatören tillämpa ett "avståndsfiler" i skannern, dvs. ställa in ett avståndsintervall inom vilket laserreturerna ska registreras (figur 3.3.5).



Figur 3.3.5. Tillämpning av "avståndsfiltrering" vid TLS (efter referens [3]).

I vissa fall, i mån av tid, kan det vara lämpligt att skanna mer än definierat av beställaren (enligt avsnitt 2.2), för eventuellt framtida bruk. Till exempel kan beställaren ha önskat att skanna en del av en mindre industrilokal inomhus. Utföraren kan med fördel skanna hela lokalen, så att data finns att tillgå om beställaren eventuellt ska önska dessa i framtiden. I detta fall kommer utföraren inte att behöva att göra en ny skanning. Huruvida sådan "extra" skanning är lämpligt bör övervägas av utföraren i varje enskilt fall.

3.3.6 Förhållanden vid skanning

Rekommendation

Laserskanning bör inte utföras vid förhållanden som kan medföra att ställda krav på slutprodukten inte kan uppfyllas.

Skanning ska inte utföras under ogynnsamma väderförhållanden som kan påverka datakvaliteten. Skanning i kraftigt regn eller snö kan medföra många onödiga punkter på grund av returer från vattendroppar eller snöflingor. Ytterligare kan avståndsmätningar bli felaktiga på grund av refraction av laserstrålen. Även dimma, damm och rök kan komma att påverka skanning.

Vid mätning i starkt solljus kan räckvidden minskas jämfört med skanning i mulet väder.

Om stativet med en skanner ställs upp på asfalt en mycket varm sommardag, kan stativben sänkas på grund av uppmjukning av asfalten. Detta kan medföra att skannern måste horisonteras om.

Skanner ska skyddas från direkt solljus för att förhindra uppvärmning.

3.3.7 Fältanteckningar

Krav

Under skanningen ska anteckningar föras för att säkerställa mätningarnas spårbarhet.

Följande bör dokumenteras i fält:

- Datum och tid för skanning från varje station.
- Stations-ID, eventuell instrumenthöjd (före och efter skanningen).
- Vilka signaler som har skannats från respektive station, deras typ och ID, eventuella signalhöjder (före och efter skanningen).
- Skannerns siktfält från respektive station (hur stort område som har skannats).
- Punkttäthet vid skanning uttryckt som punktavstånd på ett specifikt avstånd (till exempel 10 mm @ 45 m).
- Inställningar i skannern som kan vara viktiga för efterbearbetning.
- Väderlek (vid skanning utomhus).
- Problem som har inträffat under mätningen.

Observera att en del av ovanstående information redan kan finnas i metada från skanningen (bilaga A.2). Skannerns siktfält från varje station, signalernas positioner och ID ska markeras tydligt på en skiss visande det skannade objektet.

3.3.8 Lasersäkerhet

Innehållet i detta avsnitt har tagits från referens [5].

Användning av laserskannrar kan medföra risk för ögonskador. Det finns olika klassificeringssystem för lasrar, och det som är aktuellt för Sverige finns beskrivet i den europeiska standarden "Safety of Laser Products - Part 1: Equipment classification, requirements and users guide" (IEC 60825-1:2001). Enligt detta system finns följande laserklasser definierade - 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B och 4 - där lasrar av klass 1 kan betraktas som ofarliga, och lasrar av klass 4 som mycket farliga (får inte användas för geodetiska mätningar). Normalt används inte lasrar av klass 3B och 4 för geodetiska mätningar. För fullständig beskrivning av laserklasserna, samt säkerhetsåtgärder i samband med deras användning, hänvisas till ovanstående standard.

Utförare av TLS ska alltid veta vilken laserklass som används i deras instrument, och speciellt se till att rätt klassificeringssystem används, eftersom klassdefinitioner är lite olika i olika system.

Vid skanning ska en varningsskylt med information att laser används placeras i området.

Följande säkerhetsrutiner ska följas under TLS-mätningar:

- Förhindra spegelliknande totalreflektioner av laserstrålen.
- Öppna strålgångar bör placeras över eller under ögonhöjd där det är möjligt.
- Endast personer som har gått igenom relevant utbildning bör använda en laserskanner. Sådan utbildning kan till exempel erbjudas av tillverkaren eller återförsäljaren av skannern.

Utbildningen bör innehålla följande moment:

- Användningsrutiner för skannern
- Rätt användning av rutiner för kontroll av faror, varningsskyltar, etc.
- Behov av personligt skydd
- Rutiner för rapportering av olyckor
- Effekter av laser på ögon och hud.
- Var försiktig med användning av optiska redskap runt laserskannrar för vilka tittande i laserstålen kan vara farlig.
- En laserskanner får endast användas enligt tillverkarens instruktioner.

Ytterligare gäller följande när lasrar av klass 1M, 2M och 3R används:

- Se till att man inte tittar i laserstrålen, varken med blott öga eller genom optiska redskap.
- Se till att laserstrålen inte riktas oavsiktligt mot spegelliknande ytor.
- När en laserskanner inte används ska den förvaras där obehörig personal inte har tillträde.

3.4 Databearbetning

Innehållet i det här avsnittet baseras huvudsakligen på referens [3].

3.4.1 Förberedelse av data

Efter avslutade mätningar analyseras punktmoln och jämförs med fältanteckningar och fältskissar. Det rekommenderas att utföra databearbetning på en kopia av ursprungliga punktmoln.

Eventuella felaktiga skanningar identifieras och tas bort från forstätt bearbetning. I vissa punktmoln kan finskanningar av signaler (konnektions- eller stödpunkter) vara behäftade med brus. Bruspunkter ska tas bort innan registrering och georeferering, så att de inte påverkar lägesosäkerheten.

3.4.2 Registrering och georeferering

Registrering och georeferering utförs i en lämplig programvara som vanligtvis tillhandahålls av tillverkaren av laserskannern. Beräkningar utförs normalt genom minsta kvadratmetoden.

Efter registrering med konnektionspunkter och indirekt georeferering redovisas residualer på varje konnektions- och/eller stödpunkt. Aktuell forskning (referens [11]) visar att dessa residualer inte är representativa för lägesosäkerheten i punktmolnet efter registrering och georeferering. Därför ska de inte användas för bedömning av lägesosäkerheten som ska utvärderas genom användning av kontrollpunkter inmätta med oberoende och noggrannare metod än TLS (avsnitt 3.1.3 och bilaga A.3).

Dock, eftersom residualerna ger en indikation på registrerings eller georefereringens interna osäkerhet, bör de redovisas i produktionsdokumentationen (bilaga A.1). För att vara på "den säkra sidan" ska residualernas värden inte överstiga lägesosäkerheten i slutprodukten. Generellt, ska man sträva efter bästa möjliga resultat av registrering och georeferering.

3.4.3 Datarensning

Innan framställning av slutprodukt påbörjas ska utföraren analysera punktmolnet för att identifiera och manuellt ta bort områden som inte behövs i leveransen. Därefter ska onödiga punkter tas bort med hjälp av automatiska eller manuella metoder.

Automatisk filtrering av onödiga punkter (till exempel returerna från passerande bilar) kan utgå ifrån att dessa är isolerade från majoriteten av punkter i punktmolnet. Därför kan de enkelt identifieras och tas bort.

Resultat av en automatisk filtrering är aldrig 100 % korrekt, vilket betyder att utföraren alltid ska kontrollera det efteråt och eventuellt ta bort kvarstående onödiga punkter manuellt.

3.4.4 Reducering av antalet punkter

Punktmoln från TLS, speciellt de som är insamlade med fasmätande skannrar, kan vara mycket stora, vilket kan försvåra databearbetningen. Det kan därför vara relevant att reducera antalet punkter – omsampla (eng. resample) punktmolnet.

Omsampling kan göras på två sätt:

1. Regelbunden reduktion genom att ta bort varannan, var tredje, var fjärde, osv. punkt. Medan den här metoden är väldigt enkel, är dess nackdel att viktiga detaljer kan gå förlorade, eftersom omsampligen baseras på punkternas lägen utan att ta hänsyn till punkttätheten.
2. Omsampling som tar hänsyn till ytans krökning. Om en del av ytan är mycket krökt, behålls viktiga punkter där. Om en del av ytan är slät (och kan således representeras av få punkter), tas bort (fler) punkter på det här stället.

3.4.5 Leverans

Krav

Leverans av slutprodukten ska:

- a) Vara kvalitetskontrollerad och komplett.
- b) Göras i den form (digital, analog eller både och), i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.
- c) Följa den omfattning som specificerats av beställaren.

Leverans av produktionsdokumentationen ska:

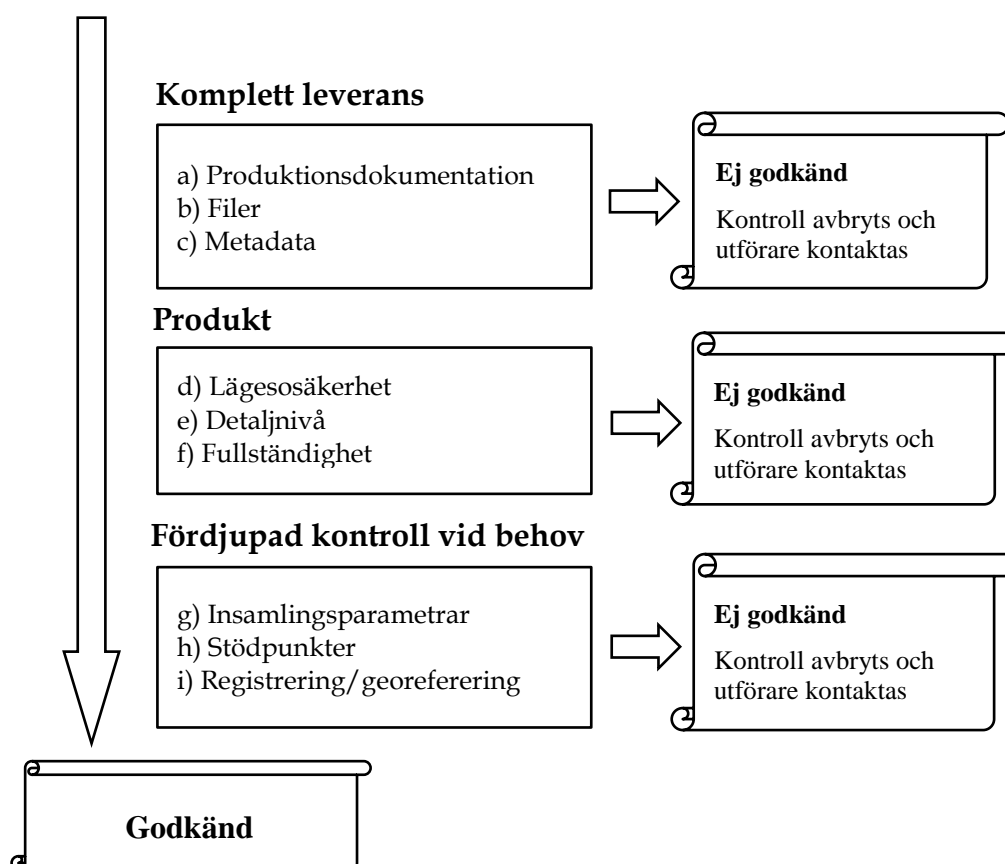
- d) Vara kvalitetskontrollerad och komplett.
- e) Bestå av rapport enligt bilaga A.1 om beställaren inte anger annat.

4 Beställarens kontroll

Beställaren bör kontrollera erhållen leverans snarast möjligt efter mottagandet. En tidsfrist bör anges i upphandlingens kommersiella villkor se [HMK-Introduktion 2015](#), avsnitt 3.2.1. Kontrollernas omfattning anpassas efter leveransens storlek och kan appliceras som fullständiga kontroller, eller som stickprov.

I figur 4 redovisas ett kontrollflöde i syfte att identifiera felaktigheter i leveransen. Först genomförs kontroll av komplett leverans och slutprodukts kvalitet. Kontroll av lägesosäkerheten kan överlåtas till utföraren ifall beställaren saknar kompetens för en sådan kontroll. Endast om den här första kontrollen uppvisar avvikelser sker en fördjupad kontroll. Om leveransen inte är komplett eller något kontrollsteg indikerar signifikanta brister bör kontrollen avbrytas och utföraren kontaktas.

Bilaga A.3 redovisar olika kontroller mer detaljerat. För generell information om datakvalitet och kontroll av geodata, se [HMK-Geodatakvalitet 2015](#).



Figur 4. Kontrollflödet och de ingående kontrollerna.

5 Referenser/Läs mer

Detta dokument har utarbetats baserat på följande publikationer.

Läroböcker och kompendier

- [1] Olsson, P., Rost, H. & Reshetyuk, Y. (2011). Laserskanning. I *Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik*. Lantmäteriet. S. 181–204. Hämtad den 15 september 2015 från <http://www.lantmateriet.se/Om-Lantmateriet/Samverkan-med-andra/Handbok-i-mat--och-kartfragor-HMK/HMK-Referensbibliotek/Utbildningsmaterial/Geodetisk-och-fotogrammetrisk-matnings--och-berakningsteknik/>
- [2] Vosselman, G. and Maas, H-G. (Eds.) (2010). *Airborne and terrestrial laser scanning*. Dunbeath: Whittles Publishing.
- [3] 3D RiskMapping (2008). Theory and practice on Terrestrial Laser Scanning. Training material based on practical applications. Version 4 June 2008. Hämtad den 15 september 2015 från https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/201130/2/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_ENGLISH.pdf?gathStatIcon=true

Specifikationer och riktlinjer

- [4] ASTM E2807 (2011). Standard Specification for 3D Imaging Data Exchange, Version 1.0.
- [5] English Heritage (2009). Metric Survey Specifications for Cultural Heritage, Section 7 "Standard Specification for the Collection and Archiving of Terrestrial Laser Scan Data". Hämtad den 15 september 2015 från <https://historicengland.org.uk/images-books/publications/metric-survey-specification/>
- [6] English Heritage (2011). 3D Laser Scanning for Heritage (second edition): Advice and guidance to users on laser scanning in archaeology and architecture. Hämtad den 15 september 2015 från <http://historicengland.org.uk/images-books/publications/3d-laser-scanning-heritage2/>
- [7] California Department of Transportation (2011). Terrestrial Laser Scanning Specifications. Chapter 15 in Surveys Manual, California Department of Transportation, Division of Right of Way and Land Surveys, Office of Land Surveys. Hämtad den 15 september 2015 från http://www.dot.ca.gov/hq/row/landsurveys/SurveysManual/15_Surveys.pdf

[8] Fraunhofer IFF (2015). Guidelines on Laser Scanning in Plant Design. First edition. Hämtad den 15 september 2015 från <http://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/en/documents/publications/guidelines-laser-scanning-in-plant-design.pdf>

Vetenskapliga artiklar och konferensbidrag

[9] Johnson, W.H. & Johnson, A.M. (2012). Operational Considerations for Terrestrial Laser Scanner Use in Highway Construction Applications. *Journal of Surveying Engineering*, 138 (4), 214–222.

[10] Lichti, D. (2004). A resolution measure for terrestrial laser scanners. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part XXX.

[11] Fan, L., Smethurst, J.A., Atkinson, P.E. & Powrie, W. (2015). Error in target-based georeferencing and registration in terrestrial laser scanning. *Computers & Geosciences*, 83, 56–64.

[12] Bornaz, L., Lingua, A. & Rinaudo, F. (2003). Multiple scan registration in LIDAR close-range applications. In: Proceedings of the ISPRS International Workshop WG V/4 and INTCOM III/V “Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives”. Ancona, Italy, July 1–3. Hämtad den 27 oktober 2015 från www.isprs.org/proceedings/XXXIV/5-W12/proceedings/15.pdf.

Övriga publikationer

[13] Feng, Q. (2012). *Practical application of 3D laser scanning techniques to underground projects*. BeFo Rapport 114. Hämtad den 29 september 2015 från http://www.befoonline.org/publikationer/r-114_250.

[14] Leica Geosystems HDS (2004). HDS Training Manual. Module 13 Job Planning.

[15] Abdi, S. & Stedt, F. (2014). *Utvärdering av Leicas multistations och laserskanners mätosäkerheter*. Examensarbete i Lantmäteriteknik, Högskolan i Gävle. Hämtad den 27 oktober 2015 från <http://hig.diva-portal.org/smash/get/diva2:724566/FULLTEXT01.pdf>

Bilaga A.1: Produktionsdokumentation

Produktionsdokumentationen består av en rapport, i PDF-format om inte annat anges, som ska redovisa:

- a) uppdraget
- b) uppdragsorganisation, det vill säga utförare och beställare
- c) förteckning över levererat material inklusive filer/produkter
- d) beskrivning av det skannade objektet eller området inklusive eventuella bilder
- e) planering av datainsamlingen
- f) använda instrument för mätningarna och programvaror (inklusive version) för databearbetningen
- g) befintligt geodetiskt stöd och dess kvalitet
- h) metod för inmätning av stöd- och kontrollpunkter
- i) koordinater av använda stöd- och kontrollpunkter
- j) metod för registrering och georeferering inklusive signaltyper för eventuella konnektionspunkter samt stödpunkter
- k) fältskissar visande skannerns uppställningar, siktfält från varje station, konnektions-, stöd- och kontrollpunkter samt deras ID
- l) utförd databearbetning: datarensning, registrering och georeferering, eventuell omsampling
- m) eventuella residualer efter registrering eller georeferering
- n) eventuella problem som inträffade under skanningen och databearbetningen
- o) resultat av kontroll av lägesosäkerheten (om detta moment har överlåtits till utföraren).

Bilaga A.2: Metadata

Metadata för nyetablerade stöd- och kontrollpunkter

Metadata för nyetablerade stöd- och kontrollpunkter ska innehålla:

- Punkt-ID.
- Koordinater: (x, y, z) eller i förekommande fall (E, N, H).
- Standardosäkerhet för varje koordinatkomponent.
- Instrument för inmätning inklusive serienummer och mjukvaruversion.
- Eventuell programvara (inklusive version) för beräkning av koordinaterna.
- Om en totalstation har använts – datum för senaste kalibrering.

Metadata för laserdata

Mallar för metadata för laserdata i den här bilagan har lånats in från referens [5]. Metadata för enskilda punktmoln ska innehålla:

- Filnamn för punktmolnet (rådata); filnamnet ska vara beskrivande, så att det blir klart vad som filen innehåller.
- Skanner som har använts (modell och serienummer).
- Utförarens namn.
- Totalt antal punkter.
- Datum för skanning.
- Punktmolnsnummer (skanningsnummer) – ett unikt nummer för den aktuella mätningsskampanjen.
- Punkttätheten uttryckt som avståndet mellan intilliggande punkter på ett specifikt avstånd från skannern (till exempel: 0,020 m @ 50 m).
- För utomhusskanning: väderlek under mätningen.

Metadata för hela skanningsprojektet ska innehålla:

- Filnamnen för punktmoln som har använts i registreringen eller georefereringen.
- Datum för skanning (månad, år).
- Skanner som har använts (modell och serienummer).
- Antalet skanningar (punktmoln).
- Punktmolnsnummer (skanningsnummer) för alla punktmoln
- Totalt antal punkter i det slutliga punktmolnet.
- Filnamn för stödpunkter.
- Beskrivning av metoden för registrering och/eller georeferering.
- En skiss visande alla skanningar med tillhörande nummer
- För utomhusskanning: väderlek under mätningen.

Bilaga A.3: Kontroll av laserdata

A.3.1 Kompletta leverans

a) Produktionsdokumentation

Produktdokumentationen granskas för att verifiera:

- att dokumentationens omfattning och utformning överensstämmer med gällande krav och teknisk specifikation
- att uppnått resultat överensstämmer med gällande teknisk kravspecifikation
- eventuella avvikelser.

b) Filer

Filer/material granskas för att verifiera att:

- alla filer i filförteckningen är levererade
- alla filer har korrekt filformat och filstorlek
- alla filer har korrekt namnsättning
- alla filtyper är öppningsbara.

c) Metadata

Kontrollera att eventuella metadatafiler är kompletta och korrekt ifyllda.

A.3.2 Produkt

Om beställaren finner det lämpligt kan kontroll av produkten överlåtas till utföraren.

d) Lägesosäkerhet

d.1) Kontroll med hjälp av kontrollpunkter

Kontrollen sker genom inmätning av oberoende tydligt identifierbara naturliga kontrollpunkter, som är geodetiskt inmätta med en minst 3 gånger mindre standardosäkerhet än den som specificeras för punktmoln i uppdraget. Kontrollpunkterna ska vara jämnt fördelade över objektet/området och inte sammanfalla med stödpunkterna.

Innan beräkning av lägesosäkerhetsmått utförs ska man säkerställa att resultatet av kontrollmätningarna inte har påverkats av grova eller systematiska fel. Se [HMK-Geodatakvalitet 2015](#), avsnitt 3.3 och bilaga A.

För kontrollpunkter beräknas kvadratiska medelvärdet (Root Mean Square, RMS-värdet) för x , y och z (eller i förekommande fall N , E och

H), som är ett mått på lägesosäkerheten. I vissa sammanhang kan lägesosäkerhet i 3D vara av intresse, medan i andra sammanhang kan det vara viktigt att skilja mellan lägesosäkerhet i plan och höjd. RMS-värdet i 3D beräknas enligt följande:

$$RMS_{3D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 + \sum_{i=1}^n \Delta y_i^2 + \sum_{i=1}^n \Delta z_i^2}{n}}$$

där Δ avser avvikelse mellan kontrollpunktens koordinater från mätning i punktmolnet och dess koordinater från kontrollmätning, och n antalet kontrollpunkter. Om punkttätheten i punktmolnet är tillräckligt hög kan en enstaka punkt anses motsvara kontrollpunktens läge. Annars kan kontrollpunktens koordinater beräknas som ett medelvärde av koordinater av ett antal punkter i punktmolnet som omger kontrollpunkten.

RMS i plan och höjd beräknas enligt följande:

$$RMS_{plan} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta x_i^2 + \sum_{i=1}^n \Delta y_i^2}{n}}$$

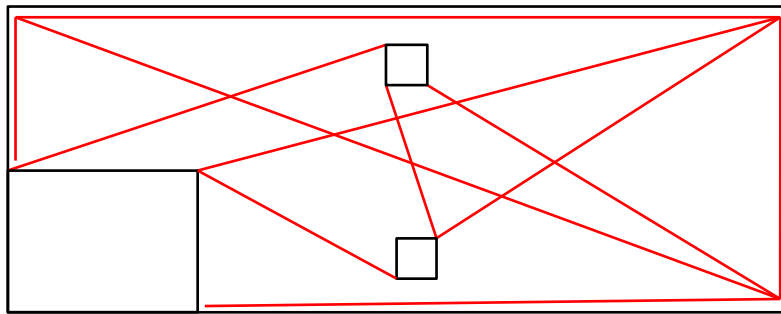
$$RMS_{höjd} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta z_i^2}{n}}$$

d.2) Kontroll med hjälp av avstånd

Istället för kontrollpunkter, speciellt när punktmolnet inte är georefererat, kan kontrollavstånd användas för kontroll av lägesosäkerheten. Dessa avstånd mäts in vanligtvis med en totalstation med en minst 3 gånger mindre standardosäkerhet än den som specificeras för punktmoln i uppdraget.

Kontrollavstånd ska vara:

- Minst 15 i antal
- Inmätta mellan väldefinierade naturliga punkter
- Vara väl spridda över hela objektet
- Vara i storleksordning av objektets dimensioner, se exempel i figur A.3.2.



Figur A.3.2. Exempel av inmätning av kontrollavstånd (röda linjer) för kontroll av lägesosäkerheten vid en inomhuskanning. OBS att figuren visar en plan vy. I verkligheten är kontrollavstånd lutande.

Ett mått på lägesosäkerheten i detta fall är ett RMS av avvikelser (Δr) mellan kontrollavstånd och avstånd inmätta i punktmolnet:

$$RMS_{avst} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta r_i^2}{n}}$$

där n avser antalet kontrollavstånd.

Liksom RMS_{3D} är RMS_{avst} ett mått på lägesosäkerheten i 3D.

d.3) Relativ lägesosäkerhet

Relativ lägesosäkerhet kontrolleras för att se hur punktmoln har anpassats till varandra efter registrering och/eller georeferering. Den här kontrollen är speciellt användbar vid ett-steps-metoden, fri station och direkt georeferering när punktmoln georefereras oberoende av varandra.

Kontrollen sker genom att skapa en smal (1–2 cm) profil i övertäckningen mellan punktmoln och titta på avvikelser mellan punkterna i punktmolnen. Det är vanligtvis också möjligt att mäta avvikelserna i en programvara för behandling av TLS-data.

e) Detaljnivå

Kontrollera att objekt med dimensioner enligt den tekniska specifikationen kan identifieras i punktmolnet.

f) Fullständighet

Genomför visuell kontroll för att se om alla delar av objektet (enligt den tekniska specifikationen) har avbildats i punktmolnet, samt att inga oacceptabla glapp förekommer.

A.3.3 Fördjupad kontroll vid behov

Fördjupad kontroll bör göras om tidigare kontrollsteg har påvisat oklarheter eller eventuella brister. Sådana kontroller ställer dock krav på beställarens kompetens och tillgång till lämpliga programvaror. Om beställaren finner det lämpligt kan dessa kontroller överlåtas till utföraren.

g) Insamlingsparametrar

Följande tilläggskontroller kan genomföras:

- Punkttätheten; till exempel kontrollera att punkttäthet vid skanningen angavs på korrekt avstånd. Man kan också mäta punkttätheten på olika ställen i punktmolnet.
- Övertäckning mellan punktmoln.
- Instrument- och signalhöjder.

h) Stödpunkter

Kontrollera att:

- Korrekta koordinater av stödpunkter har använts vid georeferering.
- Stödpunkter har importerats till programvaran i rätt ordning. Koordinatsystem som vanligtvis används i TLS-sammanhang är ett högerhandssystem där x-axeln är riktad mot "öst". Vid inmätning av stödpunkter kan det ibland antas att x-axeln är riktad mot "norr". I detta fall behöver man kasta om x- och y-koordinaterna vid importen.

i) Registrering/georeferering

Följande tilläggskontroller kan genomföras:

- Residualer.
- Antal och spridning av konnektions- och stödpunkter.
- Geometri i övertäckningen (vid punktmolnsregistrering).
- Korrekt beräkning av signalernas centrum vid finskanningen.
- Konnektions- och stödpunkters ID.

Bilaga B.1: Mall för upprättande av teknisk specifikation

Planering, genomförande och leverans ska göras enligt denna tekniska specifikation och kraven i avsnitt 3 i HMK-Terrester laserskanning. Definitioner av krav och termer framgår av HMK-Terrester laserskanning och [HMK-Ordlista](#) senaste version.

1 Allmän beskrivning (HMK-Terrester laserskanning, avsnitt 2.1)

Syftet med projektet: _____

Tjänster: _____

Produkter: _____

Produkternas användning: _____

2 Specifikation av arbetets omfattning (HMK-Terrester laserskanning, avsnitt 2.2)

Områden som ska skannas: _____

Områden som ska utelämnas: _____

Objekttyper som ska skannas: _____

3 Specifikation av utgångsmaterial (HMK-Terrester laserskanning, avsnitt 2.3)

Befintligt material inklusive filformat och referenssystem: _____

4 Specifikation av produkten (HMK-Terrester laserskanning, avsnitt 2.4)

Krav på detaljnivå: _____

Krav på lägesosäkerhet: _____

Tilläggspecifikation (till exempel stöd- och kontrollpunkter, färgsättning av punktmoln, översiktsskärmbilder): _____

5 Specifikation av leverans (HMK-Terrester laserskanning, avsnitt 2.5)

5.1 Referenssystem (HMK-Terrester laserskanning, avsnitt 2.5.1)

Krav på georeferering: _____

Krav på referenssystem i plan: _____

Krav på referenssystem i höjd: _____

5.2 Laserdata och bilder (HMK-Terrester laserskanning, avsnitt 2.5.2)

Laserdata

Krav på filformat: _____

Krav på filstorlek och rumslig uppdelning: _____

Krav på fullständighet: _____

Krav på datarensning: _____

Krav på filformat för metadata: _____

Bilder

Krav på filformat: _____

5.3 Tilläggspecifikation av leverans (HMK-Terrester laserskanning, avsnitt 2.5.3)

Tilläggspecifikation av leverans (till exempel krav på produktionsdokumentation, provleveranser, leveransmedia och katalogstruktur, rådata, visningsverktyg): _____

6 Specifikation av genomförande (HMK-Terrester laserskanning, avsnitt 3)

Här anges hänvisningar till de krav i avsnitt 3 som ska gälla. Se HMK-Introduktion 2015 avsnitt 1.7 för principer för hänvisning till krav samt exempel på hur hänvisningar och avsteg/tillägg kan formuleras.

Nedan följer en komplett lista på alla krav och rekommendationer i avsnitt 3. Ej aktuella krav tas bort av beställaren.

Krav 3 HMK-Terrester laserskanning gäller.

Rekommendation 3a-b HMK-Terrester laserskanning gäller.

Rekommendation 3.1.1 HMK-Terrester laserskanning gäller.

Rekommendation 3.1.2 HMK-Terrester laserskanning gäller.

Krav 3.1.3a-g HMK-Terrester laserskanning gäller.

Rekommendation 3.1.4 HMK-Terrester laserskanning gäller.

Krav 3.2.1a-e HMK-Terrester laserskanning gäller.

Krav 3.2.2 HMK-Terrester laserskanning gäller.

Rekommendation 3.3.6 HMK-Terrester laserskanning gäller.

Krav 3.3.7 HMK-Terrester laserskanning gäller.

Krav 3.4.6a-e HMK-Terrester laserskanning gäller.