

HMK
- handbok i mät- och kartfrågor

Terrester laserskanning

2021



Förord 2021

2020 gjordes en omfattande revidering av [HMK - Terrester laserskanning 2015](#) - ett dokument som utarbetades av Yuriy Reshetyuk, då verksam vid Högskolan i Gävle.

Det övergripande målet vid framtagning av [HMK - Terrester laserskanning 2020](#) i förhållande till ursprungsversionen var att göra dokumentet mer likt övriga HMK-dokument som behandlar geodatainsamling. Det innebar en omarbetning av huvudtexten samt nynumrering av bilagorna - som också har kompletterats med fler exempel.

I remisshanteringen av dokumentet framfördes synpunkter att det tar upp för lite av de metoder, programvaror och arbetsprocesser som instrumentleverantörerna i dag erbjuder. Det finns dock ingen motsättning mellan marknads utbud och de mätningstekniska rekommendationer och oberoende kontroller - t.ex. med särskilda kontrollpunkter - som dokumentet tar upp. Snarare kompletterar koncepten varandra, vilket framgår av beskrivningen i Bilaga D.

Revideringen 2020 utfördes av en arbetsgrupp bestående av Thomas Lithén, Kent Ohlsson, Clas-Göran Persson och Jan Wingstedt, Lantmäteriet, samt Joakim Fransson, Trafikverket. Andra personer som bidragit är Johan Hammarbäck, Falu kommun, Gustaf Ugglå och Milan Horemuz, KTH, Yuriy Reshetyuk, Norconsult, samt Ronny Andersson, Sweco. Under december 2019 genomfördes även en formell expertgranskning.

2021 års version har reviderats av medarbetare på enheten för geodetisk infrastruktur, Lantmäteriet, inom ramen för den årliga översynen av samtliga handböcker som utförs i förvaltningen av HMK. Förändringarna mot 2020 års version är små. Inledningen i kapitel 1 har omarbetats något, Rekommendationsruta 2.2.1 har fått en något uppdaterad skrivning, i övrigt är förändringarna på korrektornivå. Referenslistan är också uppdaterad.

Gävle 2022-01-11

Kent Ohlsson

Innehållsförteckning

HMK-Terrester laserskanning 2021	1
Förord 2021	2
Innehållsförteckning	3
1 Inledning	5
1.1 Om dokumentet	5
1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor.....	7
2 Teknisk specifikation	11
2.1 Allmän beskrivning	11
2.2 Specifikation av utgångsmaterial.....	12
2.2.1 Utgångs- och kontrollpunkter.....	13
2.3 Specifikation av produkten.....	14
2.3.1 HMK-standardnivå.....	14
2.3.2 Detaljeringsgrad.....	16
2.3.3 Mät- och lägesosäkerhet.....	16
2.3.4 Fullständighet.....	18
2.3.5 Datarensning.....	18
2.3.6 Tilläggspecifikation.....	18
2.4 Specifikation av leverans	20
2.4.1 Referenssystem.....	20
2.4.2 Skanningsplan	20
2.4.3 Utgångs- och kontrollpunkter.....	21
2.4.4 Laserdata	21
2.4.5 Produktionsdokumentation	22
2.4.6 Metadata.....	23
2.4.7 Tilläggspecifikation av leverans	23
3 Genomförande	25
3.1 Planering av insamling.....	26
3.1.1 Uppställningsplatser.....	27
3.1.2 Punktmolnsregistrering	28
3.1.3 Anslutning.....	30
3.1.4 Utgångs- och kontrollpunkter.....	31
3.1.5 Leverans	33
3.2 Inmätning av utgångs- och kontrollpunkter.....	33
3.2.1 Leverans	34
3.3 Insamling av laserdata samt beräkning av punktmoln.....	34
3.3.1 System och utrustning.....	34
3.3.2 Signalering med måltavlor	35
3.3.3 Insamling.....	36
3.3.4 Registrering.....	38
3.3.5 Anslutning.....	38
3.3.6 Leverans	39
4 Beställarens kontroll	41

5	Referenser/Läs mer	43
Bilaga A	: Mall och exempel för upprättande av teknisk specifikation	45
A.1	Mall för teknisk specifikation.....	45
A.2	Exempel på ifylld mall för skanning av en tunnel	48
A.3	Exempel på ifylld mall för skanning av en byggnad	51
Bilaga B	: Produktionsdokumentation	55
B.1	Planering av insamling.....	55
B.2	Inmätning av utgångs- och kontrollpunkter.....	56
B.3	Insamling av laser- och bilddata samt beräkning av punktmoln.....	57
Bilaga C	: Kontroll av laserdata	59
C.1	Komplett leverans.....	59
C.2	Produkt.....	59
C.3	Fördjupad kontroll vid behov	64
Bilaga D	: Översiktlig beskrivning av terrester laserskanning	65
D.1	Vad hanteras och vad hanteras inte i HMK – Terrester laserskanning?	65
D.2	Utrustning	65
D.3	Mätning	66
D.4	Punktmolnsregistrering	68
D.5	Referenssystem.....	71
D.6	Anslutning	72
D.7	Stationsvis anslutning	76
D.8	Mät- och lägesosäkerhet.....	80
D.9	Planering av ett skanningsprojekt	82
D.10	Rensning av data.....	84
D.11	Processbeskrivningar.....	85
D.11.1	Skanning.....	85
D.11.2	Punktmolnsregistrering	86
D.11.3	Anslutning.....	87

1 Inledning

1.1 Om dokumentet

Syfte

HMK – Terrester laserskanning 2021 behandlar terrester laserskanning – ofta förkortat *TLS* – genom insamling av *punktmoln* med hjälp av stillastående, terrestra *laserskannrar* med avstånd till objektet på upp till 50 meter. HMK – Terrester laserskanning 2021 är i första hand anpassad för tillämpningar inom byggd miljö. Insamlade punktmoln kan användas som underlag för t.ex. projektering, visualisering samt dokumentation av byggnader och anläggningar, såväl in- som utvändigt. Tekniken fungerar dock ofta bättre inomhus än utomhus eftersom t.ex. vind och nederbörd kan ge brus i data i form av felaktiga punkter.

Disposition

Dokumentet stödjer:

- upprättande av en teknisk specifikation (kapitel 2 och Bilaga A), se [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 2.1
- genomförande och dokumentation av ett uppdrag avseende terrester laserskanning (kapitel 3 och Bilaga B)
- kontroll av leverans (kapitel 4 och Bilaga C).

Kapitel 5 "Referenser/läs mer" innehåller visst fördjupningsmaterial. Dessutom ges en översiktlig beskrivning av terrester laserskanning, och den terminologi och arbetsmetodik som dokumentet baseras på, i Bilaga D.

Textrutor i handboken

Tre olika typer av textrutor kan förekomma i inledningen av numrerade handboksavsnitt:

- Ljusröda textrutor finns i kapitel 3 med rubriken "Krav" och motsvarar ett genomförande som i HMK anses vara fackmannamässigt och möjliggör obereonde kontroller av slutprodukten. I krav används ordet "ska".
- Ljusblå textrutor med rubriken "Rekommendation" i kapitel 2 ger beställaren stöd för att upprätta en *teknisk specifikation*. I kapitel 3 motsvarar dessa rutor ett utförande som är önskvärt, t.ex. för att det underlättar arbetsprocessen. I rekommendationer används ordet "bör".

- Vita texttrutor med rubriken "Information" innehåller beskrivningar eller sammanfattningar som inte är normerande.

I den här handboken har krav och rekommendationer utformats för att kunna ingå i en teknisk specifikation. Läs mer om tillämpning av teknisk specifikation under rubriken "Tillämpning av HMK" i avsnitt 1.2.

Avgränsningar

Dokumentet beskriver processen att ta fram ett georefererat punktmoln. Vidareförädling av laserpunktmoln – genom till exempel modellering för 3D-modeller – tas inte upp i dokumentet.

Följande HMK-standardnivåer omfattas ([HMK – Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.6).

- HMK-standardnivå 3: Projektinriktad mätning och kartläggning för projektering och byggande.

I HMK – Terrester laserskanning 2021 behandlas inte handhållna laserskannrar och inte heller laserskannrar för mycket noggrann dokumentation av små föremål på mikrometernivå (close-range laser scanners) eller dokumentation på långa avstånd (long-range laser scanners).

Skanning från drönare är också exkluderad liksom skanning för exempelvis illustration/visualisering, utan krav på specificerad lägesosäkerhet. Där finns det effektivare metoder, t.ex. SLAM-teknik (Simultaneous Localisation and Mapping).

En *multistation* är – i huvudsak – en totalstation med skannerfunktion. Den skiljer sig från en traditionell skanner bland annat genom det sätt på vilket stationsetableringen sker samt genom att skanningsfunktionen inte alltid är lika välutvecklad, se Bilaga D.7. I övrigt är det mesta i detta dokument giltigt, men inte heller denna typ av utrustning behandlas i detalj.

I revideringsarbetet av [HMK – Terrester laserskanning 2020](#) togs en ny teknisk rapport fram som komplement: "Mätning och redovisning av bygg- och anläggningsprojekt – med tonvikt på långsträckta objekt i 3D" ([HMK TR 2019:1](#)). Sådana tillämpningar är därför något nedtonade i denna handbok. I stället hänvisas till nämnda tekniska rapport samt till den tekniska specifikationen för byggmätning, SIS-TS 21143:2016, [7].

1.2 Om Handbok i mät- och kartfrågor

Information

- Versioner av handböcker i HMK-serien betecknas med årtal.
- För eventuella justeringar av senaste version, se [HMK-loggen](#).

Publicering av HMK

HMK – Handbok i mät- och kartfrågor – omfattar en samling handböcker och tekniska rapporter för ämnesfördjupning, omvärldsbevakning m.m.

Samtliga HMK-dokument publiceras i PDF-format och finns tillgängliga avgiftsfritt via lantmateriet.se/hmk.

Målgrupp

HMK riktar sig till yrkesverksamma eller studerande inom geodata- och samhällsbyggnadsområdet, särskilt som stöd vid kravställning/beställning eller genomförande av geodатаinsamling, eller vid framtagande av geodataprodukter.

Vissa handböcker är skraddarsydda för att stödja utformning och användning av tekniska specifikationer vid upphandling. I övrigt är mycket av innehållet i HMK av allmän karaktär och kan användas i valfri utsträckning i egna/interna kravspecifikationer, regelverk eller arbetsrutiner.

Kompletterande dokument

HMK – Terrester laserskanning kompletteras med följande HMK-dokument:

- [HMK – Fordonsburen laserskanning](#), senaste version, behandlar mobil insamling av laserdata från fordon, med bilddata som komplement, medan GNSS/INS-stödd insamling av laserdata från flygfarkoster beskrivs i [HMK – Flygburen laserskanning](#), senaste version.
- Frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i [HMK – Introduktion 2017](#), kapitel 3.
- Riktlinjer för hänvisningar beskrivs i [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7.
- Tekniska termer och förkortningar förklaras i [HMK - Ordlista och förkortningar](#), senaste version. Termer som finns i ordlistan är kursiverade vid första förekomst i

löptexten. Eftersom Bilaga D är tänkt som en fristående introduktion gäller samma princip där.

I övrigt följer HMK standardiserad eller vedertagen terminologi inom berörda områden, men det finns ingen ambition att HMK ska vara generellt normerande. Terminologin inom HMK har dock harmoniserats för att handböckerna ska kunna tolkas och användas på ett entydigt sätt.

Vid geodetisk mätning och övrig användning av geodetisk infrastruktur hänvisas till handböcker enligt Tabell 1.

Tabell 1. Senaste versioner av HMK-handböcker inom geodesiområdet.

Fullständigt dokumentnamn	Kortform
HMK – Geodetisk infrastruktur 2021	HMK-GeInfra 2021
HMK – Stommätning 2021	HMK-Stom 2021
HMK – Terrester detaljmätning 2021	HMK-TerDet 2021
HMK – GNSS-baserad detaljmätning 2021	HMK-GnssDet 2021
HMK-Geodesi: Markering (publicerad 1996, med senaste aktualitetsbeskrivning från 2020)	HMK-Ge:M

Tillämpning av HMK

De krav som återfinns i HMK-handböcker kan tolkas och tillämpas på tre olika sätt:

- Kraven ingår i grundutförande enligt HMK. Detta motsvarar en allmän/branschgemensam syn på fackmannamässig yrkesutövning. Tillämpning sker genom hänvisning till grundutförande i en eller flera handböcker. Grundutförande kan justeras i överenskommelse mellan beställare och utförare.
- Kraven ingår en teknisk specifikation. Handboken ger stöd för upprättande av en sådan och tillämpning sker sedan i kravställning och upphandling i den mån hänvisning sker till den tekniska specifikationen.
- Kraven baseras på föreskrift/lag och ska därmed följas, oavsett vilka övriga krav som finns beskrivna inom HMK.

Krav enligt grundutförande eller enligt teknisk specifikation blir juridiskt bindande endast i den mån de inkluderas i upphandlingsunderlag, eller i motsvarande avtal eller regelverk. I dessa fall förutsätts korrekt tillämpning av hänvisningsregler enligt [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7.

Generella frågor om upphandling, tillstånd och sekretess behandlas i [HMK – Introduktion 2017](#), kapitel 3.

Förvaltning av HMK

HMK förvaltas av Lantmäteriet, med stöd av olika intressenter inom geodata- och mättningsområdet. Den viktigaste samverkansformen för detta är HMK:s referensgrupp. Referensgruppen utför fackgranskning av HMK-dokumenterna inför publicering samt ger förslag till framtida revideringar och nya dokument.

Vid intresse av att delta i HMK:s referensgrupp, skicka anmälan till hmk@lm.se.

För att prenumerera på nyhetsbrev med aktuell information om HMK, se <https://www.lantmateriet.se/nyhetsbrev/>.

2 Teknisk specifikation

Rekommendation

- a) Beställaren beskriver och specificerar uppdraget i en teknisk specifikation.

Vid upprättande av teknisk specifikation använder beställaren detta kapitel samt Bilaga A som stöd.

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

För mer information om teknisk specifikation och dataproduktspecifikation se [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 2.1, och [HMK – Geodatavalitet 2017](#), Bilaga B. Dataproduktspecifikation kallas även *dataspecifikation* vid datautbyte inom EU enligt [INSPIRE-direktivet](#) och dataproduktspecifikation samt informationspecifikation i arbetet med [Nationella specifikationer](#) inom arbetet projektet [Smartare samhällsbyggnadsprocess](#).

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 är tänkta att användas.

Den allmänna beskrivningen är avsedd att skapa samsyn kring uppdraget mellan beställare och utförare.

I den beskrivs översiktligt ingående tjänster och produkter samt uppdragets syfte – t.ex. underlag för om- eller tillbyggnad, renovering, volymberäkningar och skapande av relationsritningar.

Terrester laserskanning är en lämplig mätteknik för att skapa underlag för detaljerad 3D-dokumentation, till exempel:

- för kontroll och dokumentation av nybyggnation, utvändigt och invändigt i förhållande till relationshandling/-modell.
- för modellering av befintliga byggnader och anläggningar där ritningar saknas.

- av objekt med komplex form som kan vara svåra att mäta in med andra mätmetoder.
- av svårtillgängliga eller ur arbetsmiljösynpunkt riskfyllda objekt.
- på provytor vid skogliga tillämpningar.
- för framtagning av 3D-modeller för visualisering.
- som underlag för projektering.
- för deformations- och rörelsemätningar.
- för snabb dokumentation av framdrift under byggprojekt.

2.2 Specifikation av utgångsmaterial

Rekommendation

- Beställaren levererar insamlingsområdets koordinatsatta begränsning samt anger filformat och referenssystem.
- Beställaren redovisar vilket existerande utgångsmaterial som ställs till utförarens förfogande för uppdraget samt dess egenskaper.

Med utgångsmaterial avses tekniskt underlag som ger förutsättningar för – och underlättar – planeringen och utförandet av uppdraget. Exempel på underlag är:

- områdesbegränsning
- tillgängliga utgångspunkter
- filer med befintliga bild-, laser- och vektordata över insamlingsområdet
- plan- och designritningar eller *CAD/BIM*-modeller – inklusive metadata
- produktionsdokumentation eller andra former av kvalitetsuppgifter.

Som alternativ till fil med koordinatsatt begränsning kan aktuella insamlingsområden markeras på befintliga ritningar eller liknande. Vid behov specificeras även i detalj vilka objekt som ska skannas. Referenssystem för koordinat- och höjduppgifter anges och, om materialet är i digital form, även filformat.

2.2.1 Utgångs- och kontrollpunkter

Rekommendation

- a) Beställaren levererar möjliga kontroll- och utgångspunkter i aktuellt referenssystem.

För att kunna relatera ett laserpunktmoln till andra data krävs *anslutning* av molnet till det referenssystem (globalt anpassat eller lokalt) som övriga data är redovisade i. För denna anslutning behövs *utgångspunkter* med kända koordinater/höjder i det aktuella systemet, se Bilaga D.6 - D.8. Finns inte sådana utgångspunkter tillgängliga kan beställaren specificera kraven på slutprodukten och lämna till utföraren att ta ansvar för att ta fram utgångspunkter för projektet.

Utöver de utgångspunkter som används för anslutningen rekommenderas även ett antal *kontrollpunkter* för anslutningskontroll – det vill säga ytterligare punkter med kända koordinater som inte används vid anslutningen utan enbart för kontroll av densamma.

Utgångs- och kontrollpunkter är samma typ av väldefinierade punkter, det är bara användningen som skiljer. De kan vara punkter i *stomnät* eller kompletteringspunkter som etablerats för det aktuella projektet, se [HMK – Stommätning 2021](#), avsnitt 3.2.5. Uppgifter om stompunkter finns normalt tillgängliga via Lantmäteriets, kommuners, Trafikverkets eller andra aktörers stomnätsarkiv. Vilka punkter som används som utgångspunkter respektive kontrollpunkter för anslutningskontroll bestäms i dialog mellan beställare och utförare.

För skanningsprojekt av engångskaraktär, med redovisning i skannersystemet, behövs inte utgångspunkter i ett externt referenssystem.

Befintliga utgångspunkter

De utgångspunkter som anvisas i utgångsmaterialet bör vara beskrivna och kvalitetsdeklarerade av beställaren – t.ex. vad gäller placering, punkttyp, lägesosäkerhet, utformning, anslutning, markering och punktdokumentation – så att uppdraget blir kalkylerbart. Utföraren avgör sedan vilka punkter som är lämpliga som utgångspunkter respektive kontrollpunkter.

I de fall beställaren anger att anslutning endast ska ske till ett lokalt system – till exempel på en industri eller en byggplats – lämnas en koordinatförteckning över lämpliga utgångspunkter av beställaren till utföraren.

Om osäkerhet råder beträffande utgångspunkternas kvalitet bör utökad kontroll av dessa ingå i uppdraget, se avsnitt 2.3.6.

Komplettering av utgångs- och kontrollpunkter

Vid upphandling av stommätning eller annan komplettering med nya utgångs- och kontrollpunkter för projektet bör en särskild teknisk specifikation upprättas, se kapitel 2 i [HMK - Kravställning vid geodetisk mätning 2017](#) (med aktualitetsbeskrivning från 2020).

För stomnätskompletteringar rekommenderas en produktionsdokumentation enligt [HMK - Stommätning 2021](#), Bilaga B.

2.3 Specifikation av produkten

Beställaren bör inte detaljstyra genomförandet, utan så långt som möjligt överlämna det till utföraren.

2.3.1 HMK-standardnivå

Rekommendation

- a) Beställaren anger HMK-standardnivå för slutprodukten.

Vald HMK-standardnivå (se [HMK - Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.6), utifrån tänkt användning, blir vägledande för genomförandet. I detta dokument beskrivs endast datainsamling enligt HMK-standardnivå 3. Därför redovisar sammanställningen i Tabell 2 parametervärden endast för denna nivå.

Tabell 2. Sammanställning av parametrar för standardnivå 3 vid terrester laserskanning. "Ideala förhållanden" definieras i Bilaga D.8. Verifiering av mät- och lägesosäkerhet sker vanligen med hjälp av särskilda kontrollpunkter.

Parametrar	HMK-Standardnivå 3
Detaljeringsgrad, punkttäthet i punktmoln ^{I)}	Ges indirekt via krav på minsta objektstorlek som ska kunna tolkas i punktmolnet.
Mätosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m) ^{II)}	<0,003/ <0,003
Lokal lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m) ^{III)}	<0,005/ <0,005
Absolut lägesosäkerhet, ideala förhållanden Plan/Höjd (m) ^{IV)}	<0,020/ <0,020

^{I)} Beställaren väljer ett värde för sitt ändamål, se avsnitt 2.3.2.

^{II)} Mätosäkerhet avser skanning av måltavlor i skannerns interna koordinatsystem, utan anslutning till något externt referenssystem. Angivet värde för standardosäkerheten ska ses som ett riktvärde. Andra värden kan förekomma; den exakta uppgiften hämtas från skannerns specifikation.

^{III)} Lokal lägesosäkerhet avser lokal standardosäkerhet för väldefinierade objekt. Andra värden kan förekomma, se avsnitt 2.3.3.

^{IV)} Absolut lägesosäkerhet avser absolut standardosäkerhet för väldefinierade, georefererade objekt. Andra värden kan förekomma, se avsnitt 2.3.3.

Värdena ska ses som rekommendationer och beställaren kan justera dem vid behov. Det bör dock noteras att eventuella justeringar kan påverka såväl slutproduktens användbarhet som priset för genomförandet av uppdraget.

Slutprodukten som avses här är ett detaljerat georefererat laserpunktmoln som representerar det objekt eller område som ska skannas. Ett laserskannat punktmoln kan bearbetas vidare till andra produkter, till exempel 3D-modeller, sektioner, 2D-ritningar och animeringar. Detta kräver särskild kompetens inom berört fackområde och tas inte upp i HMK – Terrester laserskanning 2021.

2.3.2 Detaljeringsgrad

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på de detaljer inom insamlingsområdet som ska kunna tolkas i punktmolnet.

Punkttätheten har stor betydelse vid tolkning av detaljer och företeelser i laserdata. Den varierar med avståndet till skannern.

Små detaljer kräver högre punkttäthet och, som följd, längre tid för skanning. Alltför hög punkttäthet kan ge andra oönskade effekter, se Bilaga D.3.

Beställaren specificerar vad som ska vara möjligt att tolka i laserdata och överlåter till utföraren att bestämma vilken punkttäthet som krävs för att uppfylla de ställda kraven. Specifikationen kvantifieras lämpligen i metriska mått, dvs. minsta bredd, tjocklek, diameter etc.

2.3.3 Mät- och lägesosäkerhet

Rekommendation

- a) Beställaren ställer krav på mätosäkerhet alternativt lokal och/eller absolut lägesosäkerhet i slutprodukten.

Tabell 2 skiljer på *mätosäkerhet* samt *absolut* och *lokal lägesosäkerhet*, se även Bilaga D.8.

Terrester laserskanning har ofta en mätosäkerhet som ligger på milimeternivå. Placeringen och användningen av *konnektionspunkter* avgör sedan osäkerheten efter registrering av punktmoln från flera uppställningar, se avsnitt 3.1.2.

Utgångspunkternas standardosäkerhet, som beror på hur de är bestämda, och vilken transformationsväg som har använts, avgör i sin tur punktmolnets egenskaper och osäkerhetsnivån efter anslutning-/transformation till ett referenssystem – oavsett om detta är ett globalt anpassat eller ett lokalt system (se avsnitt 3.1.3-3.1.4).

Vid terrester laserskanning ställs oftast separata krav på lokal lägesosäkerhet (t.ex. inom en byggnad/anläggning) och absolut lägesosäkerhet (t.ex. byggnadens/anläggningens läge i förhållande till sin omgivning), med strängare krav på det förstnämnda. Se [HMK – Geodatakvalitet 2017](#), kapitel 1: "Georeferering och lägesosäkerhet".

Som mått under "ideala förhållanden" (se Bilaga D.8) används i första hand standardosäkerheten i plan och höjd för skanning av måltavlor på kontrollpunkter – efter registrering och inpassning på utgångspunkterna (avsnitt 3.1.2-3.1.4). Måttet kan dock även avse

tydligt identifierbara naturliga kontrollobjekt. OBS att standardosäkerheten kan bli avsevärt högre vid skanning av andra typer av ytor.

Lokal lägesosäkerhet

För laserdata som inte är georefererade, dvs. inte anslutna till ett globalt anpassat referenssystem, används lokal standardosäkerhet som mått. Det är ofta det viktigaste kvalitetstalet för slutprodukten.

Koordinater på utgångspunkter inmätta med en totalstation, och bestämda genom minsta-kvadratutjämning av t.ex. ett byggplatsnät, har ofta en lokal standardosäkerhet på millimeternivå. I sådana fall påverkas den lokala lägesosäkerheten i punktmolnet inom byggplatsen normalt väldigt lite av anslutningen till detta system.

Om en inpassningstransformation utan skalförändring används som anslutningsmetod påverkas punktmolnets geometri inte alls.

Absolut lägesosäkerhet

Absolut lägesosäkerhet – med absolut standardosäkerhet i plan och höjd som mått – avser primärt lägesosäkerheten i de nationella referenssystemen SWEREF 99 och RH 2000, se avsnitt 2.4.1. Den hänger alltså intimt ihop med georefereringen.

Kravet ställs utifrån användningen av den beställda produkten (Tabell 2). Ofta kan en approximativ georeferering av ett punktmoln, som internt har en låg lokal lägesosäkerhet, räcka för redovisning tillsammans med andra geodata.

Det kan exempelvis ske genom inpassning på utgångspunkter vars koordinater bestämts med nätverks-RTK – en metod som rätt använd ger en standardosäkerhet på centimeternivå (se [HMK – GNSS baserad detaljmätning 2021](#)). Då kan den absoluta lägesosäkerheten i slutprodukten komma att bli väsentligt högre än den lokala (som dock alltså kan bevaras genom en inpassningsmetodik som inte påverkar den interna geometrin, se ovan).

För tillämpningar med strängare krav på den absoluta lägesosäkerheten behövs mer noggrant bestämda utgångspunkter. Tillåts en viss förändring av den interna geometrin vid inpassningen så blir den absoluta lägesosäkerheten lägre, men då på viss bekostnad av den lokala lägesosäkerheten.

Systematiska effekter

Utöver denna typ av statistiska/slumpmässiga avvikelser finns ibland även systematiska effekter som kan påverka den totala lägesosäkerheten negativt om de inte hanteras korrekt. Sådana effekter uppträder vanligen i projekt över större områden – t.ex. långsträckta

objekt – där flera skanningsuppställningar räknas ihop till en sammanhållen enhet. Exempel är terrester laserskanning för dokumentation av tunnlar, broar och järnvägar, se Bilaga D.7.

2.3.4 Fullständighet

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar krav på fullständighet.

Objektet skannas med fullständig täckning om inte annat anges. Det bör dock noteras att kraven på fullständighet kan ha stor påverkan på priset för genomförandet av uppdraget.

Beställaren specificerar i vad mån ”glapp” i data inom punktmolnet kan accepteras i leveransen. Brister kan t.ex. uppstå på grund av svåråtkomliga vinklar, dålig reflektans på objektet samt permanenta eller tillfälliga hinder.

Om punktmolnet ska användas för 3D-modellering kan regelbundna objekt – t.ex. rörledningar – ofta modelleras även om det inte finns fullständig täckning med laserpunkter runt hela objektet.

2.3.5 Datarensning

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar krav på och omfattning av datarensning.

Beställaren specificerar:

- om rensning överhuvudtaget ska ske
- om punkter som ligger utanför insamlingsområdets begränsning (enligt avsnitt 2.2) ska tas bort före leverans.
- om, och i vilken omfattning, onödiga punkter ska filtreras bort, till exempel returerna från passerande människor och bilar.

Läs mer om principerna för datarensning i Bilaga D.10.

2.3.6 Tilläggs-specifikation

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar eventuella övriga krav på genomförandet.

Nedan ges exempel på avsteg/tillägg till genomförandekraven enligt kapitel 3.

Utökad kontroll av utgångspunkter

Utgångspunkternas kvalitet är A och O vid anslutning av terrester mätning. Om osäkerhet råder beträffande befintliga utgångspunkters kvalitet kan särskild kontroll krävas.

Beställaren anger eventuella krav på att kontrollera befintliga utgångspunkter, utöver de åtgärder som beskrivs i (krav 3.1.4 b)

Komplettering av utgångspunkter

Beställaren anger eventuella krav på komplettering med nya utgångspunkter.

Antal utgångspunkter

Om annat antal utgångspunkter än (krav 3.1.4 d och g) önskas specificeras antalet av beställaren.

Kontrollpunkter för anslutningskontroll

Kontrollpunkter för anslutningskontroll är utformade och bestämda på samma sätt som utgångspunkter. De är dock geografiskt åtskilda från dessa och ingår inte i anslutningsberäkningen, se avsnitt 2.2.1. Kontrollpunkter kan liksom utgångspunkter vara stompunkter eller tillfälliga kompletteringspunkter. Signalering och inmätning av kontrollpunkter utförs enligt kraven i avsnitt 3.2.

Om annan hantering än (krav 3.1.4 f) önskas specificeras detta av beställaren, till exempel att beställaren anger annat krav på antalet kontrollpunkter.

Färgsättning av punktmoln

Färg är *radiometrisk* information, som i efterhand kan draperas på punktmolnet utifrån bilder tagna med skannern. Punktmolnet kan också färgsättas baserat på retursignalens intensitetsvärde. Färgsättningen underlättar tolkning och digitalisering av objekt i punktmolnet. Ett färgsatt punktmoln – eller 3D-modell – kan också användas vid exempelvis visualisering av befintliga miljöer.

Eventuella krav på färgsättning av punktmoln specificeras av beställaren.

2.4 Specifikation av leverans

Beställaren specificerar vilka produkter som ska levereras, vilka krav som ställs på dessa samt eventuella tilläggskrav på produktionsdokumentationen.

2.4.1 Referenssystem

Rekommendation

- a) Beställaren anger referenssystem i plan och höjd för data i de filer som ska levereras.

Att välja referenssystem för leverans av slutprodukten är en större fråga än att välja system/stomnät för mätning under uppdragets gång. De alternativ som finns har redan berörts eftersom de hänger ihop med valet av utgångspunkter (avsnitt 2.2.1) och kraven beträffande lägesosäkerhet (avsnitt 2.3.3).

Punktmolnet levereras i ett *euklidiskt* 3D-system – med kartesiska koordinater – eller i ett georefererat *kartografiskt* 2D+1D-system (Bilaga D.5). Leverans kan även ske i båda typerna av system.

Det euklidiska systemet är vanligen ett lokalt koordinatsystem för projektet eller det interna skannersystemet. Ett sådant system har vinkelräta axlar, och samma skala i alla tre dimensionerna, vilket ger möjlighet att mäta avstånd direkt i punktmolnet. För mer utsträckta objekt behöver dock korrektioner för jordkrökning hanteras, se [HMK TR 2019:1](#).

Kartografiska koordinater (Northing, Easting, och höjd över havet) i ett globalt anpassat referenssystem används för presentation av punktmolnet tillsammans med andra geodata. De utgör inte ett euklidiskt system, vilket innebär att skalan i punktmolnet varierar. Ett kartografiskt koordinatsystem består av ett system i plan (2D) – som åstadkoms med en kartprojektion – samt ett höjdsystem (1D). Som system i plan väljs vanligen någon av de lokala projektiionszonerna i SWEREF 99 och som höjdsystem RH 2000, se [HMK-Geodetisk infrastruktur 2021](#).

2.4.2 Skanningsplan

Rekommendation

- a) Beställaren anger filformat och namngivning för leverans av eventuell skanningsplan.

En *skanningsplan* är resultatet av utförarens planering för genomförandet av uppdraget, se avsnitt 3.1. Den är främst avsedd för ut-

förarens interna behov men kan även vara av intresse för beställare som vill ta del av hur uppdraget är tänkt att genomföras.

Skanningsplanen omfattar positionen för uppställningar, utgångspunkter, kontrollpunkter och konnektionspunkter samt en skriftlig produktionsdokumentation för planeringen enligt avsnitt 2.4.5. Vid mindre uppdrag brukar inte skanningsplan upprättas.

2.4.3 Utgångs- och kontrollpunkter

Rekommendation

- a) Beställaren anger filformat och namngivning för leverans av kompletterande utgångspunkter och kontrollpunkter för anslutningskontroll.

2.4.4 Laserdata

Rekommendation

- a) För laserdata definierar beställaren:
 - filformat och eventuellt versionsnummer
 - filstorlek och geografisk uppdelning.

Filformat

Beställaren specificerar format för leveransen, till exempel följande formella standarder, som kan läsas av flertalet programvaror för hantering och visning av punktmoln:

- *PTS* som är ett fabriksberoende *ASCII*-format och innehåller koordinatvärden, *RGB*-färgvärden och intensitetsvärden.
- *ASTM/E57* som är vanligt för punktmoln och bilder genererade av terrestra mätningssystem.
- *ASPRS/LAS* som är vanligt inom mobil laserskanning men även kan förekomma vid terrester skanning för t.ex. tunnelmätning.

Data i skannertillverkarens interna format kan dock innehålla mer information än de fabriksberoende standarderna. Det gör att leverans i ett sådant format kan vara lämpligt om beställare vill ha tillgång till denna information.

Eftersom det kan vara skillnader mellan olika versioner av ett format bör beställaren specificera både format och version.

Filstorlek och geografisk uppdelning

Resultatet av terrester laserskanning är vanligtvis punktmoln som består av flera miljoner punkter. Om dessa levereras i en och samma fil kan datamängden bli ohanterbar i beställarens programvara. Punktmolnen kan därför behöva delas upp i flera filer enligt något av följande kriterier:

- geografiska områden
- nivåer eller våningar
- byggnadsdelar
- anläggningsdelar
- objekt.

2.4.5 Produktionsdokumentation

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar eventuella tilläggskrav på produktionsdokumentationen.

Produktionsdokumentationen avser i första hand en skriftlig redogörelse som riktar sig till beställaren – i syfte att kunna bedöma om produktionen, produkten och leveransen följer specifikationen. Vid behov anpassar beställaren kraven på produktionsdokumentation utifrån uppdragets storlek, omfattning och användningsområde.

Om annan hantering önskas än produktionsdokumentation enligt (krav 3.1.5 d) för planering, (krav 3.2.1 e) för inmätning av utgångspunkter och kontrollpunkter eller (krav 3.3.6 g) för insamling specificeras detta av beställaren.

Vid mindre uppdrag brukar inte produktionsdokumentation för planeringen upprättas.

Exempel på tillägg till genomförandekrav är:

- Karta/ritning på papper, i pdf-format eller liknande över insamlingsområdet, med position för uppställningar, utgångspunkter och kontrollpunkter enligt Bilaga B.3 b.

2.4.6 Metadata

Rekommendation

- a) För eventuella metadata definierar beställaren informationsinnehåll och filformat.

Metadata avser digitala, strukturerade data om produkten. De riktar sig främst till framtida användare för att de ska kunna hitta data och bedöma deras användbarhet. Metadata kan även utgöra ett komplement till produktionsdokumentationen.

2.4.7 Tilläggspecifikation av leverans

Rekommendation

- a) Beställaren specificerar eventuella övriga krav på leveransen.

Prov- och delleveranser

För att säkerställa att planeringen har genomförts enligt kraven i den tekniska specifikationen granskas skanningsplanen innan datainsamlingen påbörjas.

Krav på prov- eller delleveranser, för godkännande av till exempel datakvalitet eller skanningsplan, ställs vid behov.

Leveransmedia och leveransstruktur

Krav på leveransmedia och leveransstruktur av filer och produkter specificeras vid behov.

Rådatahantering

Rådata bör sparas för eventuell omräkning av utföraren om fel uppdagas vid användningen av levererad produkt. Om behov uppstår av komplettering eller ombearbetning av insamlade data kan beställaren behöva ha tillgång till rådata eftersom information kan ha försvunnit vid bearbetningen av punktmolnet.

Krav på att utföraren ska leverera rådata och/eller delresultat i förädlingskedjan från skanning till leverans specificeras vid behov. Alternativt kan krav ställas på lagring av data för beställarens räkning – och hur länge data då ska finnas tillgängliga hos utföraren.

Visningsverktyg

Krav på tillhandahållande av ett licensfritt visningsverktyg, tillsammans med leveransen, ställs vid behov.

3 Genomförande

Krav

Utföraren ska ansvara för:

- a) kvalitetssäkring av produktionen och produkten.
- b) att allt insamlat material kontrolleras löpande under insamlingens gång.
- c) att det material som levereras är kvalitetskontrollerat och komplett.

Rekommendation

- d) En särskild kvalitetsplan bör upprättas.

Den generella arbetsprocessen vid terrester laserskanning kan sammanfattas enligt följande:

Planering

- Skanningen planeras utifrån kvalitetskraven i den tekniska specifikationen.
- Roller, kompetenser, ansvar och tidplan tydliggörs.
- Underlaget från beställaren sammanställs och kompletteras vid behov.
- Mätutrustning/mätmetoder väljs och anpassas mot ställda krav och uppdragets arbetsmässiga förutsättningar.
- Egenkontroller definieras.

→ **Eventuell avstämning med beställare (skanningsplan)**

Fältarbete

- Mätutrustning kontrolleras/justeras.
- Eventuell stomnätskomplettering genomförs.
- Konnektions-, utgångs- och kontrollpunkter identifieras och eventuella måltavlor sätts upp.
- Instrumentet ställs upp och etableras på den första uppställningsplatsen.
- Skanning genomförs, inkl. eventuell finskanning av måltavlor.
- Instrumentuppställningen kontrolleras, om möjligt, efter skanning.

- Motsvarande moment utförs från övriga uppställningar.
- Preliminär kontroll av stationens täckning och överlapp mot närliggande stationer.

→ **Eventuell avstämning med beställare**

Efterbearbetning

- Nyetablerade utgångspunkter slutberäknas.
- Överlappande uppställningar punktmolnsregistreras och registreringen kontrolleras genom jämförelse av inmätta kontrollpunkter.
- Punktmolnet ansluts till referenssystemet och lägesosäkerheten i anslutningen kontrolleras genom jämförelse med kontrollpunkter som har ett känt läge.
- Resultat och genomförda kontroller dokumenteras.

→ **Slutredovisning**

Arbetsprocessen måste dock anpassas till förhållandena i det aktuella uppdraget. Till stöd för utförare - och som komplement till detta kapitel - ges en översikt över terrester laserskanning och arbetsgången vid tillämpning av denna teknik i Bilaga D.

I en *kvalitetsplan* beskrivs hur produkterna ska tas fram samt vilka kontroller som ska genomföras och dokumenteras - för kvalitetssäkring av planering, datainsamling, efterbearbetning och leverans.

Det ger förutsättningar för en tydlig kvalitetsstyrning av ett uppdrag, så att eventuella brister tidigt kan identifieras och åtgärdas. I upphandlingens kontraktsvillkor kan beställaren kräva att en särskild kvalitetsplan upprättas, se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 2.2.

3.1 Planering av insamling

Krav

- Beställarens utgångsmaterial ska granskas före användning och ligga till grund för skanningsplanen.
- Skanningsplan för datainsamlingen ska dokumenteras enligt Bilaga B.1.

Rekommendation

- En rekognosering på platsen för skanningen bör genomföras för att underlätta planeringen.

God planering kring metodik och kontroller underlättar ett genomförande med ett resultat som uppfyller avsedd kvalitet, se Bilaga D.9. Ett laserskanningsprojekt innefattar flera delar, som är beroende av varandra, och alla steg behöver därför planeras med övriga steg i åtanke. Ordningföljden vid planeringen av de olika stegen är därför inte given.

All planering utgår från beställarens utgångsmaterial enligt avsnitt 2.2 och bör vanligen inkludera rekognosering på platsen för skanningen. Resultatet dokumenteras i skanningsplanen och dess produktionsdokumentation enligt Bilaga B.1.

Andra aspekter att utreda under planeringen är om det finns restriktioner i tillgänglighet, behov av tillstånd, externa störningsmoment, behov av strömförsörjning, krav på synkronisering med andra uppdrag, behov av skyddsutrustning eller krav på andra säkerhetsåtgärder m.m.

Skanningsplanens omfattning anpassas till uppdragets storlek och komplexitet. I mindre uppdrag kan planeringen ofta utföras i samband med själva skanningen – utan en formell skanningsplan.

3.1.1 Uppställningsplatser

Krav

- a) Instrument och uppställningsplatser ska väljas så att kraven på detaljeringsgrad, övertäckning och lägesosäkerhet uppfylls.
- b) Hänsyn ska tas till skymmande föremål för att säkerställa att samtliga specificerade objekt/objektdelar kan avbildas fullständigt.

Instrumentets egenskaper (exempelvis räckvidd, punkttäthet och mätosäkerhet) – samt infallsvinkeln mot objekt och måltavlor – är faktorer att beakta vid planeringen av uppställningsplatser. Dessutom behöver hänsyn tas till var utgångspunkter finns tillgängliga och var kontrollpunkter kan placeras.

Övertäckningszonen mellan intilliggande uppställningsplatser måste vara tillräckligt stora och – i förekommande fall – medge etablering av konnektionspunkter mellan uppställningarna, se avsnitt 3.1.2.

Även den lokala miljön – dess markförhållanden, tillfälliga och fasta hinder, risken för störningar m.m. – måste beaktas vid val av uppställningsplatser, så att full täckning av skanningsobjektet kan uppnås med specificerad kvalitet. För att inte skada människor eller djur ska också lasersäkerheten beaktas, se avsnitt 3.3.1.

3.1.2 Punktmolnsregistrering

Krav

- a) Vid registrering av laserpunktmoln ska övertäckningen mellan två intilliggande uppställningar vara $\geq 30\%$, oberoende av registreringsmetod.
- b) Minst en måltavla eller ett tydligt naturligt objekt, som inte används som konnektionspunkt, ska placeras/väljas i övertäckningsområdet för kontroll av registreringen.

Vid måltavleregistrering gäller särskilt att:

- c) Minst fyra gemensamma konnektionspunkter, i form av måltavlor, ska placeras i övertäckningsområdet mellan de två uppställningar som registreras.
- d) Konnektionspunkterna ska vara spridda inom övertäckningsområdet – både horisontellt och i höjddled.

Vid registrering baserad på naturliga objekt gäller särskilt att:

- e) objekten ska vara orienterade i tre inbördes ortogonala riktningar inom övertäckningsområdet.

Punktmolnsregistrering innebär att två laserpunktmoln fogas ihop och lagras i en av uppställningarnas interna skannersystem, det s.k. *hemsystemet*.

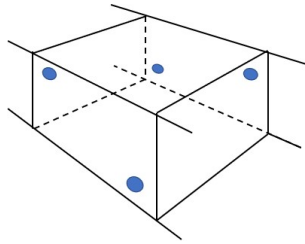
Registreringen kan ske enligt två huvudmetoder:

- *Moln-till-moln-registrering*, där korresponderande formationer i respektive punktmoln matchas.
- *Objektbaserad registrering*, som baseras på måltavlor (*måltavleregistrering*) eller på tydliga naturliga objekt.

Dessa metoder kan även kombineras i olika grad, se Tabell 4.

Vid måltavleregistrering används alltså måltavlor som konnektionspunkter, och varje övertäckningszon ska innehålla minst fyra sådana. En god geometrisk spridning av konnektionspunkterna i både plan och höjd inom övertäckningsområdet är en förutsättning för en bra registrering, se Figur 1.

Figur 1. Fyra konnektionspunkter optimalt placerade i den 3-dimensionella övertäckningszonen vid objektbaserad registrering av två punktmoln.



I stället för måltavlor kan naturliga objekt, som går att peka ut och modellera i båda punktmolnen, användas som konnektions- och kontrollpunkter vid registreringen. Objekten ska då – på motsvarande sätt – vara spridda/orienterade i tre inbördes ortogonala riktningar.

Oavsett metod ska en måltavla sättas upp – eller ett naturligt objekt definieras – som kontrollpunkt i övertäckningszonen, se Bilaga D.4.

Val av registreringsmetod

Vid val av registreringsmetod måste naturligtvis hänsyn i första hand tas till den tekniska specifikationens kvalitetskrav. De olika metoderna skiljer sig åt på flera punkter:

- En moln-till-moln-registrering baseras på många tusen korresponderande laserpunkter. Om det objekt som ska skannas innehåller tillräcklig textur för matchningen blir sådan registrering vanligen av mycket hög kvalitet.
- Vid måltavleregistrering används istället ett fåtal signalerade *passpunkter*. Det ringa antalet kompenseras då av att måltavlorna är mycket distinkta och utformade för att ge ett optimalt registreringsresultat.
- Användning av naturliga objekt kan, tekniskt sett, sägas ligga mitt emellan dessa båda metoder – och lånar lite av vardera metodens för- och nackdelar.

Det går inte att säga vilken metod som är bäst. Det beror på förutsättningarna i det aktuella fallet (objektets egenskaper och dess närmiljö, skannerns och programvarans utformning m.m.). Vad som däremot gäller generellt är att "extern" kontroll – med hjälp av kontrollpunkter – är en förutsättning för egenkontroll över registreringsprocessen.

Sådan kontroll möjliggör verifiering av mät- och lägesosäkerheten och av att beställarkraven är uppfyllda. Den kompletterar även programvarans inbyggda kvalitetskontroller, som ofta är av black-box-

karaktär; ibland kan extern kontroll t.o.m. ersätta utvärdering av svårtolkade, programspecifika kvalitetsparametrar.

Oavsett metod ska övertäckningen mellan de två punktmolnen vara $\geq 30\%$. Större övertäckning kan dock vara motiverat av andra skäl, t.ex. bättre insyn och täckning av objektet från olika vinklar.

3.1.3 Anslutning

Krav

- a) Om anslutning görs ska transformationsvägen väljas utifrån kraven på lägesosäkerhet i slutprodukten.

Anslutning innebär att punktmoln – eventuellt flera som registrerats ihop – ansluts till ett referenssystem. Beroende på slutprodukterns användningsområde och önskade egenskaper kan olika transformationsvägar väljas vad gäller georeferering och lokal anslutning, [4]. Detta påverkar planeringen av utgångspunkter och deras egenskaper, se avsnitt 2.2.1 och 3.1.4. Inpassning kan ske i 3D (kartesiska alternativt geodetiska koordinater) eller uppdelat i plan och höjd (kartografiska koordinater), se Bilaga D.6-D.7. Presentation i ett kartografiskt system innebär alltid en viss förvrängning av en 3D-geometri. Transformationsvägen till ett kartografiskt system avgör bl.a. hur jordkrökning och skalförändringar hanteras vid inpassningen av punktmolnet.

Följande prioriteringsordning bör gälla vid georeferering, se Figur 11:

- 1) Transformera punktmolnet från skannersystemet till kartesiska koordinater i referenssystemet. Gör sedan en *överräkning* till geodetiska koordinater och vidare – med en kartprojektion – till kartografiska koordinater.
- 2) Transformera punktmolnet direkt till kartografiska koordinater men separera beräkningen i plan och höjd (2D+1D, t.ex. SWEREF 99/RH 2000). Gör eventuellt en omskalning – med en skalfaktor – i plan.
- 3) Transformera punktmolnet direkt till kartografiska koordinater i 3D utan skalfaktor. De kartografiska koordinaterna betraktas då som euklidiska, vilket de egentligen inte är, men skalan ändras ej.

För punktmoln från terrester laserskanning kan det dock vara viktigare att den interna geometrin behålls än att punktmolnet blir så bra georefererat som möjligt, vilket är fallet för prioriteringsordning 3.

3.1.4 Utgångs- och kontrollpunkter

Krav

- a) Utgångspunkterna ska ha en sådan lägesosäkerhet att anslutning som uppfyller kraven på slutprodukten är möjlig.
- b) Dokumentationen av de utgångspunkter som ingår i beställarens utgångsmaterial ska kontrolleras före användning.
- c) Utgångspunkter och kontrollpunkter för anslutningskontroll ska signaleras med måltavlor.

För anslutning av ett registrerat punktmoln från flera uppställningar gäller att:

- d) Anslutningen ska baseras på minst fyra utgångspunkter, och därutöver anpassas i antal efter insamlingsområdets storlek och utbredning.
- e) Utgångspunkterna ska omsluta insamlingsområdet.
- f) Minst tre kontrollpunkter för anslutningskontroll ska finnas inom insamlingsområdet, och därutöver anpassas i antal efter insamlingsområdets storlek och utbredning.
- g) För insamlingsområden med utsträckning i höjddled ska minst en utgångspunkt och minst en kontrollpunkt finnas på varje våningsplan (motsv.).

För stationsvis anslutning av enskilda punktmoln gäller att:

- h) Antalet utgångspunkter ska vara minst tre.
- i) Minst en kontrollpunkt, signalerad med en måltavla, ska finnas inom skannerns insamlingsområde för anslutningskontroll.
- j) Övertäckningen mellan intilliggande punktmoln ska vara ≥ 10 %.

Rekommendation

- k) Vid rundskanning bör den sista uppställningen överlappa den första.

Om utgångspunkter ingår i beställarens utgångsmaterial (se avsnitt 2.2) kontrolleras dokumentationen av punkterna för att avgöra deras lämplighet för uppdraget. Beställaren informeras om brister som kan

inverka menligt på arbetsprocessen eller på slutproduktens kvalitet. Krav på kontrollmätningar och komplettering med nya utgångs- och kontrollpunkter (avsnitt 3.2) kan även anges av beställaren i form av en tilläggs-specifikation till uppdraget (avsnitt 2.3.6).

För anslutning av ett registrerat punktmoln till ett externt system krävs minst sju punkter med kända koordinater i aktuellt referenssystem: fyra utgångspunkter för anslutningen och minst tre kontrollpunkter för anslutningskontroll. Därutöver ska punktantalet anpassas till insamlingsområdets storlek och form (se Bilaga D.9):

- Generellt rekommenderas en utgångspunkt för varannan uppställning.
- För långsträckta objekt (tunnlar etc.) är lika många utgångspunkter som uppställningar ett lämpligt riktmärke.
- För ”kompakta” 3D-objekt kan det räcka med en utgångspunkt för var tredje uppställning.
- I byggnader bör minst en utgångspunkt och en kontrollpunkt finnas på varje våningsplan (motsv.).

Antalet kontrollpunkter bör vara ca. 2/3 av antalet utgångspunkter.

Punkterna ska uppfylla kvalitetskraven, omsluta området för anslutningen och vara signalerade med måltavlor. För approximativ georeferering av ett lokalt anslutet punktmoln krävs gemensamma utgångspunkter/passpunkter i såväl det lokala som det globalt anpassade referenssystemet.

Stationsvis anslutning

Vid *stationsvis anslutning* ansluts varje station separat till ett externt referenssystem (se Bilaga D.7).

- Först genomförs skanningen, inklusive skanning av måltavlor placerade på utgångspunkter i stationens närhet.
- Därefter utförs anslutningen genom inpassning på utgångspunkternas kända koordinater.

Stationsvis anslutning ställer samma krav på utgångspunkternas placering som en fri uppställning av en totalstation vid terrester detaljmätning, se HMK – Terrester detaljmätning, senaste version.

Det innebär att minst fyra punkter – också här signalerade med måltavlor och med kända koordinater i referenssystemet – ska finnas tillgängliga för varje uppställning: tre utgångspunkter för anslutning + en kontrollpunkt för kontroll av densamma.

Även om någon övertäckning mellan uppställningarna egentligen inte behövs så ska det finnas ett visst överlapp ($\geq 10\%$) – för visuell

kontroll av övertäckningszonen och för att minska risken för glapp mellan punktmolnen.

Stationsvis anslutning brukar även benämnas "anslutning enligt 1-stegsmetoden" – till skillnad mot den tidigare beskrivna 2-stegsmetoden (registrering + anslutning), se Tabell 6.

3.1.5 Leverans

Krav

Leverans av skanningsplan ska:

- a) vara kvalitetskontrollerad och komplett.
- b) levereras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren (se avsnitt 2.4.2).

Leverans av produktionsdokumentation ska:

- c) vara kvalitetskontrollerad och komplett.
- d) bestå av rapport enligt punkt a) i Bilaga B.1 om beställaren inte särskilt anger annat.

3.2 Inmätning av utgångs- och kontrollpunkter

Krav

Kompletterande utgångs- och kontrollpunkter ska:

- a) markeras med en varaktighet som är anpassad till projekt-tiden.
- b) om det handlar om en tillfällig markering, mäts in i anslutning till skanningen för att säkerställa aktualitet.

Bestämning av nya utgångs- och kontrollpunkter ska ske:

- c) med lämplig geodetisk mätmetod.
- d) med en standardosäkerhet, inklusive befintliga utgångspunkters lägesosäkerhet, som ligger i nivå med standardosäkerheten i slutprodukten.

Om lämpliga utgångspunkter och kontrollpunkter för anslutningskontroll saknas i beställarens utgångsmaterial (avsnitt 3.1) måste kompletterande punkter etableras för uppdraget. Dessa bestäms genom geodetisk mätning och lämplig metod – utifrån specificerade krav – kan väljas med hjälp av [HMK-TR 2018:1](#), s. 7.

Markering av punkterna ska ske med den varaktighet som tillämpningen kräver (se [HMK-Geodesi: Markering](#), med senaste aktualitetsbeskrivning). Inmätningen bör utföras i anslutning till skanningen.

3.2.1 Leverans

Krav

Leverans av nya utgångs- och kontrollpunkter ska:

- a) vara kvalitetskontrollerad och komplett.
- b) innehålla en fil med punkternas beteckning och position; koordinat- och höjdvärden redovisas i meter med tre decimaler.
- c) levereras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren enligt avsnitt 2.4.3.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

- d) vara kvalitetskontrollerad och komplett.
- e) bestå av rapport enligt punkt a) och b) i Bilaga B.2 om beställaren inte särskilt anger annat.

3.3 Insamling av laserdata samt beräkning av punktmoln

3.3.1 System och utrustning

Krav

- a) Mätutrustning och tillbehör ska vara kalibrerade och underhållna enligt tillverkarens specifikationer.
- b) Kalibreringscertifikat för laserskannern ska på begäran kunna uppvisas för beställaren.
- c) Vid användning på offentliga platser ska säkerhetsåtgärder vidtas och lasersystemet vara ögonsäkert enligt IEC 60825:2019.

Gemensamt för alla mätinstrument är att de regelbundet behöver kontrolleras, servas och kalibreras för att uppnå specificerad mätosäkerhet. En laserskanner är vanligtvis internt kalibrerad av leverantören vid leverans. Kalibreringen behöver dock verifieras med jämna mellanrum, exempelvis vid årlig service, och resultatet i form av ett kalibreringscertifikat ska vid begäran kunna uppvisas.

Det är viktigt att komma ihåg att lägesosäkerheten i slutprodukten inte är detsamma som skannerns mätosäkerhet (enligt tillverkarens specifikationer). Den totala lägesosäkerheten beror också på andra faktorer, t.ex. georeferering/lokal anslutning till ett referenssystem, se osäkerhetsbudgeten i Bilaga D.8.

Även tillbehör – stativ, trefötter m.m. – ska kontrolleras regelbundet.

Lasersäkerhet

Användning av laserskannrar kan medföra risk för ögonskador. Det är därför viktigt att känna till – och följa – instrumenttillverkarens anvisningar vad gäller lasersäkerhet, liksom gällande standarder och ansvariga myndigheters föreskrifter inom detta område.

- Arbetsmiljöverkets föreskrift AFS 2009:7, [5], reglerar arbetsgivaransvaret och betonar utbildning av användarna.
- Gällande standard (2021) är IEC 60825:2019, [6]. Den tidigare svenska versionen är utgiven som SS-EN 60825-1, utg. 5:2014; förbetald av Strålsäkerhetsmyndigheten och därmed kostnadsfri för digital nedladdning.

Viktiga säkerhetsrutiner vid terrester laserskanning – i synnerhet i offentliga miljöer – är:

- Sätt upp varningsskyltar om att laser används inom området.
- Sträva efter att placera öppna strålgångar över eller under ögonhöjd.
- Se till att laserstrålen inte riktas mot spegelliknande ytor.
- Undvik användning av optiska redskap i närheten av skannern eftersom laserljus då kan träffa observatörens ögon.

3.3.2 Signalering med måltavlor

Krav

- Måltavlor ska användas som signal på utgångspunkter och alla typer av kontrollpunkter med ett känt läge.
- Måltavlorna ska placeras på ett sådant sätt att de kan identifieras i de punktmoln och bilder som innefattar den berörda punkten.
- Signalering med icke-permanenta måltavlor ska ske i samband med skanningen.
- Måltavlorna ska vara kompatibla med den skanner och den programvara som används.

Måltavlor

Sammantaget används måltavlor (se Bilaga D.9):

- på utgångspunkter för anslutning till ett referenssystem
- som konnektionspunkter vid registrering
- på kontrollpunkter för kontroll av registrering, anslutning eller uppställning.

Samma måltavla kan ha en eller flera av dessa funktioner. Måltavlorna ska placeras så att de syns i berörda punktmoln/bilder och för att säkerställa aktualitet ska signalering ske i samband med skanningen.

Måltavlorna ska vara kompatibla med skannern och dess programvara och vid eventuell *måltavleskanning* är det viktigt att tillverkarens rekommendationer följs.

Måltavlorna måste också kontrolleras och kalibreras så att centrumpunkten blir korrekt definierad. Detta är särskilt viktigt om olika måltavlor används för markering av samma punkt vid olika tillfällen.

3.3.3 Insamling

Krav

- Laserskanning ska inte utföras vid yttre förhållanden som negativt påverkar kvaliteten på slutprodukten.
- Punkttätheten vid skanning ska anpassas till kraven på detaljeringsgrad.
- Punktmoln som registreras tillsammans ska ha ungefär samma punkttäthet.

Rekommendation

- Ytor med hög eller låg reflektans bör behandlas före skanning.
- Om möjligt bör en måltavla eller annat objekt mätas in före och efter skanning, som kontroll av att instrumentet inte har rört sig.

Laserskanning ska inte utföras vid nederbörd, damm/rök, fuktiga skanningsobjekt, stark vind eller liknande förhållanden som påverkar kvalitén i den slutliga produkten negativt och vid mätning i starkt solljus kan räckvidden minska jämfört med skanning i mulet väder.

Tillfälliga hinder såsom parkerade fordon ger oönskade luckor i punktmolnet och ska om möjligt flyttas eller hanteras genom kompletterande datainsamling vid andra tidpunkter.

Punkttätheten – eller den *geometriska upplösningen* – i molnet är av stor betydelse för hur bra avbildningen av ett objekt blir. Den bör vara lika i horisontal- och vertikalled samt mellan närliggande uppställningar som ska registreras. Normalt ger hög punkttäthet en mer detaljerad återgivning, men alltför hög punkttäthet kan skapa störningar i form av "spökreturer", se Figur 6.

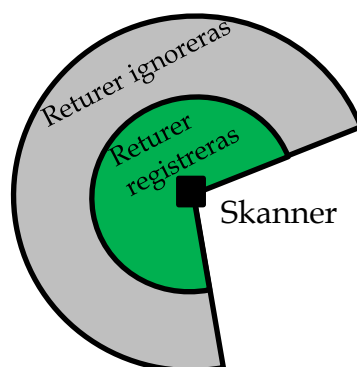
Det gäller därför att ha "rätt" punkttäthet/upplösning – med hänsyn tagen till avståndet från skannern till det skannade objektet samt objektets form och detaljrikedom. För hög punkttäthet kan också ge ohanterligt stora datafiler, längre tid för skanning och mer efterarbete.

En vanlig felorsak är ytor med för hög eller låg reflektans. Exempelvis har speglar och glasrutor alltför hög reflektans – vilket kan ge "studsar" via andra ytor – och helt svarta ytor ger inga returer alls. För att förbättra reflektansen bör problematiska ytor behandlas före skanning, t.ex. genom att spraya färg, lägga på mjöl eller liknande.

Som kontroll av att instrumentet inte har rört sig under mätningens gång bör en måltavla eller annat väldefinierat objekt mätas in före och efter skanning – om det är tekniskt möjligt med aktuell skanner.

Skanningens omfattning på varje uppställning kan avgränsas programvarumässigt. Det sker med vinklar och avstånd som definierar de områden där returer ska registreras respektive ignoreras, se Figur 2. Motivet är att datafilerna annars blir onödigt stora men det kan ändå vara effektivare att utföra all datarensning i efterhand, se Bilaga D.10.

Figur 2. Tillämpning av avståndsfiltrering och vinkelavgränsning vid terrester laserskanning.



Mätningen på en station vid måltavlebaserad laserskanning utförs normalt enligt processbeskrivningen i Bilaga D.11.1.

3.3.4 Registrering

Rekommendation

- a) Punktmolnsregistrering bör kontrolleras visuellt.

Vid objektbaserad punktmolnsregistrering kan identifieringen av objekten – och hela registreringsprocessen – göras automatiskt av efterbearbetningsprogramvaran. Erfarenheten visar dock att programmen ibland identifierar fel objekt – eller matchar fel måltavlor – vilket ger ett felaktigt registrerat punktmoln. Detta kan vara svårt att upptäcka vid en första anblick eftersom programvarans kvalitetstal ändå kan se bra ut.

Istället rekommenderas viss handpåläggning vid registrering, enligt processbeskrivningen i Bilaga D.11.2.

Kontroll av registreringen sker på olika sätt beroende på registreringsmetod. All registrering bör dock även kontrolleras visuellt – oavsett metod.

3.3.5 Anslutning

Krav

- a) Kontroll av lägesosäkerheten vid anslutning ska utföras med hjälp av kontrollpunkter – signalerade med måltavlor och med kända koordinater som inte har använts vid anslutningen.
- b) Stationsvis anslutning ska även kontrolleras genom visuell jämförelse mellan intilliggande stationer.

Rekommendation

- c) Måltavlor på anslutnings- och kontrollpunkter bör pekats ut manuellt.

Vanligen ansluts ett registrerat laserpunktmoln till ett externt referenssystem: lokalt eller globalt anpassat, se Bilaga D.5. De olika momenten utförs normalt enligt processbeskrivningen i Bilaga D.11.3. Precis som vid registreringen bör viss handpåläggning ske, och kontroll utföras av att anslutningen har gett önskat resultat.

Kontroll av lägesosäkerheten ska utföras med hjälp av särskilda kontrollpunkter – signalerade med måltavlor och med kända koordinater som inte har använts vid anslutningen.

Vid stationsvis anslutning ska visuell kontroll även göras av att punktmolnet är fullständigt, utan glapp mellan stationer, och att objekt i överlappningszonen mellan intilliggande stationer överensstämmer.

3.3.6 Leverans

Krav

Leverans av laserdata ska:

- a) vara kvalitetskontrollerad och komplett.
- b) ha koordinat- och höjdvärden redovisade i meter med antal decimaler baserade på lägesosäkerheten i slutprodukten.¹⁾
- c) göras i det filformat som anvisats av beställaren (se avsnitt 2.4.4).
- d) följa den geografiska indelning som tillhandahållits av beställaren.
- e) göras med den namngivning som anvisats av beställaren.

Leverans av produktionsdokumentation ska:

- f) vara kvalitetskontrollerad och komplett.
- g) bestå av rapport enligt punkt a) i Bilaga B.3 om beställaren inte särskilt anger annat.

Leverans av eventuella metadata ska:

- h) vara kvalitetskontrollerad och komplett.
- i) göras i det filformat och med den namngivning som anvisats av beställaren.

1) Läs mer i [HMK – Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.8, om varför många decimaler bör användas under beräkningens gång och varför avrundning – till ungefär en tiondel av lägesosäkerheten – inte bör ske förrän i slutprodukten.

4 Beställarens kontroll

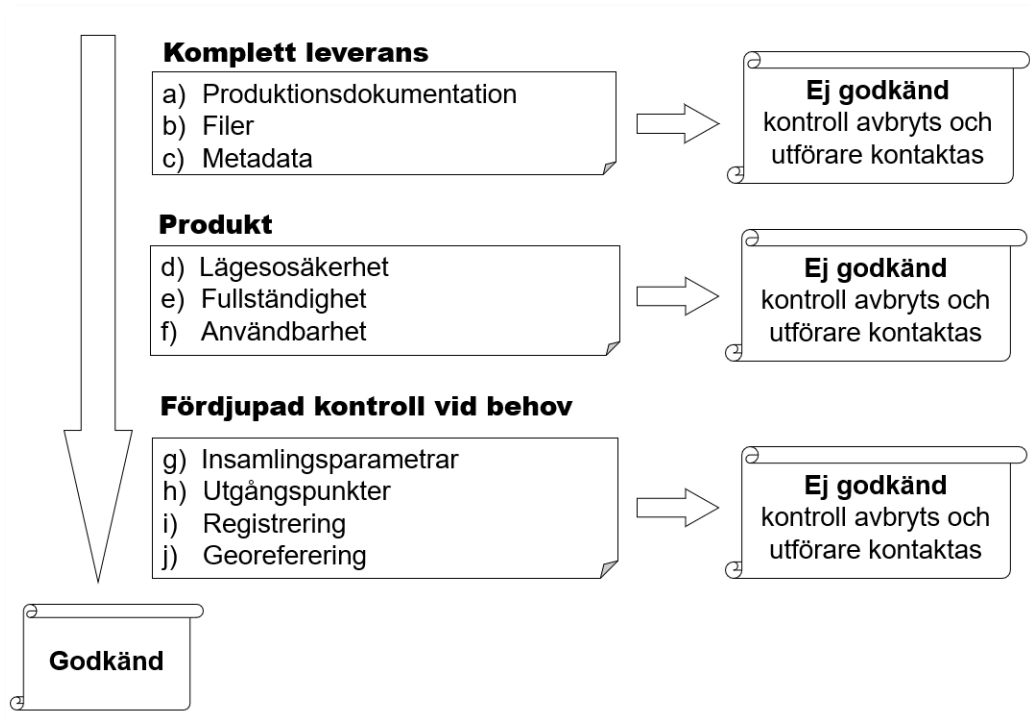
Beställaren bör kontrollera erhållen leverans snarast möjligt efter mottagandet. En tidsfrist bör anges i upphandlingens kontraktsvillkor se [HMK - Introduktion 2017](#), avsnitt 3.2.1. Kontrollernas omfattning anpassas efter leveransens storlek och kan appliceras som fullständiga kontroller eller som stickprov.

I Figur 3 redovisas ett kontrollflöde i syfte att identifiera felaktigheter i leveransen. Först genomförs kontroll av komplett leverans och slutproduktens kvalitet. Kontroll av lägesosäkerheten kan överlåtas till utföraren om beställaren saknar kompetens för en sådan kontroll.

Endast om denna första kontroll uppvisar avvikelser sker en fördjupad kontroll. Om leveransen inte är komplett eller något kontrollsteg indikerar signifikanta brister bör kontrollen avbrytas och utföraren kontaktas.

I Bilaga C beskrivs olika kontroller mer detaljerat. För generell information om datakvalitet och kontroll av geodata, se [HMK - Geodatakvalitet](#), senaste version.

Figur 3. Kontrollflödet och de ingående kontrollerna.



5 Referenser/Läs mer

Här presenteras refererade dokument och andra lästips kring terrester laserskanning.

Samtliga HMK-dokument – handböcker och tekniska rapporter – publiceras fortlöpande på www.lantmateriet.se/HMK.

Läroböcker, kompendier etc.

- [1] Olsson, P, Rost, H, Reshetyuk, Y (2021): [Laserskanning](#), som utgör kap.15 (s. 253-276) i kompendiet Geodetisk och fotogrammetrisk mättnings- och beräkningsteknik. Lantmäteriet m.fl.
- [2] Harrie, L red. (2020): [Geografisk informationsbehandling – Teori, metoder och tillämpningar](#), sjunde upplagan, avsnitt 4.7–4.8 (sid. 109-118). ISBN 978-91-44-13174-0. Studentlitteratur.
- [3] Reshetyuk, Y (2017): [Terrester laserskanning](#). e-bok, ISBN 978-87-403-1645-2, BookBoon.com.
- [4] Uggla, G, Horemuz, M, KTH, (2021): [Conceptualizing Georeferencing for Terrestrial Laser Scanning and Improving Point Cloud Metadata](#), Journal of Surveying Engineering, Volume 147 Issue 2 - May 2021.

Standarder och riktlinjer

- [5] Arbetsmiljöverket, (2009): [Föreskrift AFS 2009:7: Artificiell optisk strålning](#). Ändringsföreskrifter: [AFS 2014:8](#), [AFS 2019:11](#).
- [6] International Electrotechnical Commission, (2019): [IEC 60825:2019: Safety of laser products](#). En äldre version av standarden är i Sverige utgiven som [SS-EN 60825-1, utg 5: 2014/ AC1:2017, Laser - Säkerhet - Del 1: Klassificering av utrustning samt fordringar](#). Ansvarig kommitté är SEK TK 76, Laserutrustningar och optisk strålningssäkerhet.
- [7] Svenska Institutet för Standarder, (2016): [SIS-TS 21143:2016: Byggmätning - Geodetisk mätning, beräkning och redovisning av byggnadsverk och infrastruktur](#). Utgåva 5. Ansvarig teknisk kommitté är SIS/TK 178, Byggmätning och toleranser.

Bilaga A: Mall och exempel för upprättande av teknisk specifikation

A.1 Mall för teknisk specifikation

Teknisk specifikation

Genomförande ska göras enligt denna tekniska specifikation. Förklaring av krav och definitioner av termer framgår av HMK – Terrester laserskanning 2021 och [HMK-Ordlista](#), senaste version.

1 Allmän beskrivning (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.1)

Ingående tjänster:.....

Aktuella produkter:.....

Produkternas användning:

2 Specifikation av utgångsmaterial (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.2)

Insamlingsområde (*fil med koordinatsatt begränsning, inklusive format och referenssystem, alternativt markerat på ritning*):.....

Utgångspunkter (*kvalitetsdeklarerade i aktuellt referenssystem*):.....

Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper:

3 Specifikation av produkten (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.3)

Krav på HMK-standardnivå:

Krav på detaljeringsgrad (*vilka detaljer som ska kunna tolkas*):

Krav på standardosäkerhet i plan/höjd, ideala förhållanden: (*anges som "mätosäkerhet", "lokal lägesosäkerhet" och /eller "absolut lägesosäkerhet"*).....

Krav på fullständighet:

Krav på datarensning:

- Krav på tilläggspecifikationer: (till exempel "Utökad kontroll av utgångspunkter", "Komplettering av utgångspunkter", "Antal utgångspunkter", "Kontrollpunkter för anslutningskontroll", "Färgsättning av punktmoln")

4 Specifikation av leverans (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.4)

Referenssystem

(ska data vara georefererade, lokalt anslutna eller i ett skannersystem, metod för anslutning)

Krav på referenssystem i plan:

Krav på referenssystem i höjd:

Skanningsplan

Krav på format:

Krav på namngivning:

Utgångs- och kontrollpunkter

(kompletterande utgångspunkter samt kontrollpunkter för anslutningskontroll)

Krav på format:

Krav på namngivning:

Laserdata

Krav på format och ev. version:

Krav på filstorlek och geografisk uppdelning:

Produktionsdokumentation

Tilläggskrav på produktionsdokumentation:

Metadata

Krav på innehåll i metadata:

Krav på format för metadata:

Tilläggspecifikationer av leverans

Tilläggspecifikation av leverans (*exempelvis krav på "Prov- och delleveranser", "Leveransmedia och leveransstruktur", "Rådatahantering", "Visningsverktyg"*):

5 Specifikation av genomförande (HMK – Terrester laserskanning 2021, kapitel 3)

Krav 3 a-c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3 d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1 a-b i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.1 c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.1 a-b i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.2 a-e i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.3 a i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.4 a-j HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.1.4 k i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.5 a-d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.2 a-d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.2.1 a-e i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.1 a-c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.2 a-d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.3 a-c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.3.3 d-e i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.3.4 a i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.5 a-b i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.3.5 c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.6 a-i i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Kommentar till mallen:

- Se [HMK – Introduktion 2017](#), avsnitt 1.7, för principer vid hänvisning till krav samt exempel på hur hänvisningar och avsteg/tillägg kan formuleras.
- I mallens avsnitt 5 ges hänvisningar till vilka krav i HMK- Terrester laserskanning 2021, kapitel 3 "Genomförande", som ska gälla.
- Listan i mallens avsnitt 5 innehåller alla krav och rekommendationer i kapitel 3. Ej aktuella krav tas bort av beställaren vid användning av mallen.

A.2 Exempel på ifylld mall för skanning av en tunnel

Teknisk specifikation

Genomförande ska göras enligt denna tekniska specifikation. Förklaring av krav och definitioner av termer framgår av HMK – Terrester laserskanning 2021 och [HMK-Ordlista](#), senaste version.

1 Allmän beskrivning (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.1)

Ingående tjänster: *Uppdraget avser terrester laserskanning av X-tunneln. Tunneln är 1 km lång, dess bredd är 20 meter och höjden 5 meter. Etablering av stomnätet har skett i förväg och ingår därför inte i uppdraget.*

Aktuella produkter: *Laserpunktmoln.*

Produkternas användning: *Syftet är att*

- *före sprutning med betong detektera sprickbildningar större än 5 mm i bergväggen i särskilt utpekade områden.*
- *genom skanning före och efter bergförstärkningen kunna beräkna mängden betong som sprutats på innerväggarna.*
- *dokumentera eventuella kvarstående begränsningar i framkomligheten vid framtida transporter genom tunneln.*

2 Specifikation av utgångsmaterial (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.2)

Insamlingsområde (*fil med koordinatsatt begränsning, inklusive format och referenssystem, alternativt markerat på ritning*):

Se bifogad shape-fil över insamlingsområdets begränsning i referenssystemen SWEREF 99 14 15, RH 2000.

Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper:

Befintligt stomnät

- *referenssystemen SWEREF 99 14 15, RH 2000.*
- *systemen har realiserats i form av "stomnät i tunnel" – med anslutning i båda påslagen. Utformning och dokumentation enligt SIS-TS 21143:2016, kapitel 6.*
- *koordinatlista över utgångspunkter inom aktuellt område bifogas.*

3 Specifikation av produkten (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.3)

Krav på HMK-standardnivå: *3*

Krav på detaljeringsgrad: *Sprickvidder med minsta storlek 5 mm ska kunna detekteras. Resultatet ska kunna användas för framtida jämförelser där deformationer större än 5 mm ska kunna detekteras. Med deformationer avses avvikelser i skarvar, utstickande hörn, avvikelser från projekterad geometri mm.*

Krav på standardosäkerhet i plan/höjd, ideala förhållanden:

Lokal lägesosäkerhet <0,005 m/ <0,005 m (standardosäkerhet).

Absolut lägesosäkerhet <0,020 m/ <0,020 m (standardosäkerhet).

Krav på fullständighet: *Minst 90 % täckning i redovisningen av tunnelväggen.*

Krav på datarensning: *Data utanför insamlingsområdet samt icke relevanta objekt (spökmätningar) ska tas bort före leverans.*

Krav på tilläggspecifikationer: -

4 Specifikation av leverans (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.4)

Referenssystem

Krav på referenssystem i plan: *SWEREF 99 14 15*

Krav på referenssystem i höjd: *RH 2000*

Skanningsplan

Krav på format: *KML*

Krav på namngivning: *Efter överenskommelse.*

Utgångs- och kontrollpunkter

Krav på format: *ASCII-fil.*

Krav på namngivning: *Efter överenskommelse.*

Laserdata

Krav på format och ev. version: *.PTS eller annat överenskommet ASCII-format.*

Krav på filstorlek och geografisk uppdelning: *Maximal filstorlek är 10 GB. Ingen datakomprimering ska utföras.*

Produktionsdokumentation

Tilläggskrav på produktionsdokumentation: *Geografisk indelning, filstruktur och namngivning ska beskrivas.*

Metadata

Krav på innehåll i metadata: -

Krav på format för metadata: -

Tilläggs-specifikationer av leverans

Prov- och delleranser: *Skanningsplan ska godkännas före fortsatt produktion.*

5 Specifikation av genomförande (HMK – Terrester laserskanning 2021, kapitel 3)

Krav 3 a-c i DMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3 d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1 a-b i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.1 c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.1 a-b i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.2 a-e i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.3 a i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.4 b-j HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.5 a-d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.2 a-d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.2.1 a-e i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.1 a-c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.2 a-d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.3 a-c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.3.3 d-e i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.3.4 a i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.5 a-b i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.3.5 c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.6 a-c, f-g i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Kommentarer till tunnelexempel:

- Krav 3.1.4 a) finns inte med i exemplet eftersom beställaren står för utgångspunkter.
- Rekommendation 3.1.4 k) finns inte med i exemplet eftersom rundskanning inte är aktuellt.
- Krav 3.3.6 d) och e) finns inte med i exemplet eftersom utföraren står för namngivning och geografisk indelning.
- Krav 3.3.6 h) och i) finns inte med i exemplet eftersom metadata inte önskas.

A.3 Exempel på ifylld mall för skanning av en byggnad

Teknisk specifikation

Genomförande ska göras enligt denna tekniska specifikation. Förklaring av krav och definitioner av termer framgår av HMK – Terrester laserskanning 2021 och [HMK-Ordlista](#), senaste version.

1 Allmän beskrivning (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.1)

Ingående tjänster: *Uppdraget avser terrester laserskanning av en byggnad med 4-våningar, källare, entréplan, vån 1 samt vind. Varje våning är 50 m lång och 20 m bred. Så varje våning är 1000 m². Etablering av utvändigt stomnät har skett i förväg och ingår därför inte i uppdraget.*

Aktuella produkter: *Laserpunktmoln*

Produkternas användning: *Syftet är*

- *en bruttoareaberäkning av varje våningsplan.*
- *underlag för nya rörinstallationer som skall gå från källare till vind.*
- *då ombyggnationer skett på entréplan och våning 1 skall skanningen ligga till grund för AS-Built dokumentation av ombyggnationerna.*
- *vinden skall inredas till kontor, så skanning skall ligga till grund för projektering av våningen.*

2 Specifikation av utgångsmaterial (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.2)

Insamlingsområde (*fil med koordinatsatt begränsning, inklusive format och referenssystem, alternativt markerat på ritning*):

Se bifogade dwg-filer för resp. plan samt översiktsbild från Google Earth.

Övrigt utgångsmaterial inklusive egenskaper:

Befintligt stomnät

- *fyra PK-spikar finns markerade runt byggnaden, referenssystemen SWEREF 99 14 15, RH 2000.*
- *punktbeskrivningar och koordinater bifogas.*

3 Specifikation av produkten (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.3)

Krav på HMK-standardnivå: *3*

Krav på detaljeringsgrad:

Rör ned till diameter 30 mm skall kunna modelleras.

Krav på standardosäkerhet i plan/höjd, ideala förhållanden:

Lokal lägesosäkerhet <0,005 m/ <0,005 m (standardosäkerhet).

Absolut lägesosäkerhet <0,020 m/ <0,020 m (standardosäkerhet).

Krav på fullständighet: *Skuggor i data accepteras, men relevanta objekt såsom rör och bärande konstruktioner skall ha tillräcklig täckning med punkter för att kunna modelleras. Spökreturer ska i möjligaste mån minimeras genom val av lämplig punkttäthet.*

Krav på datarensning: *Mätbrus i form av förbipasserande människor ska tas bort. All form av lös inredning såsom skrivbord, stolar mm skall tas bort.*

Krav på tilläggs-specifikationer:

Komplettering av utgångspunkter: *Då ytterligare skanning kan behövas så skall minst fyra väl definierade punkter som fördelats ut över planet, lämnas på varje våningsplan, dessa skall kunna användas för anslutning av framtida skanningar.*

4 Specifikation av leverans (HMK – Terrester laserskanning 2021, avsnitt 2.4)

Referenssystem

Krav på referenssystem i plan:

Lokalt system, approximativt anslutet till SWEREF 99 14 15.

Krav på referenssystem i höjd:

Lokalt system, approximativt anslutet till RH 2000.

Skanningsplan

Krav på format: -

Krav på namngivning: -

Utgångs- och kontrollpunkter

Krav på format: *ASCII-format.*

Krav på namngivning: *Efter överenskommelse.*

Laserdata

Krav på format och ev. version:

.PTS eller annat överenskommet ASCII-format.

Krav på filstorlek och geografisk uppdelning:

Maximal filstorlek är 10 GB. Ingen datakomprimering ska utföras.

Produktionsdokumentation

Tilläggskrav på produktionsdokumentation:

Geografisk indelning, filstruktur och namngivning ska beskrivas.

Metadata

Krav på innehåll i metadata: -

Krav på format för metadata: -

Tilläggs-specifikationer av leverans

Tilläggs-specifikation av leverans: -

5 Specifikation av genomförande (HMK – Terrester laserskanning 2021, kapitel 3)

Krav 3 a-c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3 d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1 a-b i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.1 c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.1 a-b i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.2 a-e i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.3 a i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.1.4 b-j i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.1.4 k i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.2 a-d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.2.1 a-e i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.1 a-c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.2 a-d i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.3 a-c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.3.3 d-e i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.3.4 a i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.5 a-b i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Rekommendation 3.3.5 c i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Krav 3.3.6 a-c, f-g i HMK – Terrester laserskanning 2021 gäller.

Kommentarer till byggnadsexempel:

- Kravet 3.1.4 a) finns inte med i exemplet eftersom beställaren står för utgångspunkter.
- Krav 3.1.5 a-d) finns inte med eftersom leverans av skanningsplan inte önskas.
- Krav 3.3.6 d) och e) finns inte med i exemplet eftersom utföraren står för namngivning och geografisk indelning.
- Krav 3.3.6 h) och i) finns inte med eftersom metadata inte önskas.

Bilaga B: Produktionsdokumentation

Produktionsdokumentationen ska redovisa:

- a) uppdraget (inklusive datafångstdatum)
- b) uppdragsorganisation, det vill säga utförare och beställare
- c) förteckning över levererat material inklusive filer/produkter.

B.1 Planering av insamling

Produktionsdokumentationen avseende skanningsplan ska redovisa:

- a) rapport, i PDF/A-format om inte annat anges, som redovisar:
 - referenssystem i plan och höjd
 - kontroll av dokumentation rörande utgångspunkters kvalitet
 - eventuell komplettering av fler utgångspunkter
 - punkttäthet
 - övertäckning
 - principiell placering av
 - instrumentuppställningar
 - konnektionspunkter
 - kontrollpunkter för registreringskontroll
 - kontrollpunkter för anslutningskontroll
 - utgångspunkter
 - måltavlornas planerade storlek, form och färg
 - registreringsmetod
 - anslutningsmetod
 - egenkontroll vid planering
 - särskilda överväganden vid planering

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande om beställaren begär det:

- b) karta/ritning, i PDF/A-format om inte annat anges, över insamlingsområdet. Kartan ska visa position och beteckning för planerade uppställningar samt tänkta utgångspunkter och kontrollpunkter för anslutningskontroll. För uppställningar som ska registreras visas även positionen för tänkta konnektionspunkter och kontrollpunkter för registreringskontroll.

B.2 Inmätning av utgångs- och kontrollpunkter

Produktionsdokumentationen ska redovisa:

- a) rapport, i PDF/ A-format om inte annat anges, som redovisar:
 - inmättningsdatum
 - referenssystem i plan och höjd
 - geoidmodell
 - eventuella transformationssamband
 - referensstationer
 - utgångspunkter
 - mätutrustning
 - mätmetod
 - programvara vid beräkning
 - egenkontroll vid inmätning och beräkning
 - utskrifter av beräkningsresultat samt underlag för och resultatet av de kontroller som gjorts av mätosäkerhet, kontrollerbarhet/tillförlitlighet etc.
 - särskilda överväganden vid inmätning och beräkning
 - information om arkiverade data (t.ex. rådata från mätningar)
- b) lista, i ASCII-format om inte annat anges, för samtliga utgångspunkter och kontrollpunkter med namn, position och markeringstyp samt kvalitetsuppgift, datum för markering och inmätning.

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande om beställaren begär det:

- c) karta/ritning, i PDF/ A-format om inte annat anges över insamlingsområdet. Kartan ska visa position och beteckning för äldre befintliga samt nyetablerade utgångs- och kontrollpunkter för projektet.

B.3 Insamling av laser- och bilddata samt beräkning av punktmoln

Produktionsdokumentationen ska redovisa:

- a) rapport om mätningen, i PDF/A-format om inte annat anges, som redovisar:
 - inmättningsdatum
 - referenssystem i plan och höjd
 - avgränsning av insamlingsområdet
 - punkttäthet
 - väderförhållanden (vid skanning utomhus)
 - mätutrustning
 - kalibreringscertifikat eller serviceprotokoll för mätutrustning
 - måltavlornas typ, storlek, form och färg
 - registreringsmetod
 - anslutningsmetod
 - beräkningsprogramvara
 - resultat
 - från programvaran avseende registreringen
 - avvikelser på kontrollpunkter för registreringskontroll
 - från programvaran avseende anslutningen
 - avvikelser på kontrollpunkter för anslutningskontroll
 - egenkontroller vid insamling och efterbearbetning
 - särskilda överväganden vid insamling och efterbearbetning, t.ex.
 - avvikelser från teknisk specifikation och skanningsplan
 - problem som inträffat under skanningen
 - problematiska ytor med hög/låg reflektans
 - hinder som skapar luckor i punktmolnet
 - problem som inträffat under databearbetningen
 - eventuell rensning av bruspunkter och punkter utanför insamlingsområdet
 - lasersäkerhet

Produktionsdokumentationen ska redovisa följande om beställaren begär det:

- b) karta/ritning, i PDF/A-format om inte annat anges över insamlingsområdet. Kartan ska visa position och beteckning för uppställningar samt använda utgångspunkter och kontrollpunkter för anslutningskontroll.

Bilaga C: Kontroll av laserdata

C.1 Komplet leverans

a) Produktionsdokumentation

Produktdokumentationen granskas för att verifiera:

- att dokumentationens omfattning och utformning – samt uppnådda resultat – överensstämmer med angivna krav och den tekniska specifikationen
- 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

Eventuella metadatafiler kontrolleras så att de är kompletta och korrekt ifyllda.

C.2 Produkt

Beställaren avgör vem som utför kontrollen: i egen regi, som ett tilläggsuppdrag till utföraren eller som ett fristående tredjepartsuppdrag. Läs mer i [HMK – Geodatakvalitet 2017](#), avsnitt 2.7.

d) Lägesosäkerhet

Följande metoder avser sådan kontroll av lägesosäkerheten vid terrester laserskanning som kan utföras oberoende av instrumentfabrikat och mjukvaruleverantör.

För kontroll av minsta kvadrat-utjämnings – t.ex. inpassningstransformationer – hänvisas till de olika leverantörernas beräkningsprogram och de kvalitetsmått och felsökningsmetoder som hör till dessa. En generell beskrivning av *data-snooping* – för analys av restfel – och andra kontroller av transformationsberäkningar finns dock i [HMK-TR 2018:3](#), kapitel 6-7.

d.1) Kontroll av utgångspunkter.

Vissa kontroller ligger utanför själva skanningen, men är ändå en förutsättning för ett gott resultat. Det gäller exempelvis kontroller i

samband eventuell stomnätskomplettering, kontroll av skanningens utgångspunkter samt kontroll av anslutningen.

- Beträffande regelrätt stommätning – med GNSS eller terrena metoder – hänvisas till anvisningarna i [HMK-Stommätning](#), senaste version, och den tekniska specifikationen för byggmätning, SIS-TS 21143:2016, [7]. Dessa kan delvis tillämpas även vid bestämning av enstaka kompletteringspunkter.

I detta moment ingår även:

- verifiering av utgångspunkternas ID och kontroll av att de koordinater/höjder som erhållits från beställaren är korrekta och i rätt referenssystem.

d.2) Kontroll av lägesosäkerheten mot kända kontrollpunkter.

Lägesosäkerheten kan kontrolleras med hjälp av kända kontrollpunkter i aktuellt referenssystem. Dessa punkter signaleras med måltavlor och skannas, varefter avvikelsen mellan deras koordinater i punktmolnet och motsvarande kända koordinater kan analyseras.

Det som studeras är

- avvikelser i enskilda punkter
- den genomsnittliga avvikelsen (medeltalet) samt
- den kvadratiska medelavvikelsen (RMS).

Metoden kan användas för kontroll av t.ex. anslutning av registrerade laserpunktmoln och stationsvis anslutning genom transformation (Bilaga D.4 respektive D.7).

Kontrollpunkterna ska vara jämnt fördelade över projektområdet och får inte sammanfalla med utgångspunkterna. De ska vara geometiskt inmätta och ha en standardosäkerhet som är i nivå med den som specificeras för laserdata i uppdraget, dvs. normalt \leq slutprodukten standardosäkerhet, se krav 3.2 c-d.

Stora avvikelser indikerar brister i lasermätningen (men kan naturligtvis också bero på kvalitetsbrister i utgångspunkterna).

Kontrollförfarandet baseras på en metod i [HMK – Geodatakvalitet 2017](#), Bilaga A.2. Andra kontrollmetoder beskrivs i Bilagorna A.3-A.5 samt C.4 i samma dokument. Kontrollresultatet redovisas i produktionsdokumentationen, se Bilaga B.3 i detta dokument.

Följande storheter i plan (N, E) respektive höjd (H) tas fram:

- Avvikelsen i enskilda punkter beräknas som

$$\Delta N_i = N_{ctrl} - N_{laser}; \Delta E_i = E_{ctrl} - E_{laser}; \Delta H_i = H_{ctrl} - H_{laser};$$

$$\Delta R_i = \sqrt{\Delta N_i^2 + \Delta E_i^2}$$

där Δ avser avvikelsen mellan känd position och position i punktmolnet. Stora Δ -värden indikerar *grova fel*.

- *Medelavvikelsen* i plan och höjd beräknas som:

$$\Delta \bar{N} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta N_i; \Delta \bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i; \Delta \bar{H} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta H_i \text{ (skift)};$$

$$\Delta \bar{R} = \sqrt{\Delta \bar{N}^2 + \Delta \bar{E}^2} \text{ (radiellt off-set)}$$

där n är antalet punkter.

Skift och off-set ska naturligtvis vara nära noll annars kan systematik misstänkas.

- RMS-värdena är ett direkt mått på mätosäkerheten och beräknas enligt:

$$RMS_{plan} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta N_i^2 + \sum_{i=1}^n \Delta E_i^2}{n}}; RMS_{höjd} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta H_i^2}{n}}$$

Lägesosäkerheten i 3D kan kontrolleras på motsvarande sätt, vilket blir aktuellt framför allt i samband med registrering av laserpunktmoln, se Bilaga D.4.

Ovanstående storheter granskas för att verifiera att erhållen *lägesosäkerhet* överensstämmer med ställda krav:

- Enskilda avvikelser kontrolleras med formlerna

$$\Delta \bar{R}_i < 3 \cdot \sigma_{plan} \text{ respektive } |\Delta \bar{H}_i| < 3 \cdot \sigma_{höjd}$$

där σ -värdena är de standardosäkerheter beställaren har specificerat. Inga överskridanden accepteras.

- Medelavvikelserna kontrolleras på motsvarande sätt med formlerna:

$$\Delta \bar{R} \leq \frac{2 \cdot \sigma_{plan}}{\sqrt{n}}; |\Delta \bar{H}| \leq \frac{2 \cdot \sigma_{höjd}}{\sqrt{n}}$$

där n är antalet kontrollpunkter.

- RMS-värdena kontrolleras med formlerna:

$$RMS_{plan} \leq \sigma_{plan} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$$

$$RMS_{höjd} \leq \sigma_{höjd} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$$

I Tabell 3 ges ett exempel på tillämpningen av ovanstående metod för kontroll av en lokal anslutning och ett förslag på hur redovisningen i Bilaga B.3 kan utformas.

Tabell 3. Kontroll av lokal lägesosäkerhet med hjälp av kontrollpunkter vid lokal anslutning av ett registrerat punktmoln från terrester laserskanning. Fält med blå text fylls i.

Kontroll, lokal lägesosäkerhet		Avser:	Måltavlor på kontrollpunkter	Antal (n) =	16
Standardnivå:	3	Specificerade standardosäkerheter			
		Plan (σ_{plan}) =	5 mm	Höjd ($\sigma_{höjd}$) =	5 mm
Test:			Beräknade värden:		
Typ av kontroll	Teststorhet	Erhållet	Tic	Tolerans	OK?
Systematik, plan	$\Delta\bar{R} \leq \frac{2 \cdot \sigma_{plan}}{\sqrt{n}}$	3,6 mm	>	2,5 mm	Nej
Systematik, höjd	$\Delta\bar{H} \leq \frac{2 \cdot \sigma_{höjd}}{\sqrt{n}}$	4,1 mm	>	2,5 mm	Nej
Grova fel, plan	antal $\Delta R_i > 3 \cdot \sigma_{plan}$	0	>	15 mm	Ja
Grova fel, höjd	antal $ \Delta H_i > 3 \cdot \sigma_{höjd}$	0	>	15 mm	Ja
Lägesosäkerhet, plan	$RMS_{plan} \leq \sigma_{plan} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$	5 mm	<	6,4 mm	Ja
Lägesosäkerhet, höjd	$RMS_{höjd} \leq \sigma_{höjd} \cdot (0,96 + n^{-0,4})$	6,5 mm	>	6,4 mm	Gränsfall

Kommentar: Resultatet indikerar viss systematik, klarar testen av grova fel och ligger på gränsen vad gäller lägesosäkerhet. Det blir upp till beställaren att bedöma om resultatet kan godkännas.

För få kontrollpunkter ger inte särskilt effektiva kontroller av anslutningen. Fler jämförelser innebär hårdare krav men samtidigt säkrare bedömningar. Exemplet i Tabell 3 handlar om en gemensam anslutning av ett stort sammanräknat punktmoln, med många kontrollpunkter (16 st). Ofta är antalet kontrollpunkter för anslutningskontroll betydligt färre. Då får normalt kontrollen av grova fel räcka, dvs. att avvikelserna i enskilda punkter inte är större än tre gånger σ_{plan} och/eller $\sigma_{höjd}$.

d.3) Kontroll av lägesosäkerheten genom upprepad inmätning

På motsvarande sätt kan jämförelse göras mellan två oberoende bestämningar av en väldefinierad punkt – som inte behöver ha kända koordinater/höjder. Ett exempel på detta är kontroll av registrering av två överlappande laserpunktmoln (Bilaga D.4).

I detta fall ska toleranserna i avsnitt *d.2)* multipliceras med $\sqrt{2}$ för att ta hänsyn till att det rör sig om differensen mellan två mätningar, med samma mätosäkerhet (ingen är ju felfri).

Exempel: Under antagandet att den specificerade lägesosäkerheten – i plan och höjd, liksom i Tabell 3 – är 5 mm så erhålls följande toleranser för 16 kontrollpunkter:

- $2,5\sqrt{2} \approx 3,5$ mm (systematik)
- $15\sqrt{2} \approx 21$ mm (grova fel)
- $6,4\sqrt{2} \approx 9,1$ mm (lägesosäkerhet)

Detta betraktelsesätt kan också tillämpas om kontrollpunkterna i avsnitt *d.2)* inte är felfria, utan har en lägesosäkerhet jämförbar med detaljmätningens. Detta torde vara mer sannolikt än felfria punkter!

d.4) Visuell kontroll av övertäckningszoner

Vid punktmolnsregistrering (Bilaga D.4) och stationsvis anslutning (Bilaga D.7) kan även en okulärbesiktning av eventuell lägesförskjutning inom övertäckningszonen utföras. Det kräver dock att övertäckningen är tillräckligt stor och att den innehåller nödvändiga, distinkta strukturer.

För ändamålet finns flera användbara funktioner i dagens programvaror, t.ex. möjlighet att växelvís tända och släcka punktmolnen eller att färgsätta molnen i olika färger.

e) Fullständighet

Visuell kontroll kan genomföras av att objektet har avbildats fullständigt i punktmolnet, och att inga oacceptabla glapp förekommer.

f) Användbarhet

Visuell kontroll kan genomföras av att objektets alla detaljer (enligt den tekniska specifikationen) kan identifieras i punktmolnet och användas i avsedd tillämpning, se avsnitt 2.3.2.

C.3 Fördjupad kontroll vid behov

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

g) Insamlingsparametrar

Tilläggskontroller kan genomföras av:

- punkttätheten, till exempel att punkttätheten vid skanningen angavs på korrekt avstånd (kan också ske genom mätning av punkttätheten på olika ställen i punktmolnet)
- övertäckningsprocenten mellan punktmoln vid registrering
- instrument- och signalhöjder.

h) Utgångspunkter

Tilläggskontroller kan genomföras av:

- att utgångspunkterna har importerats till programvaran i rätt ordning *).

i) Registrering/Anslutning

Tilläggskontroller kan genomföras genom detaljstudier av:

- antal och spridning beträffande konnektions- och utgångspunkter
- geometrin i övertäckningen vid punktmolnsregistrering
- beräkningen av signalernas centrumpunkt vid fin-skanning.

**) de koordinatsystem som vanligtvis används i samband med terrester laserskanning är ett högerhandssystem där x-axeln är riktad mot "öst"; vid inmätning av utgångspunkter kan det ibland förutsättas att x-axeln är riktad mot "norr"; i så fall måste x- och y-koordinaterna kastas om vid importen.*

Bilaga D: Översiktlig beskrivning av terrester laserskanning

Terrester laserskanning – internationellt ofta benämnt *TLS* – är på sätt och vis en geometrisk snarare än en geodetisk mätmetod. Vissa insikter i geodesi är dock nödvändiga, t.ex. kunskap om referens- och koordinatsystem, transformationer samt jordkrökningens påverkan på mätning och redovisning.

Den vanligaste tillämpningen i dag är mätning av byggnader, inomhus i lokala system. De flesta mätkonsulter, och även många kommuner, har nu en skanner i verktygslådan och behovet av bättre och mer utvecklade riktlinjer har ökat.

Denna bilaga ger en översikt över terrester laserskanning och arbetsgången vid tillämpning av denna teknik. Vissa ambitioner finns även att etablera en svenskspråkig terminologi i sammanhanget. Andra läroböcker kring terrester laserskanning finns listade i [1], [2] och [3].

D.1 Vad hanteras och vad hanteras inte i HMK – Terrester laserskanning?

HMK behandlar terrester laserskanning som mätmetod: med stillastående skanner, en mätosäkerhet på millimeternivå och mätavstånd på upp till 20–50 meter – beroende på tillämpningens krav och aktuella förutsättningar.

Denna tillämpning av tekniken fungerar ofta bättre inomhus än utomhus eftersom t.ex. vind och nederbörd kan ge brus i data i form av felaktiga punkter. Terrester laserskanning är också en bra metod vid "beröringsfri" mätning och där det är svårt eller farligt att mäta.

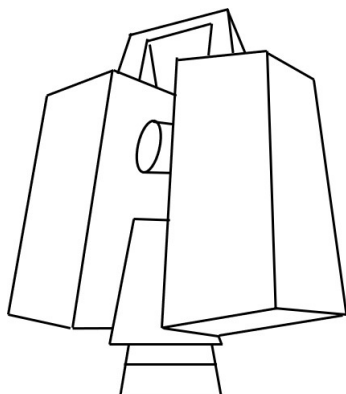
I HMK – Terrester laserskanning 2021 ligger alltså tonvikten på mätning. Datainsamling för ren illustration/visualisering behandlas endast ytligt. Skanning med long-range och close-range skanner, skanning med handhållen skanner samt skanning från drönare behandlas inte alls.

Multistationer – totalstationer med skanningsfunktion – berörs delvis, t.ex. i Bilaga D.7 nedan.

D.2 Utrustning

Ett stiliserat exempel på en laserskanner illustreras i Figur 4. Skannern är försedd med kamera och ibland även med en kompensator som kontrollerar instrumentets horisontering och matematiskt kompenserar för eventuella brister. Skanner och programvara styrs med en display.

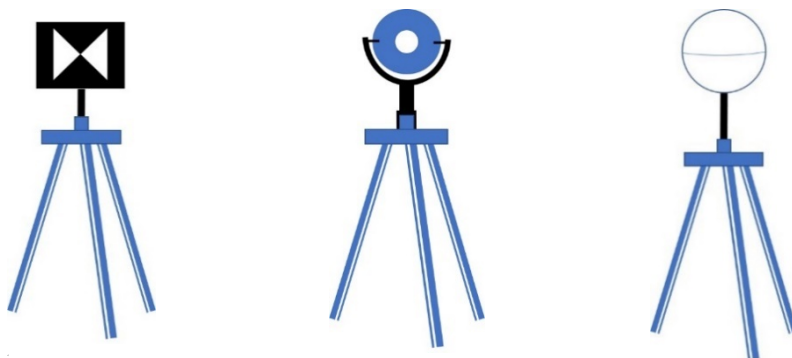
Figur 4. Skanner för terrester laserskanning.



Måltavlor används som *konnektionspunkter* vid sammanräkning (*registrering*) av mätningar från olika stationer, på *utgångspunkter* för anslutning till ett referenssystem samt på *kontrollpunkter* för kontroll av registreringar, anslutningar m.m.

Det finns olika typer av måltavlor – vanligen sfärer eller ytor med stark färgkontrast, se Figur 5. Måltavlorna har en centrumpunkt, som kan vara direkt eller indirekt definierad.

Figur 5. Olika typer av måltavlor. Centrumpunkten för den klassiska måltavlan till vänster framgår av målningen och även den cirkulära, blåmålade tavlan har en tydlig centrumpunkt. Den sfäriska måltavlan till höger har dock en centrumpunkt som definieras indirekt, matematiskt, av sfärens centrum.



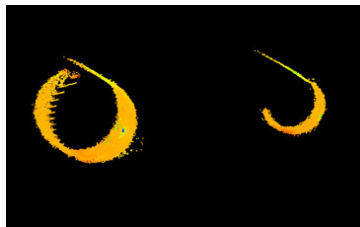
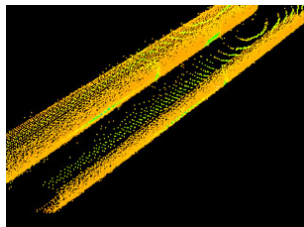
Måltavlorna är ofta proprietära, dvs. avsedda för en skanner av ett visst fabrikat.

D.3 Mätning

Utöver huvuduppgiften – skanning av det aktuella *insamlingsområdet* – utförs ibland även *finskanning*, med högre punkttäthet, av de måltavlor som finns inom detta område. Det senare benämns *måltavleskanning*. Dagens skannrar har dock så pass hög upplösning att finskanning vanligen inte behövs.

Punkttätheten – eller den *geometriska upplösningen* – i molnet är av stor betydelse för hur bra avbildningen av ett objekt blir. Normalt ger hög punkttäthet en mer detaljerad återgivning, men alltför hög punkttäthet kan skapa störningar i form av "spökreturer" (se Figur 6). Spökreturer uppstår när en del av laserstrålen träffar kanten på objektet och resterande del av strålen träffar något objekt bakom. Instrumentet kan då registrera punkten som medelvärde av de två returerna av strålen och punkten hamnar därmed i "tomma luften". Vid för hög punkttäthet ökar risken för kantträffar och att instrumentet får för många punkter i "tomma luften" för att kunna identifiera dessa som felaktiga punkter.

Figur 6. Exempel på störning vid skanning av rör. Vid hög punkttäthet och för objekt nära skannern kan kanterna bli otydliga och "spökreturer" uppkomma. Det beror på att skannerprogramvaran då får för mycket data att hantera och inte "hinner med".



Hög punkttäthet kan även ge ohanterligt stora datafiler. Så det gäller att ha "rätt" punkttäthet/upplösning – med hänsyn till avståndet till det skannade objektet samt objektets form och detaljrikedom.

För att inte få alltför lång skanningstid, och för mycket data utanför insamlingsområdet, kan en avgränsning göras till de sektorer runt skannern som är av intresse för uppdraget. Det sker genom att definiera skanningens omfattning med hjälp av dess begränsningsvinklar och -avstånd. Det finns dock fördelar med att göra all rensning/reduktion av data i efterhand, se Bilaga D.10.

En vanlig störningskälla är ytor med för hög eller för låg reflektans. Exempelvis har speglar och glasrutor alltför hög reflektans – vilket kan ge "studsar" via andra ytor, med felaktiga punkter som följd – och helt svarta ytor ger inga returer alls. Problematiska ytor bör behandlas före mätning för att justera reflektansen, t.ex. genom att spraya färg, lägga på mjöl eller liknande.

Rådata från skanningen avser *polära koordinater* för laserpunkter i tre dimensioner (riktningar/vinklar och avstånd), som i real-tid räknas om till ett *punktmoln* där varje laserpunkt får *kartesiska koordinater* i ett 3D-system – tills vidare i skannersystemet.

Det sker via formelsambandet

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L \cdot \cos HV \cdot \cos VV \\ L \cdot \sin HV \cdot \cos VV \\ L \cdot \sin VV \end{bmatrix}$$

där laserpunkternas 3D-positioner (X_s, Y_s, Z_s) bestäms ur lutande längd (L) samt horisontal- och vertikalvinklarna HV resp. VV . Detta interna koordinatsystem definieras av skannerns fysiska orientering och har origo i skärningen mellan dess horisontal- och vertikalaxel. Systemet har därmed vinkelräta axlar och det har dessutom enhetlig skala. Det är alltså *euklidiskt*, se Bilaga D.5.

Eftersom rådataformatet är fabriksinternt behövs ett leveransformat som "alla" kan läsa. Formatet *.PTS*, som är i ASCII-form, är ett sådant. Förutom laserpunkternas koordinater finns där även fält definierade för uppgifter rörande intensitet samt färger enligt färgmodellen *RGB* (Rött, Grönt, Blått). Andra fabriksberoende format är *ASPRS/LAS* och det binära *ASTM/E57*.

Även om dataformatet ändras bör rådata sparas ifall problem skulle uppstå i den fortsatta datahanteringen.

D.4 Punktmolnsregistrering

Punktmolnsregistrering innebär att två laserpunktmoln sammanräknas och fogas ihop till varandra. Det kan ske på i huvudsak två olika sätt (se Tabell 4):

- *Moln-till-moln-registrering*, som innebär att sammanräkningen baseras på matchning av korresponderande formationer i respektive punktmoln.
- *Objektbaserad registrering*, som baseras på tydliga naturliga objekt (t.ex. fönsterkarmar och hushörn) eller på måltavlor; det senare benämns *måltavlerregistrering*.

Tabell 4. Olika typer av punktmolnsregistrering – beskrivna utifrån deras typ, vad de baseras på samt vilken grad av operatörsassistans som krävs.

Typ	Moln-till-moln-registrering (cloud2cloud registration, C2C; target-less/target-free registration)		Objektbaserad registrering (feature-based registration)		
			Registrering med naturliga objekt		Måltavle-registrering (target-based registration)
Baseras på	Struktur/textur i lasermolnen		Naturliga objekt, mer eller mindre "förädlade"		Måltavlor
Grad av operatörsassistans	Helautomatisk process	Utppekning av korresponderande formationer	Modellering av naturliga objekt	Omformning av naturliga objekt till "vertex"	Hantering av måltavlor

Moln-till-moln-registrering

Moln-till-moln-registrering kan utföras mer eller mindre automatiskt, där programvaran själv får hitta korresponderande formationer i de båda laserpunktmolnen. Det kan dock leda till att fel molndelar kopplas ihop. För full kontroll över processen behövs därför ofta någon form av assistans från en operatör, t.ex. genom att ungefärliga positioner för motsvarande formationer – spridda inom över täckningszonen – pekas ut.

Registrering med naturliga objekt

Objektbaserad registrering med naturliga objekt baseras på hushörn, taknockar etc. som syns i båda de berörda laserpunktmolnen. Dessa pekas ut av operatören, modelleras och används sedan som konnektionspunkter i registreringsprocessen.

Måltavleregistrering

En kontrollerad måltavleregistrering kräver att minst fyra gemensamma konnektionspunkter – signalerade med måltavlor – finns i de båda punktmolnen.

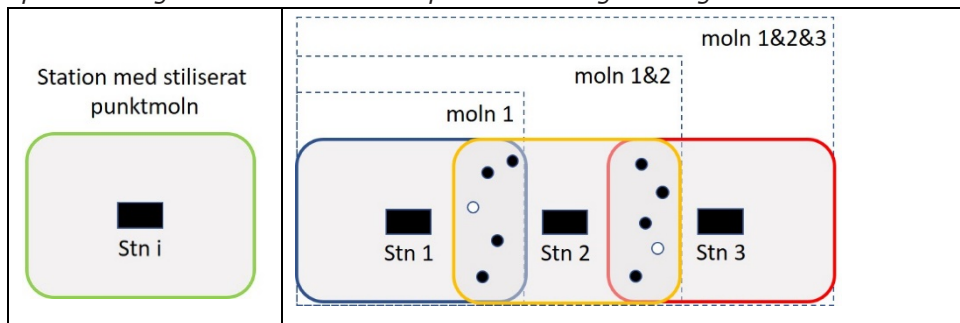
Registreringsprocessen

Vanligen utförs registreringen matematiskt med en 6-parameters inpassningstransformation i 3D, se Tabell 5. Det sammanräknade/registrerade punktmolnet lagras sedan i någon av de ingående stationernas interna skannersystem.

Detta koordinatsystem blir tills vidare molnets *hemsystem*. Exempelvis kan moln nr 1 (från station 1) slås ihop med moln nr 2 (från station

2) för att bilda det sammanslagna molnet "1&2", och flera registreringar kan sedan utföras i sekvens efter varandra, se Figur 7.

Figur 7. Måltavleregistrering av tre stiliserade punktmoln i två steg: 1+2 ger molnet 1&2 i steg 1 och 1&2+3 ger sedan molnet 1&2&3 i steg 2. Svarta punkter i övertäckningszonen symboliserar konnektionspunkter och vita punkter anger oberoende kontrollpunkter för registreringskontroll.



Övertäckning, passpunkter och kontroll

Till stor del beror kvaliteten i en punktmolnsregistrering på *övertäckningen*, dvs. i vilken grad laserpunktmolnen överlappar varandra. En övertäckning på minst 30 % mellan intilliggande stationer/punktmoln ska alltid eftersträvas – oberoende av vilken metod som används vid registreringen.

Vid objektbaserad registrering är det dock minst lika viktigt hur konnektionspunkterna – objekten eller måltavlorna – är konfigurerade. Det ska finnas minst fyra punkter som inte ligger på en rät linje. De ska inte heller ligga i ett plan utan helst spänna upp en polyeder i 3D, se Figur 1.

Programvaran levererar i regel kvaliteten på registreringarna i form av olika kvalitetstal, t.ex. RMS. En mer objektiv kontroll kan dock erhållas med hjälp av särskilda kontrollpunkter – t.ex. måltavlor (ev. finskannade) eller ett tydligt naturligt objekt, som inte används som konnektionspunkter vid registreringen. Dessa får följa med laserpunktmolnet genom hela registreringsprocessen och efter registreringen kan kontrollpunkternas koordinater från olika uppställningar jämföras. Minst en sådan kontrollpunkt ska finnas i övertäckningszonen, oavsett registreringsmetod.

För visuell kontroll av övertäckningszonen efter registrering finns också bra funktioner i dagens programvaror, se Bilaga C.2 d.4). Jfr. stationsvis anslutning och etablering av multistationer i Bilaga D.7.

D.5 Referenssystem

I samband med terrester laserskanning kan olika typer av referenssystem vara aktuella, och ibland förekomma parallellt.

De interna system som redan nämnts är följande 3D-system:

- *skannersystem*, en enskild skanners "inbyggda" koordinat-system.
- *hemsystem*, när en stations skannersystem används som referens för ett registrerat punktmoln från flera stationer.

Beträffande externa system finns alternativen:

- *lokala referenssystem*, framtagna för ett specifikt projekt eller en speciell tillämpning.
- *globalt anpassade referenssystem*, t.ex. de svenska systemen *SWEREF 99* och *RH 2000*.

Positioner i ett globalt anpassat referenssystem anges relativt jordens centrum och kan uttryckas som:

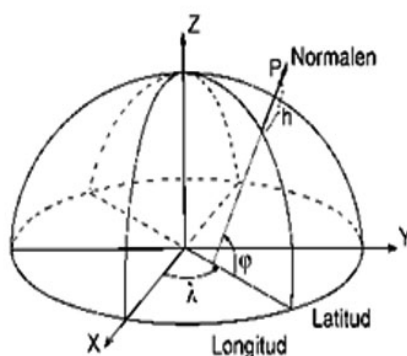
- kartesiska koordinater (X, Y, Z)
- *geodetiska koordinater*: *latitud*, *longitud* och höjd över en *referensellipsoid* (φ, λ, h)

alternativt med

- *kartografiska koordinater*, genom att plankoordinaterna *Northing* (N) och *Easting* (E) beräknas ur latitud/longitud med hjälp av en *kartprojektion* och höjden över referensellipsoiden ersätts med höjd över *geoiden* (H) – eller "höjd över havet" i vardagligt tal.

Kartesiska och geodetiska koordinater utgår från ett euklidiskt 3D-system, se Figur 8. Ett sådant kännetecknas av att det har tre vinkelräta axlar och konstant skala i alla riktningar samt att den kortaste sträckan mellan två punkter är en rät linje och vinkelsumman i en triangel är 200 gon, [4].

Figur 8. Kartesiska koordinater (X, Y, Z) och geodetiska koordinater (φ, λ, h) i ett globalt anpassat referenssystem.



Kartografiska koordinater utgör dock inte ett euklidiskt system: Lodlinjerna är inte parallella, skalan varierar i horisontalled, det är olika skala i plan respektive höjd och den kortaste sträckan mellan två punkter kan vara en kurva. Det ska därför inte hanteras som ett enhetligt 3D-system, och en mer korrekt benämning är "2D+1D" eller "2D + höjd".

Lokala system väljs för detaljerad dokumentation inom ett begränsat område, exempelvis 3D-system inom *BIM* (*Building Information Modelling*). De globalt anpassade systemen används för exempelvis översiktlig redovisning av geodata över större områden.

Referenssystem kan realiseras i form av *stomnät*. Läs mer om koordinatsystem/referenssystem/stomnät i HMK – Geodetisk infrastruktur, senaste version.

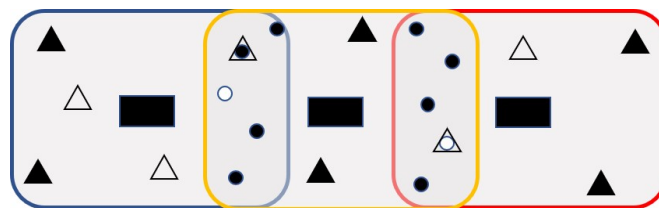
D.6 Anslutning

Anslutning av en punktmängd till ett lokalt referenssystem benämns *lokal anslutning* medan anslutning till ett globalt anpassat referenssystem kallas *georeferering*. Lokal anslutning väljs om en georeferering skulle innebära en försämring av den lokala lägesosäkerheten (se Bilaga D.8) eller att en skalskillnad mellan "verklighet" och "modell" införs.

I de fall behov finns av såväl översiktlig som detaljerad redovisning måste en lämplig kombination av referenssystem väljas – med goda inbördes transformationsmöjligheter som exempelvis kan hantera eventuella skalskillnader.

Vanligen rör det sig då om en noggrann lokal anslutning kombinerad med en mer approximativ georeferering. Det finns även fall där anslutning – såväl lokal anslutning som georeferering av laserpunktmoln – helt enkelt är ointressant. Då är det dock mer fråga om ren dokumentation och visualisering än mätning.

Figur 9. Anslutning av det registrerade punktmolnet 1&2&3 från Figur 7. Trianglarna symboliserar utgångspunkter med kända koordinater. Svarta trianglar (6 st.) anger passpunkter i inpassningen medan vita trianglar (5 st.) symboliserar oberoende kontrollpunkter för anslutningskontroll. Punkterna har signalerats med måltavlor och några av dem har redan använts som konnektionspunkter och kontrollpunkter för registreringskontroll.

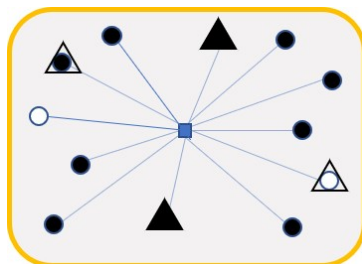


Anslutningen sker med hjälp av måltavlor som placeras ut på utgångspunkterna – och som alltså har kända koordinater i det externa systemet. Utgångspunkternas måltavlor (eventuellt efter finskanning) pekas ut i sammanräknade punktmolnet, som transformeras till aktuellt koordinatsystem genom inpassning på utgångspunkternas koordinater, se Figur 9.

Bestämningen av transformationsparametrar kan kontrolleras genom analys av *passfelen* från inpassningen. Direkt jämförelse med särskilda kontrollpunkter ger dock även här en mer oberoende kontroll. På så sätt behöver inte systemspecifika – ibland svårtolkade – kvalitetstal utvärderas.

Ytterligare några måltavlor – med kända koordinater, som inte har använts vid anslutningen – pekas då ut i det sammanräknade punktmolnet. Ibland kan konnektions- och kontrollpunkter från registreringen återanvändas som kontrollpunkter även för anslutningen. Och naturligtvis hanteras samtliga "hjälpunkter" i ett sammanhang, inom ramen för skanningen på den aktuella stationen, se Figur 10.

Figur 10. Konnektionspunkter, utgångspunkter samt kontrollpunkter för kontroll av registrering och anslutning från station 2 i Figur 9. Samma fysiska punkt kan ha flera olika funktioner.



Efter anslutningen kan måltavlans/kontrollpunktens inpassade koordinater jämföras med dess kända koordinater för att få en objektiv uppskattning av anslutningens lägesosäkerhet.

Antalet passpunkter som krävs i en inpassning beror på typen av transformation, se Tabell 5. Fyra utgångspunkter bör användas, men insamlingsområdets storlek och form påverkar detta antal; stora, vidsträckta objekt kräver i regel fler utgångspunkter/passpunkter.

I tillägg rekommenderas minst tre kontrollpunkter för anslutningskontroll. Båda typerna av punkter bör omsluta insamlingsområdet och vara väl fördelade inom detta – både i plan och höjd och såväl i hörnen/ytterkanten som i de centrala delarna. Jfr. kraven vid registrering i Bilaga D.4 och sammanställningen i Tabell 8.

Tabell 5. Olika transformationstyper för anslutning av punktmoln. Minst fyra passpunkter bör användas för att inrama området och för att få god kontrollbarhet vid bestämning av transformationsparametrarna. Se vidare HMK-TR 2019:1.

	Transformationstyp	Antal parametrar
Anslutning i höjd (1D) ¹⁾	Ett skift	1
Anslutning i plan (2D) ^{1) 2)}	Helmert-transformation	4
Anslutning i 3D ³⁾	6-parametertransformation (fast skala)	6

¹⁾ Kartografiska koordinater, som är separerade i plan och höjd, bör inte hanteras som ett 3D-system. I stället bör även transformationen delas upp i två delar: 2D+höjd. Samma fysiska punkt kan då användas som utgångspunkt/kontrollpunkt för anslutningen i både 2D och höjd.

²⁾ Helmert-transformationen i 2D innehåller en skalfaktor som skalar om plankoordinaterna.

³⁾ 7-parameters Helmert-transformation i 3D bör undvikas eftersom den även skalar om höjderna.

Vilken transformationsväg ska då väljas?

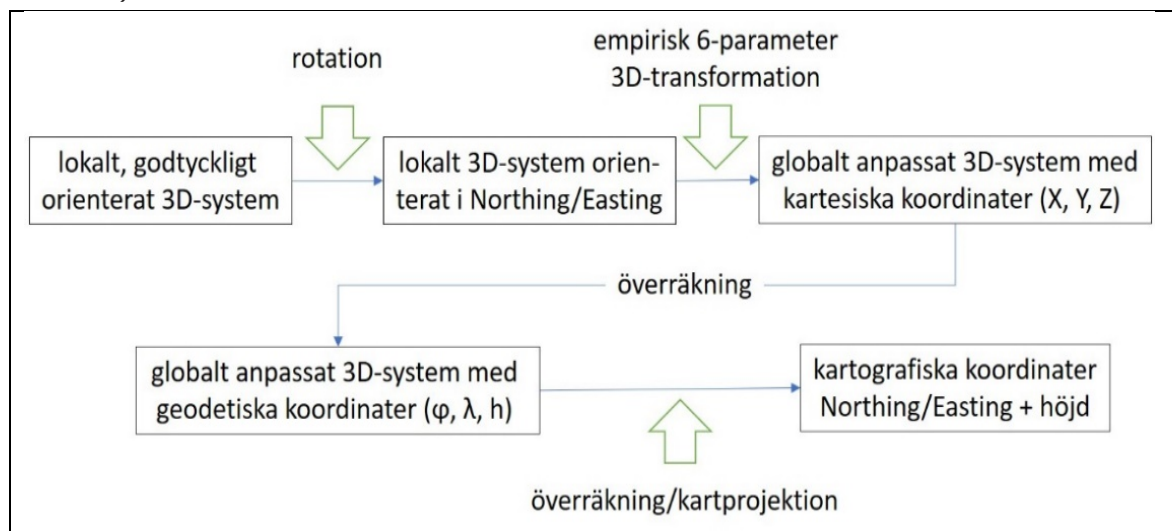
Under förutsättningen att redovisning av skanningen ska ske med kartografiska koordinater (N, E, H), så rekommenderas följande prioriteringsordning vid val av transformationssätt vid georeferering av ett punktmoln från en laserskanning, [4]:

Prio 1. Uttryck passpunkterna i kartesiska koordinater (X_p, Y_p, Z_p) och gör en 3D-inpassning av punktmolnet på dessa. Gör därefter en gemensam överräkning – en sorts felfri transformation – av molnet till kartografiska koordinater via geodetiska koordinater:

kartesiska → geodetiska → kartografiska koordinater

Därigenom hanteras t.ex. jordkrökningen på ett korrekt sätt. Detta förfaringsätt illustreras i Figur 11, som alltså får anses vara den "ordinarie vägen". Prio 2 och Prio 3 utgör "genvägar".

Figur 11. Transformationskedja från ett lokalt skannersystem till kartografiska koordinater projicerade från ett globalt anpassat referenssystem. I Sverige kan det senare avse den nationella projektionen SWEREF 99 TM eller någon av de 12 lokala projektionszonerna. Källa: HMK-TR 2019:1, Figur 3.4.b (något modifierad).



Prio 2. Transformera punktmolnet direkt till kartografiska koordinater men dela upp inpassningen genom att hantera plan och höjd var för sig (2D + höjd). Behåll höjdskalen ograverad men anpassa skalan i plan genom en 2D-Helmerttransformation.

Prio 3. Gör inpassningen av punktmolnet direkt till kartografiska koordinater med en 6-parameters 3D-transformation, dvs. utan skaländring.

Det bör dock återigen betonas att presentation med kartografiska koordinater alltid innebär viss förvrängning av en euklidisk 3D-

geometri. Det kan ändå vara befogat av andra skäl, t.ex. att presentation tillsammans med andra geodata i samma referenssystem möjliggörs.

6-parameterstransformation enligt Prio 3 utgör härvid ett undantag. Det ger inte en optimal georeferering men har den fördelen att punktmolnets geometri blir oförändrad jämfört med en 7-parametertransformation som ändrar skalan. Vilken metod som används för georeferering är därmed viktigt att redovisa då det påverkar vilka egenskaper punktmolnet har.

Ett problem i samband med georeferering kan vara att programvaran är en "black box", utan tydlig redovisning av hur inpassningen (transformationen) går till i detalj. Då blir det svårt att välja transformationsväg och det finns bl.a. risk att kartografiska koordinater hanteras som om de vore kartesiska.

D.7 Stationsvis anslutning

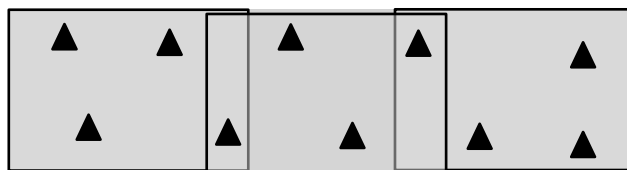
Om uppdraget avser skanning från endast en station kan anslutningen till ett externt referenssystem ske på följande sätt:

- Själva skanningen genomförs först (inklusive eventuell finskanning av måltavlor placerade på kända utgångspunkter i stationens närhet).
- Därefter görs anslutningen av stationerna genom inpassning mot koordinaterna på de utgångspunkter måltavlorna är placerade på.

Vid denna "fria" stationsetablering behövs minst tre, helst fyra passpunkter och åtminstone en kontrollpunkt. Valet av transformationsmetod i det andra steget styrs av hur utgångspunkternas koordinater är angivna, se Bilaga D.5.

För uppdrag som består av skanning från flera stationer kan naturligtvis det nyss beskrivna förfarandet upprepas, station för station, se Figur 12.

Figur 12. Stationsvis anslutning genom inpassning mot fyra utgångspunkter/station, som kan vara gemensamma för intilliggande stationer om de är placerade i den ca. 10-procentiga övertäckningszonen. Kontrollpunkter för anslutningskontroll tillkommer.



Denna metod – *stationsvis anslutning* eller *1-stegsmetoden* – ger normalt en något svagare koppling mellan punktmolnen. En liten övertäckning mellan stationerna – ca. 10 % – ger dock möjlighet till kontroll och utgör även en försäkring mot ”glapp” i data mellan stationerna, jfr. Bilaga D.4.

Då kan övertäckningszonen också kontrolleras visuellt/okulärt. Sådan kontroll av överlappen bör alltid göras oberoende av hur stationerna har räknats samman, se Bilaga C.2 d.4). Även om en så liten övertäckning minskar insynen i sidled – tvärs skanningsuppställningarna – så kan detta kompenseras genom att avståndet mellan stationerna minskas.

Eftersom punktmolnen från olika stationer blir mer eller mindre fristående kan detta anslutningsförfarande inte rekommenderas generellt. Normalt sett bör i stället *2-stegsmetoden* från Bilaga D.6 – med en, gemensam avslutande anslutning av det registrerade punktmolnet – användas. Det finns dock undantag, t.ex. mätning/skanning i tunnlar (se nästa underavsnitt). Skillnaden mellan 1-stegs- och 2-stegsmetoden tydliggörs i Tabell 6.

Tabell 6. Hantering av terrester laserskanning enligt 1-stegs- respektive 2-stegsmetoden.

1-stegsmetoden	2-stegsmetoden
Skanning	
↓	Punktmolnsregistrering (steg 1)
Stationsvis anslutning i ett steg	Anslutning av registrerat punktmoln (steg 2)

Tunnelmätning

I ett tunnelprojekt är inte laserskanningen det primära. Eftersom det vanligen är många olika typer av mätningar som ska utföras etableras ofta ett gemensamt stomnät, i förväg, för all sorts tunnelmätning. Och när det kommer till skanning kan anslutningen många gånger enklast utföras stationsvis mot stomnätet och inte som en gemensam anslutning av samtliga stationer enligt 2-stegsmetoden.

Att registrera ihop en lång sekvens av stationer efter varandra – och sedan försöka göra en anslutning av det sammanräknade punktmolnet – kan nämligen generera flera typer av problem.

Först och främst kan det totala punktmolnet bli instabilt (smalt och långt, jfr. långa polygontåg). Dessutom skulle utgångspunkterna be-

höva uttryckas i kartesiska eller geodetiska koordinater för att parera jordens krökta form på ett korrekt sätt (se Prio 1, den "ordinarie" vägen, i Bilaga D.6), vilket är ovanligt i branschen.

Det är därför det kan vara tilltalande att istället tillämpa stationsvis anslutning/georeferering gentemot ett tunnelsystem uttryckt i kartografiska koordinater (Northing och Easting + höjd), och den inte helt optimala georeferering som den metoden innebär får i så fall accepteras.

Figur 13. Dokumentation av en tunnel med terrester laserskanning.



Mätning av tunnlar och andra långsträckta objekt tas upp i rapporten [HMK-TR 2019:1](#), som delvis bygger på den tekniska specifikationen för byggmätning, SIS-TS 21143:2016, [7]. I HMK-rapporten visas bl.a. att det i stora projekt är möjligt att definiera ett projektanpassat system på samma sätt som ett globalt anpassat referenssystem. Därigenom erhålls ett projektsystem nästan utan skalfel samtidigt som georefereringen kan göras i form av en felfri överräkning.

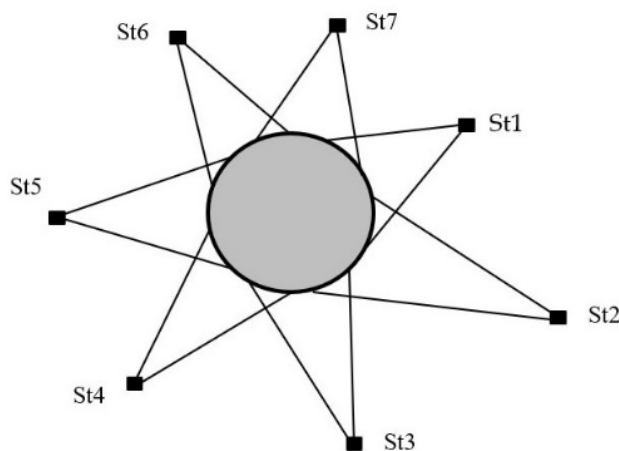
Rundskanning

Vad som här sagts om långsträckta objekt gäller i princip även vid s.k. rundskanning.

Vid rundskanning (inom- eller utomhus) ska dock även det sista punktmolnet överlappa det första, se Figur 14. Därigenom kan felfortplantningen i skanningarna kontrolleras, och rent teoretiskt kan en minsta-kvadratutjämnung utföras av denna slutna serie av skanneruppställningar.

Det är dock oklart på vilket sätt de kommersiella programvarorna hanterar en sådan utjämningsberäkning. Därför kan stationsvis anslutning vara en lämplig anslutningsmetod även vid rundskanning. Åtminstone ger den användaren möjlighet till egenkontroll av mät- och registreringsprocessen.

Figur 14. Skanning runt ett objekt: det första punktmolnet (St1) överlappar det sista (St7).



Om man ändå väljer att tillämpa 2-stegsmetoden vid rundskanning så är det viktigt att kontrollera anslutningen med hjälp av kontrollpunkter. Dessutom bör kravet på övertäckning ($\geq 30\%$) mellan skanningsstationerna kvarstå – även mellan den första och sista stationen. Det stabiliserar registreringen, det möjliggör kontroll av skanningen mellan intilliggande stationer och det bidrar till ökad insyn.

Etablering av multistation

En multistation är en totalstation med skannerfunktion, se "Avgränsningar" i Kapitel 1. Den skiljer sig från en traditionell skanner bl.a. genom att anslutningen till ett referenssystem blir annorlunda.

Eftersom multistationer har full totalstationsfunktionalitet utförs anslutningen i stället som vid terrester detaljmätning, dvs. genom

- uppställning på en känd utgångspunkt och bestämning av orienteringen genom mätning mot en, helst två, andra utgångspunkter som *bakåtoobjekt*, eller som
- etablering av en *fri station*, bestämd genom mätning mot minst tre utgångspunkter.

Därefter kan punktmolnet georefereras/anslutas via den så bestämda stationspunkten – dvs. det kan uttryckas direkt i ett externt system istället för i skannersystemet. Georeferering med denna metod brukar därför benämnas *direkt georeferering*.

Efter slutförd skanning bör stationen kontrolleras genom upprepad inriktning mot ett tidigare mätt objekt. Det kan vara ett bakåtoobjekt eller en måltavla som satts upp enbart för detta ändamål, och som då inte behöver vara koordinatbestämd. (Denna kontroll är ibland också

möjlig vid användning av en "vanlig" skanner genom skanning av en måltavla före och efter övrig skanning på stationen.)

Som vid stationsvis anslutning blir multistationerna mer eller mindre fristående, varför ett 10 % överlapp förordas även i detta fall.

D.8 Mät- och lägesosäkerhet

Kunskap om mät- och lägesosäkerheten behövs i flera moment, t.ex. vid planering, kravställning och redovisning av kravuppfyllelse. Det finns olika metoder för kvalitetskontroll, t.ex. statistiska analyser, visuell utvärdering av punktmoln m.fl.

Mät- och lägesosäkerheten kan delas in på följande sätt:

- *Mätosäkerhet* avser mätning från en station i förhållande till laserskannern.
- *Relativ lägesosäkerhet* avser osäkerheten mellan överlappande punktmoln från två olika stationer.
- *Lokal lägesosäkerhet* är lägesosäkerheten vid lokal anslutning, dvs. till omgivande företeelser, stompunkter etc. i ett lokalt referenssystem.
- *Absolut lägesosäkerhet* är lägesosäkerheten vid georeferering, dvs. relativt ett globalt anpassat referenssystem, vilket i Sverige är liktydigt med SWEREF 99 och RH 2000.

Som osäkerhetsmått används *standardosäkerhet*.

Den sammanlagda osäkerheten beror på mätutrustningen, mätmiljön och de skannade objektens beskaffenhet samt på metoderna för registrering, georeferering och korrigerings av systematiska effekter, se Tabell 7.

Mätning under "ideala förhållanden" – se t.ex. Tabell 2 – kan definieras som:

"skanning på ett visst specificerat avstånd mot de måltavlor som tillverkaren anvisar, med ett väl fungerande skannersystem och utan någon större negativ påverkan från omgivningen".

Tabell 7. Osäkerhetsbudget för terrester laserskanning – sammanställning av olika aspekter på mät- och lägesosäkerheten.

Lasersystemets mätosäkerhet	Skanningens osäkerhet i riktning och längd, omräknat till ett punktmoln i 3D; anges i tillverkarens faktablad för ett visst givet avstånd eller som en avståndsberoende standardosäkerhet.
Ev. kompensatorosäkerhet	Om kompensator finns: hur bra kompensatorn förmår kontrollera horisonteringen och kompensera för eventuella brister.
Identifieringsosäkerhet	Hur representativ en reflekterad laserpunkt är för den objekt-punkt den avser att redovisa; påverkas av objektets reflektans, spökreturer etc.
Osäkerhet p.g.a. mätmiljöns påverkan	Atmosfärens påverkan (temperatur och lufttryck) samt inverkan från t.ex. rök, damm, refraktion etc.
Registreringsosäkerhet	Osäkerhet som tillkommer när två punktmoln räknas ihop genom punktmolnsregistrering; osäkerheten beror på vilken registreringsmetod som tillämpas.
Osäkerhet vid georeferering (alt. lokal anslutning)	Utgångspunkternas lägesosäkerhet i aktuellt referenssystem.
	Mindre*) brister/förenklingar i transformationsmodellen, exempelvis att jordkrökning och divergerande lodlinjer inte har hanterats korrekt.
Modelleringsosäkerhet	Osäkerhet i redovisningen av ett objekt i punktmolnet – efter modellering, som vanligen innefattar viss generalisering.
↓	
Sammanlagd osäkerhet	

*) stora sådana avvikelser bör dock betraktas som systematiska, t.ex. skalskillnader.

Detta inkluderar skanningssystemets mätosäkerhet, eventuell kompensatorosäkerhet och måltavlornas identifieringsosäkerhet etc. men inte mätmiljöns påverkan; lite av laboriemiljö alltså.

Standardosäkerheten vid skanning under ideala förhållanden ligger på millimeternivå. Beroende på de skannade objektens beskaffenhet varierar dock standardosäkerheten inom punktmolnet. Den kan i vissa delar vara upp till någon centimeter, åtminstone utomhus.

Det optimala skanningsavståndet beror på skannerns konstruktion men är – som tidigare angetts – upp till ca. 20–50 meter. Skannrar som använder fasförskjutning har kortare optimala avstånd och för long-range skannrar ligger det optimala avståndet betydligt längre bort från instrumentet. Allt beror på divergensen av laserstrålen och vid vilka avstånd mätosäkerheten anges.

Långa avstånd innebär högre mätosäkerhet och mycket korta avstånd kan t.ex. ge en "fiskbenseffekt" på grund av alltför snabb retur. Angivet skanningsavstånd – upp till 20–50 meter – är även ett lämpligt inbördes avstånd i en serie av flera instrumentuppställningar i sekvens efter varandra.

Som redan framgått så görs verifiering av mät- och lägesosäkerheten bäst med hjälp av oberoende kontrollpunkter. Det kan ske via avvikelser i enskilda punkter eller – översiktligt – genom beräkning av medeltal och/eller RMS för samtliga kontrollpunkters avvikelser. Toleranser för avvikelserna beräknas utifrån de krav som ställs i det aktuella projektet, se Bilaga C.2.

Vissa av de beskrivna kontrollerna görs ute i fält medan andra sker i samband med efterbearbetningen på kontoret. Det är dock redan i fält som möjligheterna till efterhandskontroller skapas. Och kontrollerna måste ges tid även om den fasen ofta tar längre tid än själva skanningen. Det gäller inte bara i detta moment utan för alla typer av kvalitetskontroll.

D.9 Planering av ett skanningsprojekt

Planeringen inför en terrester laserskanning handlar mest om placeringen av instrumentet – och olika typer av hjälppunkter – i förhållande till det objekt som ska skannas.

Som redan framkommit används måltavlor på ett antal olika sätt, se Bilaga D.2. Sammanfattningsvis: Under förutsättning att måltavleregistrering tillämpas så kan samma fysiska måltavla ha följande funktioner:

- Konnektionspunkt vid punktmolnsregistrering. Måltavlan placeras på valfri plats så den blir synlig från båda uppställningarna.
- Kontrollpunkt för kontroll av punktmolnsregistrering. Måltavlan placeras på valfri plats, så den blir synlig från båda uppställningarna, men den används inte vid registreringen.
- Utgångspunkt för anslutning till ett referenssystem. Måltavlan placeras i ett känt läge i förhållande till en markerad utgångspunkt med koordinater i aktuellt referenssystem.
- Kontrollpunkt för kontroll av georeferering eller lokal anslutning. Samma konfiguration som föregående men måltavlan/punkten får inte användas i själva anslutningen.
- Kontrollpunkt för uppställningen. Om det är tekniskt möjligt mäts en måltavla in före och efter skanning, för kontroll av att instrument inte har rört sig under mätningens gång.

Signalering med måltavlor bör göras i anslutning till skanningen.

En sammanställning av lämpliga punktantal, minsta övertäcknings-
% m.m. framgår av Tabell 8.

Tabell 8. Rekommendationer beträffande punktantal, övertäckning m.m. vid skanning samt registrering, georeferering och kontroll av laserpunktmoln.

Åtgärd	Beskrivning/kommentar	Rekommendation
Moln-till-moln-registrering	Direkt registrering av punktmoln, baserat på molnets egen struktur.	Minst 30 % övertäckning mellan uppställningar. Kontroll via programvarans kvalitetstal (RMS). Dessutom minst en måltavla som oberoende kontrollpunkt för registreringskontroll.
Objektbaserad registrering	Registrering av punktmoln med naturliga objekt eller måltavlor som konnektionspunkter.	Minst fyra konnektionspunkter i form av måltavlor eller naturliga objekt. Dessutom minst en extra måltavla som oberoende kontrollpunkt för registreringskontroll. Minst 30 % övertäckning.
Georeferering	Anslutning av ett registrerat punktmoln genom transformation till ett globalt anpassat referenssystem.	Minst fyra utgångspunkter och tre kontrollpunkter för anslutningskontroll per uppdrag – men punktantalet bör anpassas till objektets storlek och form.
Lokal anslutning	Anslutning av ett registrerat punktmoln genom transformation till ett lokalt referenssystem.	Motsvarande rekommendation som för georeferering.
Stationsvis georeferering/anslutning	Stationsvis anslutning till ett globalt anpassat referenssystem (motsvarande för ett lokalt system).	3–4 utgångspunkter och minst en kontrollpunkt. Minst 10 % övertäckning mellan uppställningar för visuell kontroll.

Hur påverkas då antalet utgångs- och kontrollpunkter i georefereringen av objektets storlek och form? Följande kan tjäna som rättesnöre (n = antalet uppställningar, u = antalet utgångspunkter och k = antalet kontrollpunkter för anslutningskontroll):

- Generellt rekommenderas ca. en utgångspunkt för varannan uppställning, dvs. $u = n/2$ punkter totalt.
- För långsträckta objekt som utgörs av en enda sekvens av uppställningar, krävs fler utgångspunkter. Där behövs upp emot $u = n$ punkter för att åstadkomma en bra anslutning, dvs. lika många utgångspunkter som uppställningar. Då bör dock stationsvis anslutning övervägas i stället, se Bilaga D.7.

- För "kompakta" 3D-objekt, av nära nog kubisk form, kan det räcka med en utgångspunkt för var tredje uppställning, dvs. cirka $u = n/3$ punkter totalt.
- I tillägg bör antalet kontrollpunkter vara ca. $2/3$ av antalet utgångspunkter, dvs. $k = 2/3u$.
- För objekt med utsträckning i höjded bör minst en av utgångspunkterna och en av kontrollpunkterna finnas på varje våningsplan (motsv.).

Alla uttryck ovan avrundas till närmast högre heltal.

Sammantaget ingår följande moment i planeringen inför ett skanningsuppdrag:

- Inventering och kontroll av de utgångspunkter som finns inom insamlingsområdet.
- Komplettering krävs om befintliga utgångspunkter är för få, inte uppfyller projektets kvalitetskrav eller är olämpligt placerade i förhållande till objektet/insamlingsområdet.
- Rekognosering av lämpliga instrumentuppställningsplatser.
- Konfigurering av konnektions- och kontrollpunkter.

D.10 Rensning av data

Insamlade skanningsdata behöver vanligen rensas före leverans till beställaren, t.ex. borttagning av bruspunkter och punkter utanför det specificerade insamlingsområdet. Frågan är bara var i arbetsprocessen detta lämpligen bör ske?

Det beror på den aktuella programvaran, men generellt sett utförs datarensning oftast efter det att punktmolnen/uppställningarna har registrerats ihop och anslutits till referenssystemet. Om det är själva punktmolnet som är slutprodukten, som ska levereras till beställaren, blir alltså datarensningen det sista som görs innan data kontrolleras och levereras.

Naturligtvis kan rensningen även utföras före registrering, men på grund av övertäckningen mellan uppställningarna kan det innebära att samma område får rensas flera gånger. Viss del av rensningen kan även utföras genom inställningar i skannerns mjukvara – med t.ex. avstånds- och vinkelbegränsningar – men eftersom moderna skannrar är så pass snabba brukar det vara effektivare att utföra all datarensning i efterhand.

D.11 Processbeskrivningar

I detta avsnitt avslutas framställningen med detaljerade processbeskrivningar för genomförandet av skanning, punktmolnsregistrering och anslutning av skanningsprojekt.

D.11.1 Skanning

En uppställning för terrester laserskanning, som avses bli måltavleregistrerad, hanteras normalt på följande sätt (se även D.3):

- Måltavlor sätts upp på utgångspunkter, konnektionspunkter samt kontrollpunkter för anslutning och registrering.
- Vid excentrisk placering mäts offset från måltavla till utgångspunkt.
- Tidigare använda måltavlor kontrolleras så att de inte har rubbats.
- Skannern sätts upp och horisonteras på ett stativ på uppställningsplatsen.
- Säkerhetsåtgärder, t.ex. avseende lasersäkerhet, vidtas vid skanning på offentliga platser.
- Inställningar (punkttäthet, maxavstånd, eventuella avgränsningsvinklar m.m.) för skanningen anges.
- Om möjligt skannas/mäts ett yttre kontrollobjekt för kontroll av uppställningen.
- Skanning genomförs.
- Eventuella fotografier över insamlingsområdet tas med skannerns kamera.
- Om finskanning av måltavlor ska göras pekas dessa ut av operatören – i punktmolnet, i bilderna eller genom manuell inriktning.
- Punkttäthet för eventuell måltavleskanning (finskanning av måltavlor) anges.
- Måltavleskanning genomförs.
- Kontroll utförs av att skanningen av måltavlorna har lyckats.
- Det yttre kontrollobjektet skannas eller mäts in igen för kontroll av att skannern inte rört sig under mätningens gång.
- Måltavlorna kontrolleras så de inte har rört sig under skanningen.
- Skannern flyttas till nästa uppställningsplats.

D.11.2 Punktmolnsregistrering

Vid punktmolnsregistreringen rekommenderas viss handpåläggning för att få kontroll över registreringsprocessen. Arbetsflödet blir då enligt följande (se Bilaga D.4):

- En kopia på rådata från skannern läses in till programvaran. Varje uppställning är inledningsvis relaterad till sitt eget skannersystem.
- Eventuella måltavlor på konnektions- och kontrollpunkter för kontroll av registreringen pekas ut manuellt i punktmolnen för respektive station. Används programvarans automatiska identifiering av måltavlor kontrolleras noggrant att rätt måltavlor har identifierats.
- Punktmolnen från två eller flera uppställningar registreras i en av uppställningarnas skannersystem (molnets hemsystem), se avsnitt 3.1.2.
- Hur punktmolnen har matchats mot varandra, så att gemensamma objekt sammanfaller, kontrolleras visuellt, se Bilaga C.2 d.4). Detta är särskilt viktigt vid användning av automatiska registreringsmetoder.
- Programmets kvalitetstal för punktmolnsregistreringen analyseras och kontrollpunkternas koordinater från respektive uppställning i hemsystemet jämförs, se Bilaga C.2 d.2).
- Kvarvarande uppställningar registreras till hemsystemet på liknande sätt.
- Om anslutning ska utföras transformeras det registrerade punktmolnet till ett externt system enligt avsnitt 3.3.5.
- Om datarensning ska ske så tas bruspunkter och punkter utanför insamlingsområdet bort.
- Det registrerade punktmolnet exporteras, i specificerat format för leverans.
- Punktmolnsregistreringen dokumenteras enligt Bilaga B.3.

D.11.3 Anslutning

Precis som vid punktmolnsregistreringen bör viss handpåläggning göras för att åstadkomma ökad kontroll av anslutningsprocessen. De olika momenten utförs normalt enligt följande, se Bilaga D.6-D.7:

- Läs in det registrerade punktmolnet från Bilaga D.11.2 i programvaran (alternativt rådata vid stationsvis anslutning).
- Eventuella måltavlor på utgångs- och kontrollpunkter för anslutningskontroll pekats ut manuellt i punktmolnen för respektive station. Används programvarans automatiska identifiering av måltavlor kontrolleras noggrant att rätt måltavlor har identifierats.
- Utgångs- och kontrollpunkternas kända koordinater i referenssystemet anges. Hänsyn tas till eventuella offset från måltavlans centrum till markeringen.
- Parametrar för anslutningen ställs in.
- Punktmolnet ansluts till utgångspunkternas kända koordinater, se avsnitt 3.1.4.
- Programmets kvalitetstal för anslutningen kontrolleras och kontrollpunkternas beräknade koordinater jämförs med de kända, se Bilaga C.2 d.2).
- Om datarensning ska ske så tas bruspunkter och punkter utanför insamlingsområdet bort.
- Det anslutna punktmolnet exporteras, i beslutat format för leverans.
- Anslutningsprocessen dokumenteras enligt Bilaga B.3.

Den beskrivna arbetsprocessen gäller i tillämpliga delar även vid stationsvis anslutning. Då tillkommer även:

- Att punktmolnet är fullständigt, dvs. utan glapp, kontrolleras visuellt liksom att gemensamma objekt i överlappande områden överensstämmer, se Bilaga C.2 d.4) och e).