



INSTITUTIONEN FÖR TEKNIK OCH BYGGD MILJÖ

**Framställning av digitala terrängmodeller med
totalstation respektive terrester laserskanner**

Marcel Bolohan

Juni 2009

Examensarbete 15 hp B-nivå
Geomatik

Geomatikprogrammet
Examinator: Yuriy Reshetyuk
Handledare: Stig-Göran Mårtensson

Förord

Sättet att informera och kommunicera via kartor har blivit mycket effektivt tack vare ett stort antal människor med intresse för kartor av olika typ. Mitt intresse för mättningsverksamhet, kartor och lantmäteri har blivit allt större under mina studier, och nu när jag utför mitt examensarbete får jag ytterligare en möjlighet att fördjupa mig i detta.

Denna rapport är resultatet av mitt examensarbete vid Högskolan i Gävle och avslutar min utbildning på Geomatikprogrammet med inriktning mot mätningsteknik.

Jag vill tacka min handledare Stig-Göran Mårtensson på Högskolan i Gävle för all hjälp jag har fått. Jag vill även tacka min familj för allt stöd under utbildningstiden.

Sammanfattning

Digitala terrängmodeller (DTM) är mycket användbara geografiska produkter som behövs av många organisationer och företag. Som exempel kan nämnas telekommunikationsföretag som behöver terrängmodeller för analys vid planering av områden för nya master, och försäkringsbolag som använder DTM för att identifiera områden med hög eller låg risk för översvämningar när de fastställer premier. Markbaserad (terrester) mätning är en metod för framställning av DTM där man genom fältmätning insamlar data för objekt vars positioner bestäms med plan- och höjdkoordinater. Dessa objekt används sedan för att beskriva terrängen digitalt. Eftersom terrängmodellerna är generaliseringar av markytan, ställs olika krav på deras kvalitet, beroende på användningsområden.

Målet med detta examensarbete var att skapa två digitala terrängmodeller i enlighet med tekniska specifikationen SIS/TS 21144:2004 (specifikation vid framställning av digitala terrängmodeller). Modellerna representerar samma område men inmätningarna genomfördes med två olika mätinstrument, en totalstation och en terrester laserskanner. En bedömning av kvaliteten hos dessa terrängmodeller gjordes, i förhållande till varandra och det uppmätta området.

Det undersökta området är beläget i närheten av Teknikparken i Gävle och består av park-, vatten- och skogsområden med en areal på ca 3500 m². Mätningarna utfördes med totalstation av märket Leica TPS 1203 och terrester laserskanner av märket Leica ScanStation 2 som finns tillgängliga på Högskolan i Gävle och överfördes sedan till dator för bearbetning i lämplig programvara.

En volymeräkning av terrängmodellerna gjordes och skillnaderna mellan dem lagrades i en differensmodell. Denna jämförelsemodell har använts till redovisning av avvikelser mellan DTM.

Enligt min uppfattning representeras markytan bättre i terrängmodellen framställd med hjälp av totalstation. Fördelen med totalstation är i detta fall att koordinaterna i plan och höjd bättre representerar den faktiska markytan, till skillnad från laserskannern, som skannar grästopparna, vilka registreras som markyta. Som framgår av volymeräkningarnas resultat blir skillnaden i volym betydande, eftersom laserskannerns terrängmodell ligger på en högre nivå på platser där vegetationen är tät.

Innehållsförteckning

1. INTRODUKTION.....	1
1.1 BAKGRUND.....	1
1.1.1 Definitioner.....	1
1.2 SYFTE OCH MÅL.....	2
1.3 BEGRÄNSNING.....	3
1.4 TIDIGARE STUDIER.....	3
2. MATERIAL OCH METODIK.....	3
2.1 MÄTINSTRUMENT.....	4
2.1.1 Totalstation.....	4
2.1.2 Terrester laserskanner.....	4
2.2 PROGRAMVAROR.....	5
2.2.1 SBG: s Geo Professional School 2008.....	5
2.2.2 Cyclone 6.0.....	5
2.3 UNDERSÖKNINGSOMRÅDET.....	6
2.4 KLASSIFICERING AV MARKYTAN.....	6
2.5 UTFÖRANDE.....	7
2.5.1 Etablering av hjälppunkter.....	7
2.5.2 Framställning av DTM med totalstation.....	7
2.5.3 Framställning av DTM med terrester laserskanner.....	7
2.5.4 Framställning av differensmodell.....	8
2.5.5 Volymberäkningar.....	8
2.5.6 Beräkning av terrängmodellernas avvikelse i höjd.....	9
3 RESULTAT.....	9
3.1 HJÄLPPUNKTERNAS KOORDINATER.....	9
3.2 TERRÄNGMODELL FRAMSTÄLLD MED TOTALSTATION I GEO.....	9
3.3 TERRÄNGMODELL FRAMSTÄLLD MED TLS I CYCLONE.....	12
3.4 TERRÄNGMODELL FRAMSTÄLLD MED TLS I GEO.....	14
3.5 DIFFERENSMODELL.....	16
3.6 TERRÄNGMODELLERNAS AVVIKELSE I HÖJD.....	17
4 DISKUSSION.....	17
REFERENSER.....	19

BILAGOR

Bilaga 1	Karta med inmättningsdata från totalstation
Bilaga 2	Registrering i Cyclone
Bilaga 3	Volymberäkningar

1. Introduktion

1.1 Bakgrund

Digitala terrängmodeller (DTM) är mycket användbara geografiska produkter som behövs av många organisationer och företag. Användningsområdena varierar kraftigt från att skapa höjdkurvor vid framställning av kartor, till underlag för yt- och volymeräkningar för markprojektering vid exempelvis väg- och järnvägsbyggen. Även inom arkeologi behövs DTM för noggrann dokumentation vid utgrävningar. Andra exempel är telekommunikationsföretag som behöver terräng- och ytmodeller för analys vid planering av områden för nya master, och försäkringsbolag som använder DTM för att identifiera områden med hög eller låg risk för översvämningar när de fastställer premier.

Markbaserad (terrester) mätning är en metod för framställningen av DTM där man genom fältmätning samlar in data för objekt vars positioner bestäms med plan- och höjdkoordinater. Dessa objekt används sedan för att beskriva terrängen digitalt.

Eftersom terrängmodellerna är generaliseringar av markytan, ställs olika krav på deras kvalitet, beroende på användningsområdena.

1.1.1 Definitioner

En tidig definition av DTM ges av Miller och Laflamme (1958) vilka påstår att en digital terrängmodell helt enkelt är en statistisk representation av den sammanhängande markytan med hjälp av ett stort antal valda punkter med kända koordinater (X, Y och Z) i ett godtyckligt referenssystem. Vi kan konstatera att definitionen är densamma efter 50 år: ”En digital terrängmodell är en digital beskrivning av terrängen, framställd med hjälp av höjddata” (Klang, 2006), med andra ord innehåller beskrivningen data för objekt vars position har bestämts med plan- och höjdkoordinater.

Som grund för terrängmodellering används oftast en *digital höjdmodell* (digital elevation model, DEM) för att beskriva själva markytan, och enbart den, med hjälp av höjddata. En DTM innehåller, förutom höjddata, även en terrängbeskrivning. Utöver dessa två möjligheter förekommer också *digitala ytmodeller* (digital surface model, DSM), i vars ytbeskrivning, tillsammans med markytan, inkluderas alla objekt som återfinns ovanpå, såsom vegetation, byggnader etc.

Kvaliteten hos dessa modeller kan definieras som graden på likhet mellan den generaliserade avbildningen av markytan och den faktiska, reella markytan (Meneses *et al.*, 2005), och delas in i följande begrepp: noggrannhet, tillförlitlighet och fullständighet (Klang, 2006).

Såsom det presenterats ovan, krävs det bra förståelse för en rad termer som: *fel*, *osäkerhet*, *noggrannhet*, *tillförlitlighet* och *fullständighet* samt deras användning vid bedömning av kvalitet hos digitala terrängmodeller.

Fel är skillnaden mellan det uppmätta värdet och det sanna värdet (HMK-Ge:S, 1996). Vare sig det är slumpmässiga fel, felaktig mätutrustning, felaktig användning av utrustningen eller omedvetna misstag av den aktör som gör mätningar, så är fel oundvikliga. Följaktligen innehåller alla digitala höjd- och terrängmodeller en viss mängd fel.

Tre typer av fel kan urskiljas, när det gäller geodetisk mätning och terrängmodeller (HMK-Ge:S, 1996; Li *et al.*, 2004; Tate and Fisher, 2006):

1. *Grova fel* uppstår då vi slarvar, hanterar instrument på felaktigt sätt eller om det är fel på instrumentet och undviks enklast genom att vara noggrann och mäta med överbestämningar.
2. *Systematiska fel* är regelbundna och kan beskrivas med någon form av matematisk formel. Dessa fel undviks oftast genom att använda kalibrerade och kontrollerade instrument innan mätningen.
3. *Slumpmässiga fel* antas vara normalfördelade och kan därför bearbetas med statistiska metoder. Orsakerna anses vara många, till exempel omgivningen, mätningsproceduren eller mänskliga faktorer. Slumpmässiga fel kan reduceras genom upprepade mätningar och lämpligt valda beräkningsmetoder.

Dessa fel är svårångade och utgör *osäkerhet* och är ett mått på vad vi inte vet (Wechsler and Kroll, 2006). Denna oundvikliga osäkerhet finns vid alla mätningar och kan inte elimineras genom stor försiktighet från observatörens sida.

Det bästa vi kan göra är att se till att felen är så små som möjligt och att få en tillförlitlig uppskattning av hur stora de är (Taylor, 1997, s. 3).

Noggrannhet: ”beskrivs vanligtvis som medelfel i plan (X, Y) och höjd (H), och påverkas bl.a. av datafångstmetod, markstöd, avstånd mellan mätningarna (punkter/m²), interpolations- och bearbetningsmetod” (Klang, 2006).

Tillförlitligheten eller andelen korrekt tolkning är ett mått på hur pålitlig en DTM är. Begreppet är enligt Klang (2006) mycket användbart vid bedömning av DTM för att analysera om markytan representeras på rätt sätt, dvs. om inmättningsdata som representerar markytan har redigerats korrekt, framför allt vid laserskanning.

Fullständighet: ”Med fullständighet avses graden av överenskommelse mellan vad som faktiskt redovisas på kartan i fråga och motsvarande företeelse i verkligheten” (HMK-Ka, 1996). Definitionen ovan avser kartor, men för terrängmodeller skulle detta resonemang kunna tillämpas på antalet strukturförändringar och terrängvariationer som presenteras i modellen i förhållande till deras motsvarigheter i verkligheten.

1.2 Syfte och mål

Det övergripande syftet med detta examensarbete är att fördjupa mina kunskaper inom geodesiområdet, utveckla min förmåga att arbeta med projekt samt praktiskt använda den teoretiska kunskap jag har fått under utbildningen.

Målet är att skapa två digitala terrängmodeller i enlighet med tekniska specifikationen SIS/TS 21144 (2004). Modellerna representerar samma område men inmätningarna genomförs med två olika typer av mätinstrument, totalstation och terrester laserskanner. En bedömning av kvaliteten hos dessa terrängmodeller görs, i förhållande till varandra och det uppmätta området.

1.3 Begränsning

Eftersom studien utfördes som ett enmansprojekt och under relativt kort tidsperiod har inte en kontroll av terrängmodellernas noggrannhet enligt tekniska specifikationen SIS/TS 21145 (2004) medgetts.

1.4 Tidigare studier

En, för detta examensarbete, intressant studie genomfördes år 2005 på Institutionen för teknik och byggd miljö vid Högskolan i Gävle. Studien sammanfattades av Olsson och Jorring i examensarbetet *Användning av laserskanner vid byggprojektering – en jämförelse med totalstationen*. Författarna framställde, som underlag för byggprojektering, två DTM, en med laserskanner och en med totalstation. Deras resultat visar att terrängmodellen framställd med totalstation tillhör ”klass 1” enligt SIS/TS 21145 (2004) medan terrängmodellen framställd med terrester laserskanner tillhör ”klass 5”.

En annan studie inom ämnesområdet sammanfattades av Pflipsen (2006) i examensarbetet *VOLUME COMPUTATION - a comparison of total station versus laser scanner and different software*. Studien genomfördes på Institutionen för teknik och byggd miljö vid Högskolan i Gävle och visar volymkillnaderna och avvikelsen mellan terrängmodellerna framställda med totalstation respektive terrester laserskanner i olika programvaror (Cyclone, Geograf och Geo). Resultatet visar en avvikelse på 0,06 m mellan terrängmodellerna (vilket uppskattas som mycket bra av författaren), samt en betydande skillnad mellan Cyclone och övriga programvaror vid volymberäkning, till Cyclones nackdel.

2. Material och metodik

Mätningarna utfördes med totalstation av märket Leica TPS 1203 och terrester laserskanner av märket Leica ScanStation 2 som finns tillgängliga på Högskolan i Gävle och överfördes sedan till dator för bearbetning i lämplig programvara. Programvarorna är SBG: s Geo Professional School 2008 för bearbetning av inmätningensdata från totalstation och Leica Geosystems Cyclone 6.0 för bearbetning av inmätningensdata från laserskanner.

För etablering av hjälppunkter på undersökningsområdet användes en *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) - mottagare av märket Leica GX 1230. Detta instrument kommer dock inte att beskrivas närmare.

2.1 Mätinstrument

2.1.1 Totalstation

Totalstationen har funnits på arbetsmarknaden sedan 1980-talet och är ett av de mest använda och välkända mätinstrumenten inom geodetisk mättningsverksamhet. Nedanstående skall betraktas som en mycket kortfattad beskrivning av instrumentet och dess funktioner som använts i denna studie.

Instrumentet kallas också för elektronisk takymeter och har sin härkomst i teodoliten som endast kunde mäta vinklar. Till skillnad från en teodolit mäter en totalstation både vinklar och längder men har också en automatisk avläsning av skalorna, kompensatorfunktion på både horisontal- och vertikalplan samt en elektronisk registreringsfunktion. Längdmätningarna görs med hjälp av en elektronisk längdmätare, EDM (Electronic Distance Measurements).

Moderna totalstationer är idag utrustade med en rad automatiska funktioner. Till exempel ATR-funktionen (Automatic Target Recognition) gör att mätinstrumentet riktas mot prisma automatiskt och LOCK-funktionen (Automatic Target Tracking) gör att den följer prisma. Dessa funktioner i samband med användningen av enmansstationen har effektiviserat inmättningsprocessen och idag kan fältarbetet, i de flesta fall, utföras av en enda observatör. Enmansstationen är egentligen en extra kontrollpanel som monteras på prismastången och kommunicerar med mätinstrumentet via radioförbindelse. Detta möjliggör att observatören kan förflytta sig till det objekt som skall mätas in (Leica TPS1200+ Brochure, 2009).

2.1.2 Terrester laserskanner

Terrester laserskanner (TLS) introducerades inom geodetisk mättningsverksamhet i början av 2000-talet som mycket effektiv vid insamling av stora mängder av data. Sensorn (skannern) sänder ut en laserpuls mot det objekt som skall mätas in och när objektet träffas av laserpuls reflekteras den tillbaka till skannern. Precis som en totalstation mäter TLS vinkeln och avståndet till den punkt som träffades av laserpuls. Till skillnad från en totalstation görs detta automatiskt och med en hastighet av flera tusen laserpunkter per sekund. Det inskannade objektet lagras i form av ett tredimensionellt punktmoln med ibland miljoner punkter med kända koordinater (XYZ) i instrumentets lokala koordinatsystem. Förutom punkternas position lagras också deras intensitetsvärde, dvs. värdet på intensiteten som laserpuls har när den reflekteras tillbaka till skannern. Intensitetsvärdet varierar beroende på reflektionsförmågan hos det inskannade objektets material. Dessa objekt är oftast så stora att flera inskanningar från olika positioner är nödvändiga och som ett resultat skapas flera punktmoln som lagras i en gemensam databas. För att erhålla en komplett representation av det inskannade objektet måste dessa punktmoln transformeras till ett gemensamt koordinatsystem. Denna process kallas för *registrering* och för att kunna genomföras måste en överlappning mellan punktmolnen finnas, med minst tre måltavlor (targets) placerade på överlappningsområdet. Förutom själva laserskannern innehåller ett terrester laserskanningssystem följande komponenter: en laptop dator med mjukvara, i detta fall Cyclone, strömförsörjning (batteri) och ett stativ (Leica ScanStation 2 Data Sheet, 2007).

2.2 Programvaror

2.2.1 SBG: s Geo Professional School 2008

Geo är ett svenskt program framtaget av Svensk Byggnadsgeodesi AB (SBG) som en mångsidig kontorsprogramvara för mättingsingenjörer inom bygg-, anläggnings-, och lantmäteriindustrin. Programmet innehåller funktioner för inmätning, utsättning, projektering och redovisning. Möjligheterna att använda funktionerna för terrängmodeller, volymeräkning, tunnelhantering, väglinjer och nätutjämning gör Geo till ett komplett geodesisystem. Programmet har alla nödvändiga funktioner för att skapa och redigera en digital terrängmodell och erbjuder användarna flexibilitet genom att kunna skapa nya trianglar, rotera eller ta bort dem samt flytta och redigera punkter med hjälp av sina grafiska redigeringsfunktioner (SBG, 2009).

2.2.2 Cyclone 6.0

Cyclone 6.0 är en programvara utvecklad av Leica Geosystems och speciellt framtagen för bearbetning av data från laserskanner. Programmet innehåller en rad moduler anpassade för olika behov. Till exempel används Scan-modulen för styrning av mätinstrumentet vid inmätningstillfället, Register-modulen för en korrekt anpassning av alla punktmoln till ett gemensamt koordinatsystem och Model-modulen för att modellera och presentera de tredimensionella punktmolnen i olika format (Leica Cyclone Technical Specifications, 2008). För överföring av data mellan Cyclone och Geo användes AutoCAD 2007.

2.3 Undersökningsområdet

Det undersökta området är beläget i närheten av Teknikparken i Gävle och består av park-, vatten- och skogsområden med en areal på ca 3500 m² (figur 1).



Figur 1. Karta över undersökningsområdet.

2.4 Klassificering av markytan

I enlighet med SIS/TS 21144 (2004) skall markförhållandena bestämmas och definieras vid upprättande av terrängmodell. Marken klassificeras med hänsyn till detaljrikedom, kuperingsgrad och ytjämnhet, faktorer som avgör bland annat behov av punkttäthet. Baserat på avläsning från tabell 1 blir marktypen för undersökningsområdet klassificerad till J2b, dvs. kuperad mark med ojämn markyta.

Tabell 1. Kuperingsgrad och markens ytjämnhet (SIS/TS 21144 (2004))

Klass	Kuperingsgrad	Markens ytjämnhet
J1	Plan mark	a) Jämn b) Ojämn
J2	Kuperad mark	a) Jämn b) Ojämn
J3	Mycket kuperad mark	a) Jämn b) Ojämn

Det minsta punktantalet per hektar som rekommenderas av samma tekniska specifikation för denna typ av mark är 200 vid framställning av mycket detaljrik terrängmodell.

2.5 Utförande

2.5.1 Etablering av hjälppunkter

Vid inmätning av terrängmodellens objekt bestäms punkternas koordinater och höjder i förhållande till ett antal kända punkter. För detta ändamål har två hjälppunkter (1001 och 1002) bestämts och etablerats på undersökningsområdet med hjälp av GNSS med Nätverks-RTK (Real Time Kinematic) som mätmetod. RTK använder sig av bärvågsmätning för att bestämma positionen direkt i fält med relativt hög noggrannhet (centimeternivå) i realtid (Odolinski och Sunna, 2009). Noggrannheten påverkas bland annat av antalet satelliter och deras positioner på himlavalvet (HMK-Ge:GPS, 1996). Mätningarna genomfördes med överbestämning genom att, vid olika tillfällen, utföra tre observationer per punkt och därefter beräkna medelvärdet. Punkternas koordinater mättes in i plankoordinatsystemet SWEREF 99 TM och höjdkoordinatsystemet RH2000 (se koordinatförteckningar i tabell 2).

2.5.2 Framställning av DTM med totalstation

Inmätning av terrängmodellens objekt utfördes från punkten 1001 i form av brytlinjer, allmänna linjer och singelpunkter. Varje objekt tilldelades en specifik kod för att underlätta bearbetning av data i programvaran Geo. Valet av avstånd mellan punkterna på samma linje och avstånd mellan linjerna som beskriver markytan är avgörande för en noggrann tredimensionell beskrivning av terrängen. Eftersom undersökningsområdet innehåller tydliga markförändringar i terrängen har linjerna mätts med ett relativt kort punktavstånd, mellan en och två meter, beroende på markförändringarnas storlek. Avståndet mellan linjerna varierade med högsta värde på ca 3 meter och minsta värde på ca 0,5 meter. En karta med alla punkter och linjer inmätta med totalstation bifogas i bilaga 1.

Inmättningsdata överfördes sedan till Geo för bearbetning. Geo skapade en triangelmodell (Triangulated Irregular Network, TIN) genom rätlinjig interpolation mellan punkterna där varje punkt representerar ett hörn i en triangel. Brytlinjerna tillåter ingen interpolation över dem och på detta sätt anpassas trianglarna till terrängens utseende (SBG, 2009). Den maximala sidlängden i triangeln ställdes till etthundra meter. Efter framställning av terrängmodell beräknades dess volym.

2.5.3 Framställning av DTM med terrester laserskanner

Arbetet i fält inleddes med att välja en optimal placering av laserskannern med hänsyn till områdets storlek och instrumentets räckvidd. Två uppställningar behövdes för att fånga alla objekt från olika vinklar. När dessa två positioner hade valts ut fortsatte arbetet med att placera ut måltavlor, vilka skulle användas för registrering av punktmolnen. Måltavlorna har i detta fall varit tre stycken HDS-sfärer (High Definition Surveying) och en platt HDS-måltavla. För att kunna använda de registrerade punktmolnen i inmätningssyfte krävs att de är georefererade, dvs. kopplade till ett yttre koordinatsystem. Med ScanStation 2 kan georefereringen göras på samma sätt som med en totalstation genom att etablera instrumentet på en känd punkt med en känd baksikt (Leica ScanStation 2 Data Sheet, 2007).

Därför utfördes den första skanningen från punkten 1001 och registreringen gjordes i dess koordinatsystem. Punkttätheten som användes var ett avstånd på 10 millimeter mellan punkterna på ett avstånd av 8 meter från laserskannern. Denna inställning valdes som en avvägning mellan för låg punkttäthet, som kan medföra en förlust av data inom det inskannade området och för hög punkttäthet som resulterar i onödigt stora mängder data, vilket kräver stort lagringsutrymme. Samma inställning användes vid andra uppställningen och båda utfördes som rundskanningar (360° horisontellt). Efter varje skanning utfördes en finskanning av måltavlorna för att bestämma deras position med hög noggrannhet.

Efter skanningens genomförande påbörjades bearbetningen av laserdata i programvaran Cyclone med registrering av punktmolnen i modulen Register. Enligt programmets användarmanual rekommenderas ett kvadratisk medelfel inom en centimeter för att erhålla en bra registrering (Cyclone, 2009; Leica, 2004). Metoden som användes är en kombination av registrering med hjälp av måltavlorna och ”punktmoln till punktmoln”- registrering; för att kunna genomföra detta krävs det att måltavlorna har samma beteckning i bägge punktmolnen. Detta gjordes direkt vid skanningstillfället. Det gemensamma punktmolnet som skapades efter registreringen innehöll 2,4 miljoner inmätta punkter. En rapport med resultatet av inpassningen av de registrerade punktmolnen redovisas i bilaga 2.

Nästa steg i bearbetningen av data var att reducera det gemensamma punktmolnet för att minska datamängden och underlätta det kommande arbetet. Fokus lades i första hand på att reducera de överlappande punkterna och detta har varit möjligt tack vare metoden ”unify”, en metod som Cyclone tillhandahåller och som innebär att de överlappande punktmolnen bildar ett gemensamt. För att sortera punkterna som utgör markytan användes funktionen ”region grow - smooth surface” som innebär att en punkt väljs för att representera markytan varefter Cyclone automatiskt markerade alla omkringliggande punkter som bildade markytan. De omarkerade punkterna raderades. Trots detta fanns ett antal oönskade punkter kvar som inte representerade marken och dessa har raderats manuellt. Slutligen framställdes i Cyclone en terrängmodell i form av TIN.

2.5.4 Framställning av differensmodell

Inmättningsdata från triangelmodellen framställd i Cyclone överfördes till Geo via AutoCAD 2007. En ny terrängmodell skapades för att kunna jämföras med terrängmodellen framställd i Geo från totalstationsmätningar. En volymlräkning av båda terrängmodellerna gjordes och skillnaderna mellan dem lagrades i en differensmodell. Denna jämförelsemodell används till redovisning av avvikande områden.

2.5.5 Volymlräkningar

Alla volymlräkningar gjordes i förhållande till områdets lägsta referensnivå, dvs. vattenytan (16,30 meter). Från triangelmodellen framställd med totalstation extraherades de yttre kanterna och deras koordinater i en ny fil och denna har använts som begränsningslinje vid volymlräkningar för bägge terrängmodellerna. Beräkningarna redovisas i bilaga 3 med hjälp av rapporterna skapade av Geo.

2.5.6 Beräkning av terrängmodellernas avvikelse i höjd

För att beräkna modellernas avvikelse i höjd användes de inmätta värdena för punkterna 1001 och 1002 respektive modellernas interpolerade värden i dessa punkter. Avvikelsen beräknas enligt HMK-BA3 (1998, s. 103) på följande sätt:

$$\text{Inmätt} - \text{Interpolerat} = \text{Avvikelse}$$

Modellernas interpolerade värden inhämtades med hjälp av Geo-funktionen ”höjder från modell”. Kontrollpunkterna 1001 och 1002 är inte tillräckligt många för att bilda ett stickprov, därför gäller avvikelsen just för dessa punkter och inte för hela terrängmodellen. Stickprovsstorleken för en kontrollyta mindre än en hektar bör enligt HMK-BA3 (1998, s. 101) vara mellan 20 och 30 punkter som skall kontrolleras.

3 Resultat

3.1 Hjälppunkternas koordinater

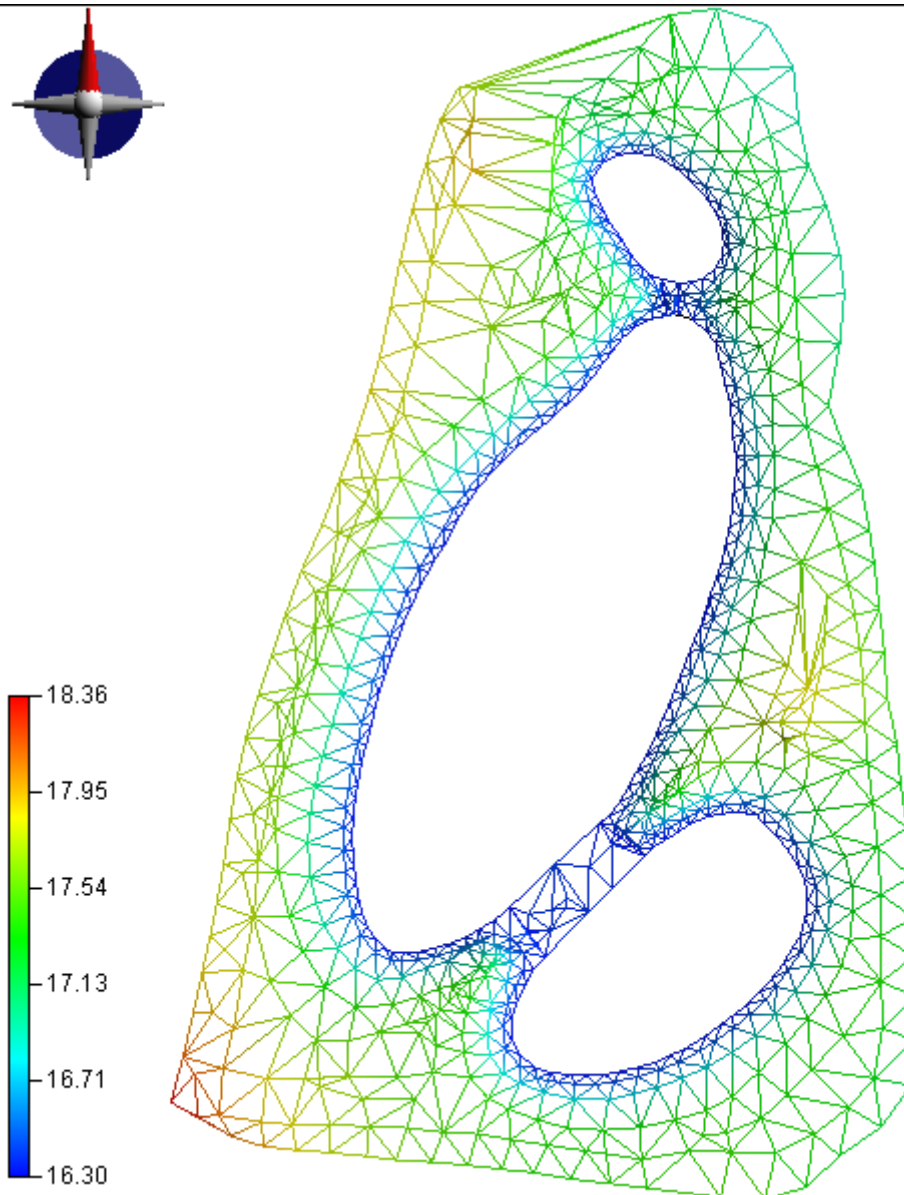
Hjälppunkterna som etablerats på undersökningsområdet med hjälp av GNSS-RTK i plankoordinatsystemet SWEREF 99 TM och höjdkoordinatsystemet RH2000 presenteras i tabell 2.

Tabell 2. Koordinatförteckning för hjälppunkter

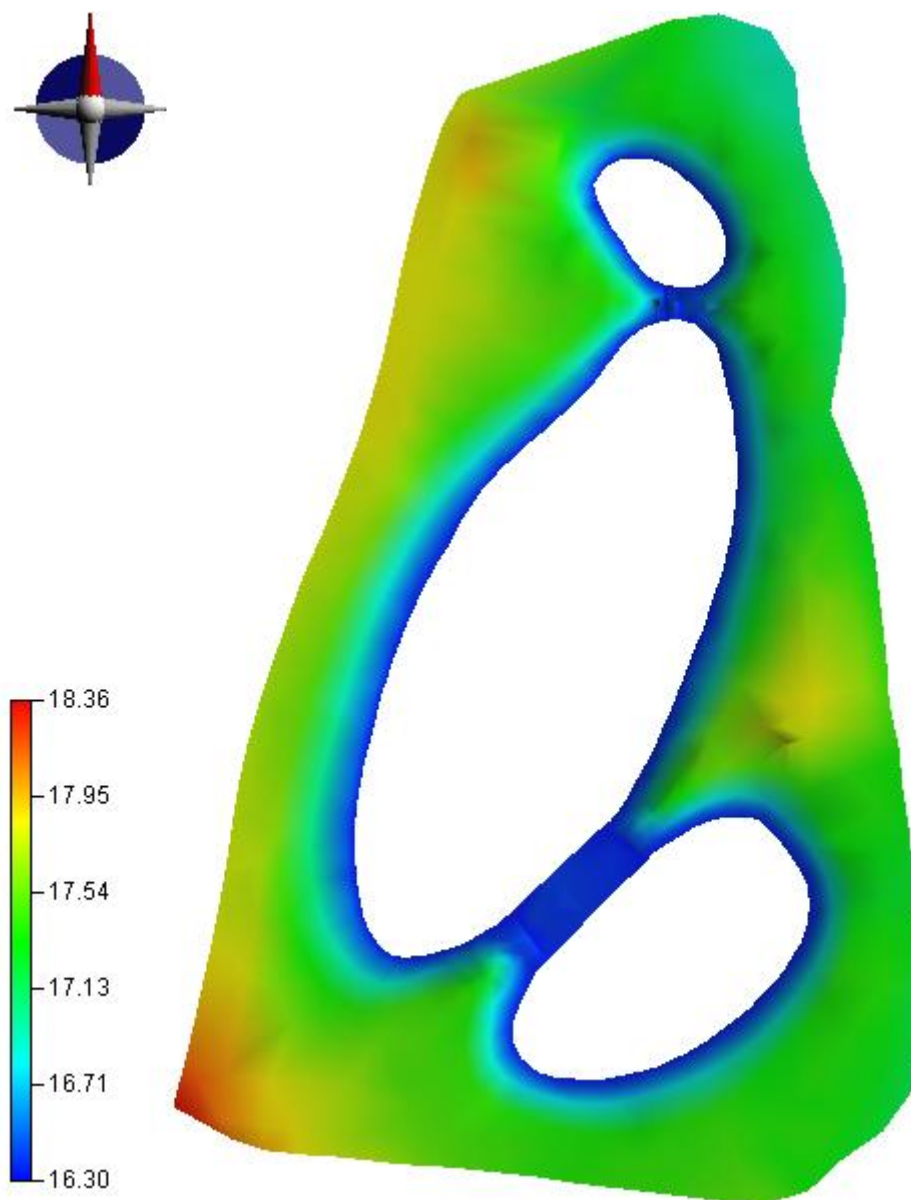
Punkt	N (m)	E (m)	H (m)
1001	6 728 139,03	615 245,36	17,40
1002	6 728 207,13	615 259,31	17,31

3.2 Terrängmodell framställd med totalstation i Geo

Terrängmodellen består av 879 punkter och 1 532 trianglar och dess volym beräknades till 1 315,941 m³. Modellen presenteras i figur 2 och 3 och skalstocken visar höjdskillnaderna mellan lägsta referensnivå (vattenytan) som ligger på 16,30 meter och högsta referensnivå på 18,36 meter.



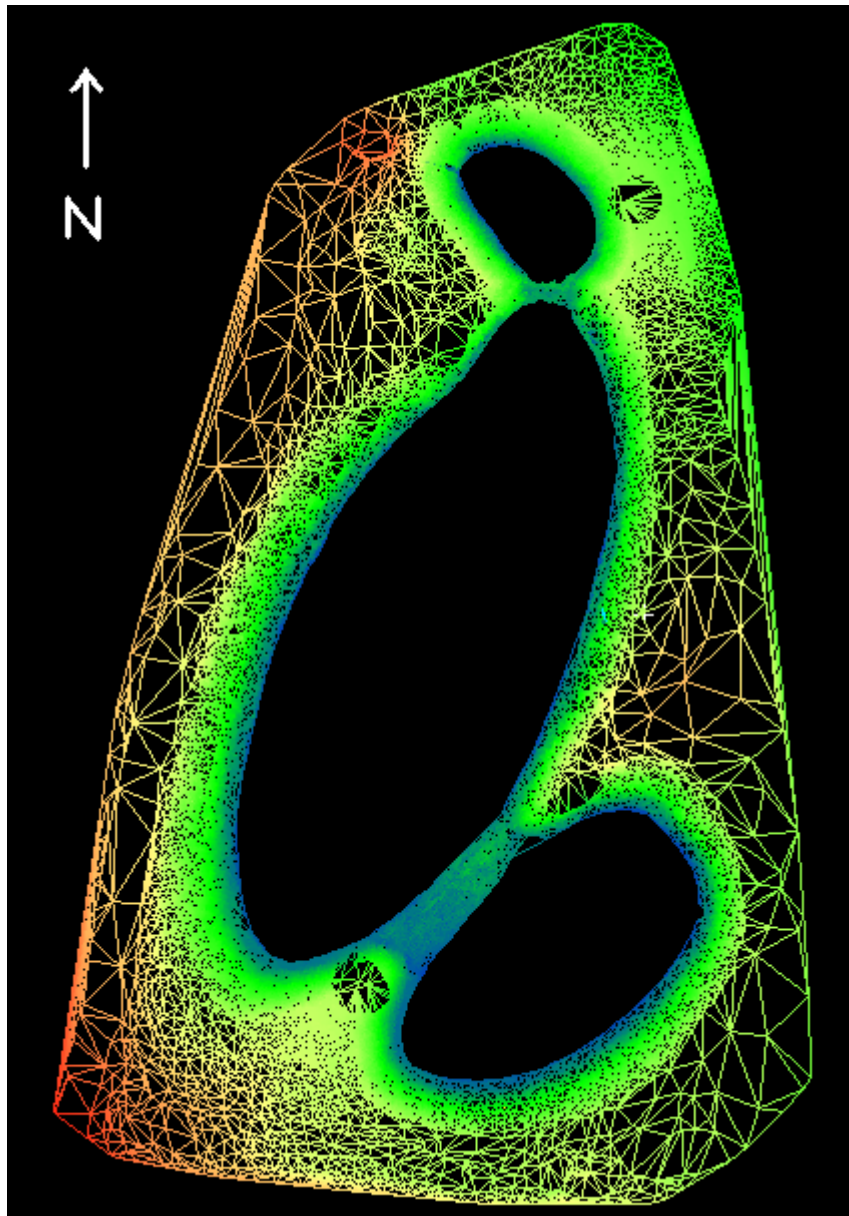
Figur 2. Terrängmodell framställd med totalstation i Geo. Enhet: m.



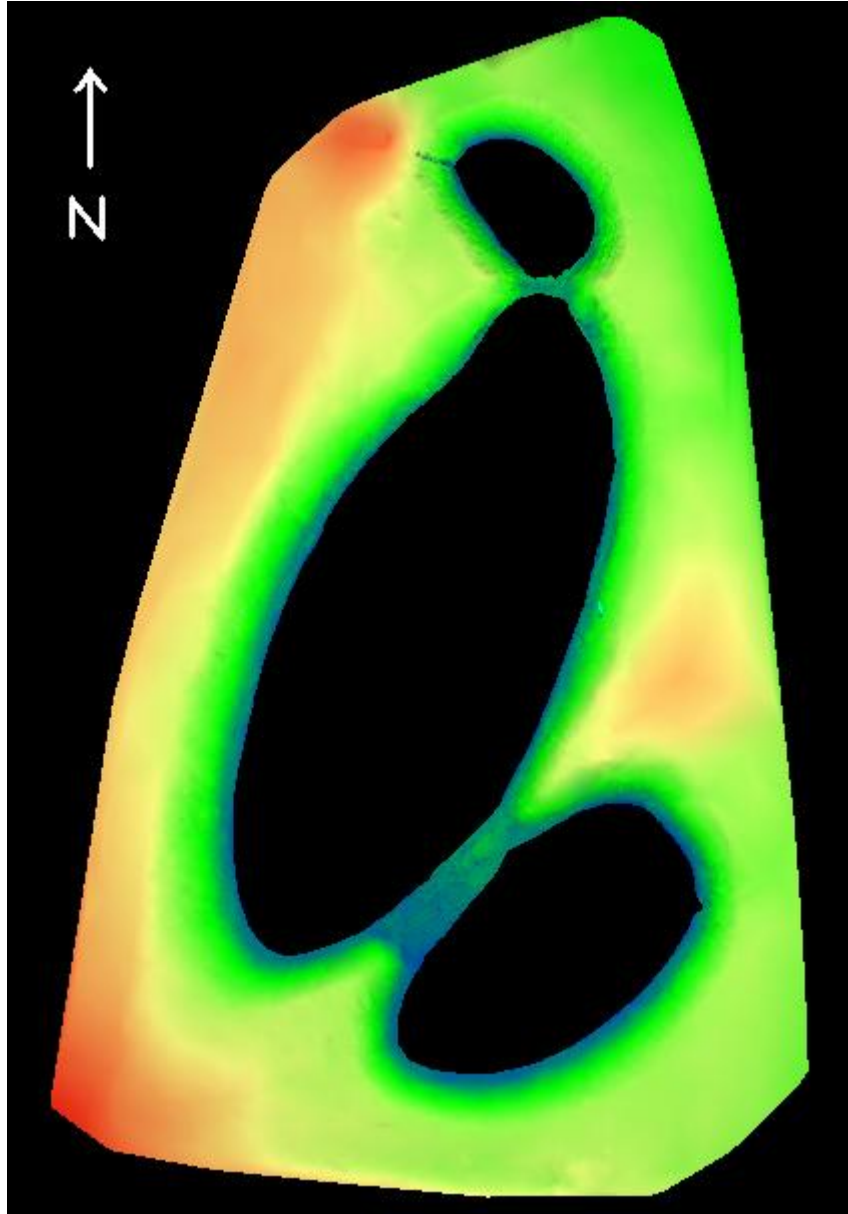
Figur 3. Terrängmodell framställd med totalstation i Geo. Enhet: m.

3.3 Terrängmodell framställd med TLS i Cyclone

Denna terrängmodell består av 15 360 punkter och 30 328 trianglar. Modellen presenteras i figur 4 och 5 med visualisering enligt höjdvärden.



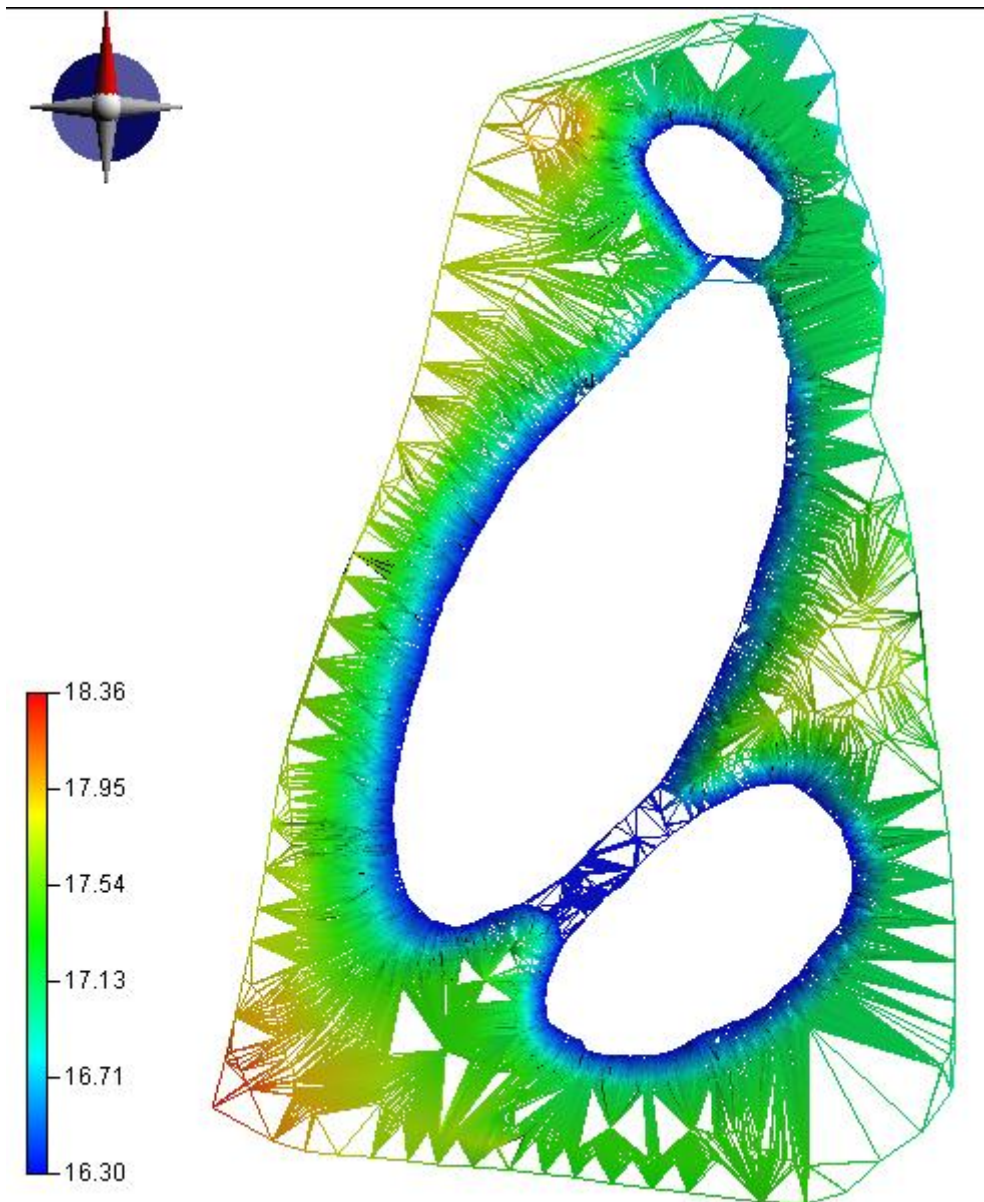
Figur 4. Terrängmodell framställd med TLS i Cyclone.



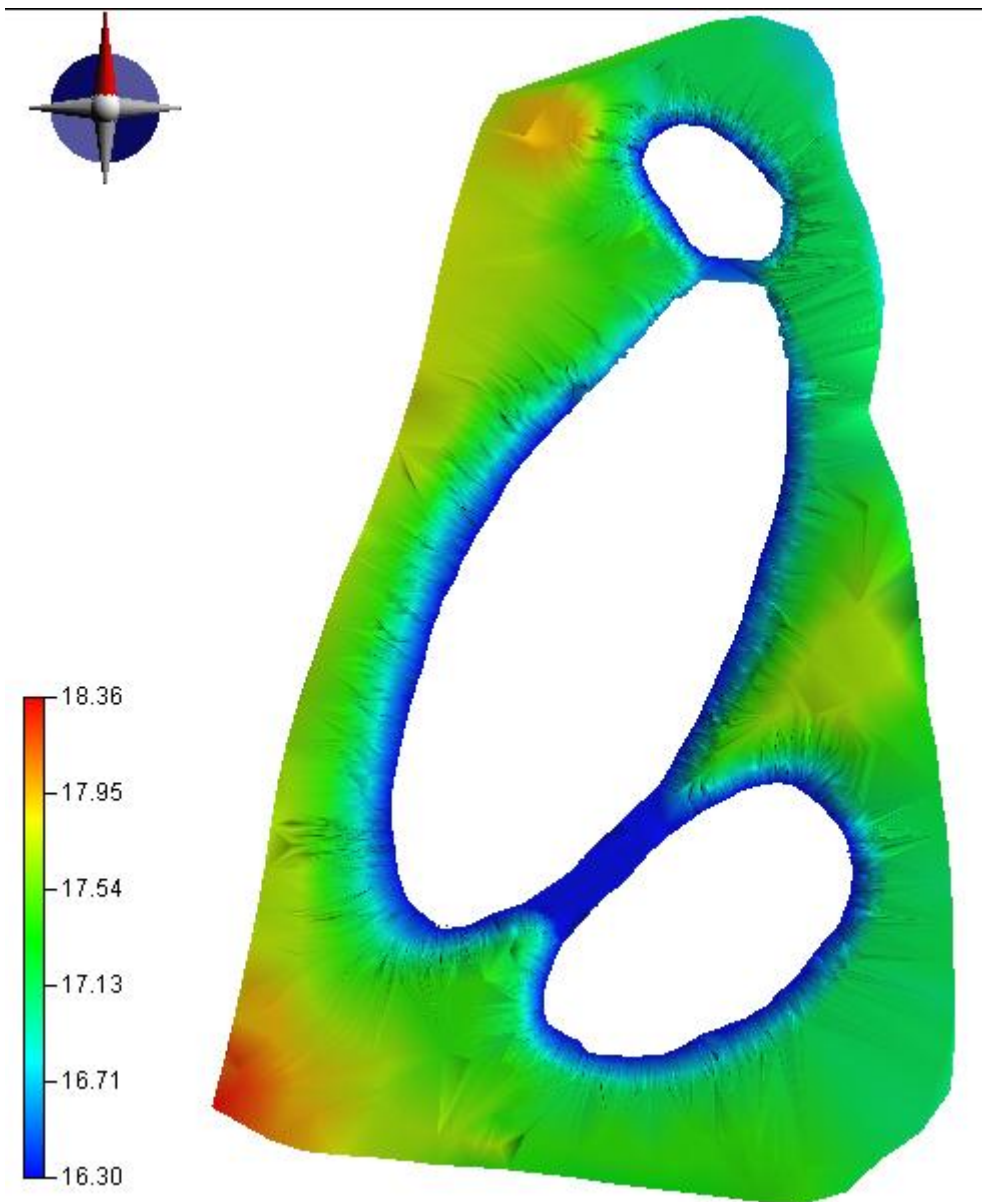
Figur 5. Terrängmodell framställd med TLS i Cyclone.

3.4 Terrängmodell framställd med TLS i Geo

Terrängmodellen består av 13 720 punkter och 25 132 trianglar och dess volym beräknades till 1 395,511 m³. Geo upptäckte 1 640 dubbletpunkter (duplicate points) som raderades automatiskt innan den nya terrängmodellen framställdes. Modellen presenteras i figur 6 och 7.



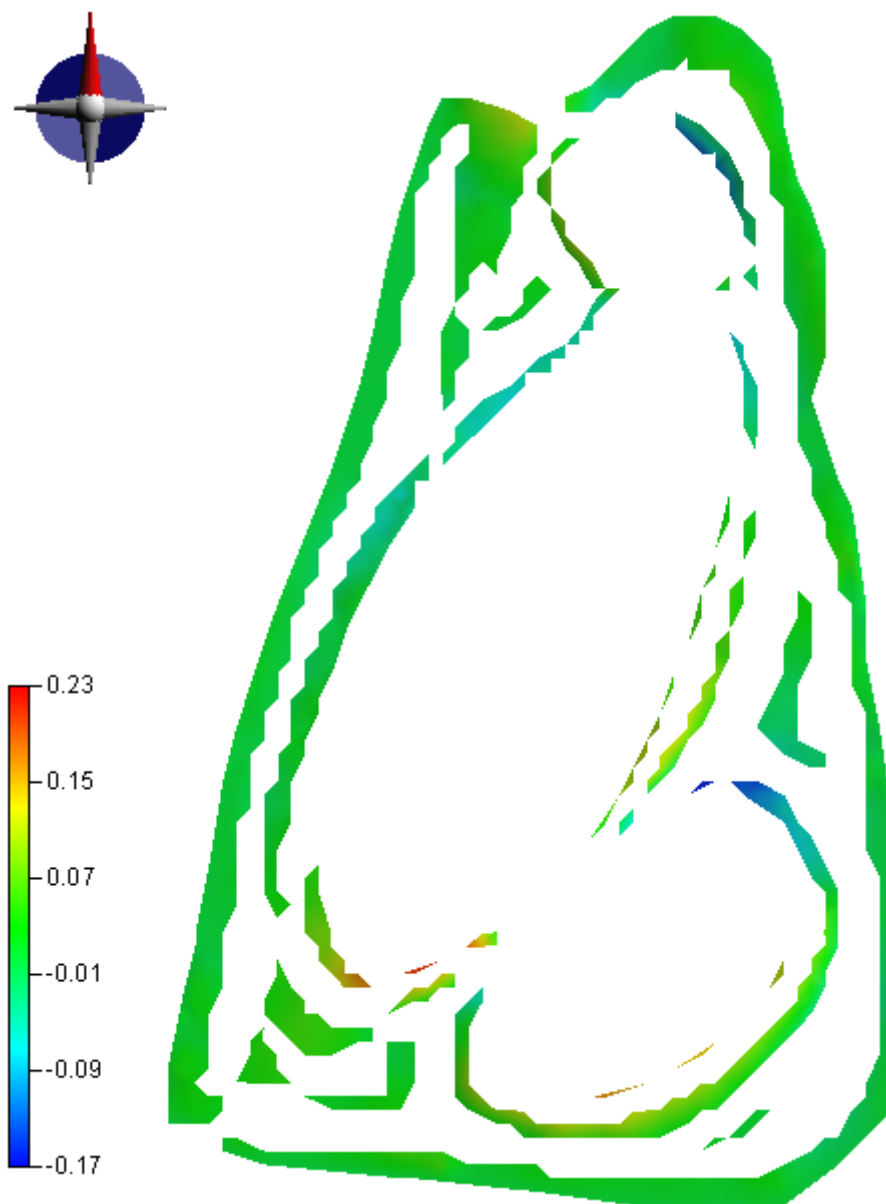
Figur 6. Terrängmodell framställd med TLS i Geo. Enhet: m.



Figur 7. Terrängmodell framställd med TLS i Geo. Enhet: m.

3.5 Differensmodell

Differensmodellen består av 1 191 punkter och 1 536 trianglar med en areal beräknad till 1 540 m², sedan vattenytan och överensstämmande områden exkluderats. Modellen visar de avvikande områdena mellan terrängmodellerna framställda med totalstation respektive laserskanner i Geo med en volym på 79,57 m³ fördelad i två kategorier, schakt och fyll, där schakt representerar volymen för de områden där differensmodellens höjd är positiv och fyll representerar volymen för de områden där differensmodellens höjd är negativ. Avståndet mellan terrängmodellerna på de avvikande områdena varierar mellan -0,17 m och 0,23 m med det största antalet punkter mellan -0,01 m och 0,07 m. Medelavståndet mellan terrängmodellerna beräknades av Geo till 0,05 m. Modellen presenteras i figur 8.



Figur 8. Differensmodell. Enhet: m.

3.6 Terrängmodellernas avvikelser i höjd

Terrängmodellen framställd med totalstation har ett interpolerat höjdvärde på 17,395 m i punkten 1001 och 17,308 m i punkten 1002, vilket resulterar i en avvikelse på 5 mm respektive 2 mm. Detta kan jämföras med terrängmodellen framställd med terrester laserskanner som uppvisar ett interpolerat höjdvärde på 17,403 m i punkten 1001 respektive 17,313 m i punkten 1002 med en avvikelse på - 3 mm för bägge punkterna.

Med hänsyn till att punktbestämningen av 1001 och 1002 gjordes med en noggrannhet på centimeternivå, kan en avvikelse på millimeternivå betraktas som försumbar.

4 Diskussion

En bedömning om tillförlitlighet kan i detta fall göras genom att jämföra terrängmodellerna. Enligt min uppfattning representeras markytan bättre i terrängmodellen framställd med hjälp av totalstation. Den operatörsstyrda inmätningssmetoden för datainsamling med totalstation ger en högre tillförlitlighet eftersom alla inmätta punkter och linjer ingår i terrängmodellen till skillnad från laserskanningsdata som genomgår en hård reduceringsprocess. Ytterligare en fördel med totalstation är i detta fall att koordinaterna i plan och höjd bättre representerar den faktiska markytan, till skillnad från laserskannern, som skannar grästopparna, vilka registreras som markyta. Som framgår av volymeräkningarnas resultat blir skillnaden i volym betydande, eftersom laserskannerns terrängmodell ligger på en högre nivå på de avvikande områdena där vegetationen är tät. Detta innebär att laserskannerns modell fortfarande är en ytmodell, DSM, eftersom laserpunkterna inte har nått marken på dessa platser. Fördelen med laserskanning, jämfört med totalstation, är framför allt mycket snabb datainsamling, vilket resulterar i enorma mängder punkter som genereras inom relativt kort tid. Dessa punkter kan användas till många oplanerade ändamål i efterhand, till exempel visualisering av miljön eller generering av längd- och tvärprofiler.

Generellt när det gäller tillförlitligheten fås ett bättre resultat från mätningar utförda av en operatör än dem från automatiska processer (Klang, 2006).

Det faktum att terrängmodellen producerad från laserdata består av 15 360 punkter i Cyclone och 13 720 punkter i Geo (jämfört med terrängmodellen producerad från totalstationsdata, som består av 879 punkter) bidrar till en högre upplösning och en bättre visualisering av alla inmätta objekt (figur 4 - 8). Tack vare den höga punktättheten från laserdata, framgår terrängvariationerna tydligare och fullständigheten är påtagligt högre i denna terrängmodell.

Vid inmätningstillfället med laserskannern har det förekommit ett antal oväntade problem som resulterade i att den snabbhet som metoden är känd för inte stämde i verkligheten. Till exempel räckte batterierna inte till och för att kunna genomföra mätningarna användes ett bensindrivet elverk som förbättrade inmätningssmetoden omedelbart när kontrasten på datorskärmen blev bättre och punktmolnens visibilitet ökade, tack vare den ökade strömförsörjningen. Dessutom underlättades navigeringen i punktmolnen avsevärt under processen att lokalisera och markera konnektionspunkterna som användes för att finskanna måltavlorna. Olsson och Jorring (2005) påtalar samma problem i deras studie.

Ytterligare en nackdel med användningen och hanteringen av laserskanner i enmansprojekt är att instrumentet tillsammans med ett batteri väger ca 30,5 kg (Leica ScanStation2 Data Sheet 2008). Alla dessa faktorer bidrog till att den tidsvinst i fält som laserskanningen medförde blev obetydlig.

Det faktum att ingen kontroll av terrängmodellernas noggrannhet enligt tekniska specifikationen SIS/TS 21145 (2004) har genomförts minskar möjligheten att göra en detaljerad analys av deras kvalitet. En sådan kontroll har sin självskrivna plats i en eventuell uppföljningsstudie, för en utförligare kvalitetsbedömning.

Referenser

Cyclone (2009). Hjälpsnitt från programvara; Version 6.0

HMK-BA3 (1998). *Handböcker i mättnings- och karttekniska frågor för Bygg och Anläggning, del 3*. Stockholm: Byggeforskningsrådet

HMK-Ge:GPS (1996). *Handbok till mättningskungörelsen, Geodesi GPS*. Gävle: Lantmäteriverket

HMK-Ge:S (1996). *Handbok till mättningskungörelsen, Geodesi Stommätning*. Gävle: Lantmäteriverket

HMK-Ka (1996). *Handbok till mättningskungörelsen, Kartografi*. Gävle: Lantmäteriverket

Klang, D. (2006). KRIS-GIS projekt i Eskilstuna – Kvalité i höjdm modeller. *Rapportserie Geodesi och Geografiska informationssystem, ISSN 0280 – 5731 LMV – rapport 2006: 4, Lantmäteriet, Gävle*

Leica Cyclone Technical Specifications (2008). Tillgänglig on-line: URL: http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/lgs_6515.htm [April 2009]

Leica (2004). Leica HDS Training Manual

Leica ScanStation2 Data Sheet (2007). Tillgänglig on-line: URL: http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/lgs_62189.htm [April 2009]

Leica TPS1200+ Brochure (2009). Tillgänglig on-line: URL: http://www.leica-geosystems.com/corporate/en/downloads/lgs_page_catalog.htm?cid=2947 [April 2009]

Li, Z., Zhu, Q., Gold, C. (2004). *Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology*. London, Taylor and Francis

Meneses, A. S., Chasco, F. R., Garcia, B., Cabrejas, J., Gonzalez-Audicana, M. (2005). Quality Control in Digital Terrain Models. *Journal of Surveying Engineering 131, pp.118-124*

Miller, C. L., Laflamme, R. A. (1958). *The Digital Terrain Model – Theory & Application*. M. I. T. Photogrammetry Laboratory

Odolinski, R., Sunna, J. (2009). Detaljmätning med nätverks-RTK – en noggrannhetsundersökning. *Rapportserie Geodesi och Geografiska informationssystem, ISSN 0280 – 5731 LMV – rapport 2009: 2, Lantmäteriet, Gävle*

Olsson, F., Jorring, F. (2005). Användning av laserskanner vid byggprojektering – en jämförelse med totalstationen. *Examensarbete, C-nivå. Institutionen för teknik och byggd miljö, Högskolan i Gävle*

Pflipsen, B. (2006). VOLUME COMPUTATION - a comparison of total station versus laser scanner and different software. *Examensarbete, D-nivå. Institutionen för teknik och byggd miljö, Höskolan i Gävle*

SBG (2009) Geo. [WWW-document]. Tillgänglig on-line: URL:
<http://www.sbg.se/products/geoone.html> [April 2009]

SIS/TS 21144 (2004). Byggmätning – Specifikationer vid framställning av digitala terrängmodeller. Stockholm: SIS Förlag AB

SIS/TS 21145 (2004). Byggmätning – Statistisk provning av digital terrängmodell. Stockholm: SIS Förlag AB

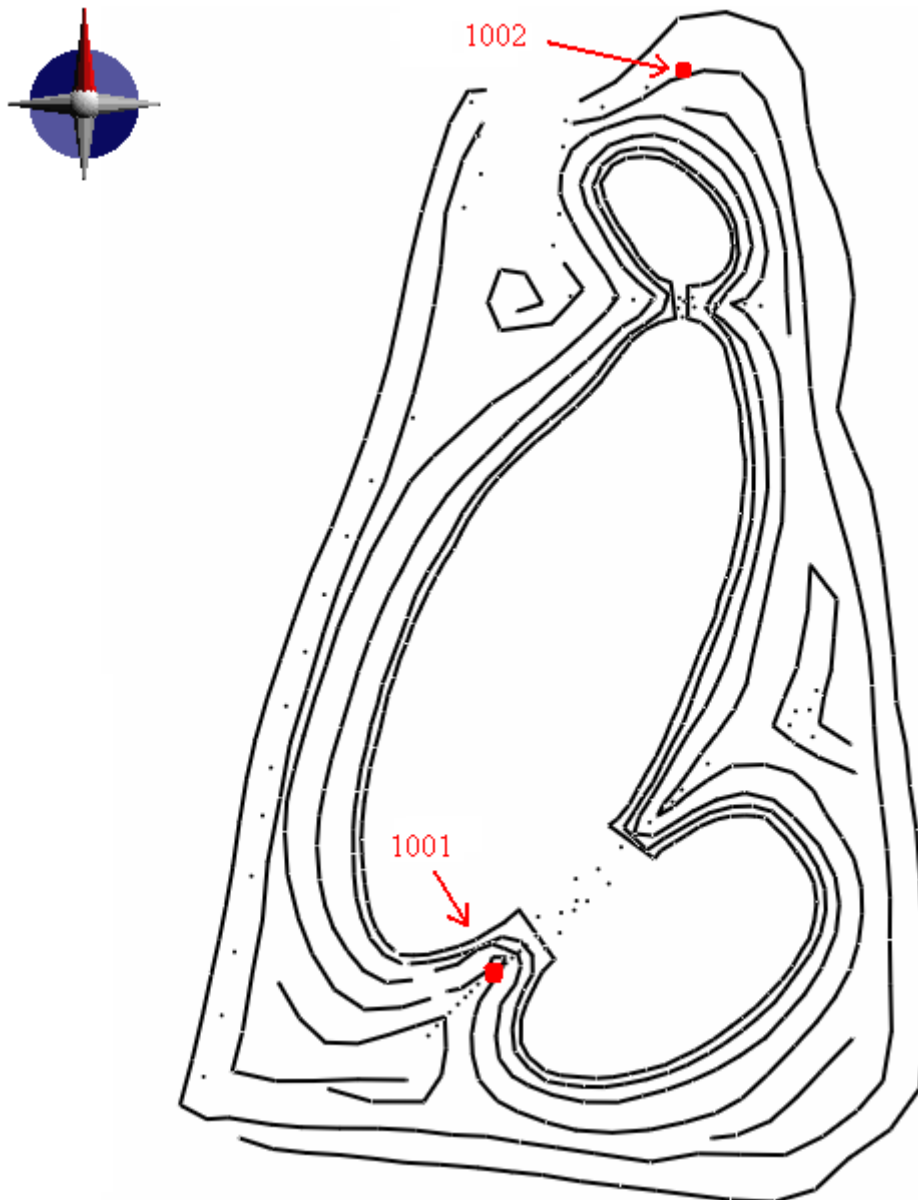
Tate, N. J., Fisher, P. F. (2006). Causes and consequences of error in digital elevation models. *Progress in Physical Geography* 30 (4). pp.467-489

Taylor, J. R. (1997). An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties In Physical Measurements. CA: *University Science Books*

Wechsler, S. P., Kroll, C. (2006). Quantifying DEM Uncertainty and its Effect on Topographic Parameters. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 72, pp.1081-1090*

Bilaga 1

Karta med inmättningsdata från totalstation



Bilaga 2

Registrering i Cyclone

Status: VALID Registration

Mean Absolute Error:

For Enabled Constraints = 0.006 m

For Disabled Constraints = 0.000 m

Date: 2009.05.27 12:04:28

Database name: Marcel Bolohan

Scan Worlds

Scan World 1 (Leveled)

Scan World 2 (Leveled)

Scan World Transformations

Scan World 1 (Leveled)

Translation: (0.000, 0.000, 0.000) m

Rotation: (0.0000, 1.0000, 0.0000):0.000 deg

Scan World 2 (Leveled)

Translation: (47.474, -38.251, -0.001) m

Rotation: (0.0000, 0.0000, 1.0000):22.679 deg

Constraints

<i>Name</i>	<i>ScanWorld</i>	<i>ScanWorld</i>	<i>Type</i>	<i>Weight</i>	<i>Error</i>
Auto 1	1 (Leveled)	2 (Leveled)	Sphere-Sphere	1.0000	0.003 m
Auto 2	1 (Leveled)	2 (Leveled)	Sphere-Sphere	1.0000	0.005 m
Cloud/Mesh	2 (Leveled)	1 (Leveled)	Cloud-Cloud	1.0000	0.009 m

Bilaga 3

Volymberäkning för terrängmodellen framställd med totalstation i Geo

Volymberäkning, Modell mot modell		Skapad: 2009-06-09	
Yta före berbetning:	..\..\Dtm-Teknikpark\Färdiga\Totalstation\DTM090516.TRM		
Yta efter bearbetning:	Referensnivå: 16,300		
Beräkningsgränser:	..\..\Dtm-Teknikpark\Färdiga\Totalstation\Model090516.geo		
Metod	Triangulering		
	Volym	Plana ytor	Sluttande ytor
Schakt:	1315.941	1429.167	1450.716
Fyll:	0.000	0.000	0.000
Totalt:	1315.941	1429.167	1450.716

Volymberäkning för terrängmodellen framställd med TLS i Geo

Volymberäkning, Modell mot modell		Skapad: 2009-06-10	
Yta före berbetning:	..\..\Dtm-Teknikpark\Färdiga\Skanner\DTM.TRM		
Yta efter bearbetning:	Referensnivå: 16,300		
Beräkningsgränser:	..\..\Dtm-Teknikpark\Färdiga\Totalstation\Model090516.geo		
Metod	Triangulering		
	Volym	Plana ytor	Sluttande ytor
Schakt:	1395.511	1319.516	1361.067
Fyll:	0.000	0.000	0.000
Totalt:	1395.511	1319.516	1361.067

Volymberäkning för differensmodell i Geo

Volymberäkning, Modell mot modell		Skapad: 2009-06-10	
Yta före berbetning:	..\..\Dtm-Teknikpark\Färdiga\Totalstation\DTM090516.TRM		
Yta efter bearbetning:	..\..\Dtm-Teknikpark\Färdiga\Skanner\DTM.TRM		
Beräkningsgränser:	..\..\Dtm-Teknikpark\Färdiga\Totalstation\Model090516.geo		
Metod	Triangulering		
	Volym	Plana ytor	Sluttande ytor
Schakt:	21.185	257.010	
Fyll:	58.385	511.071	
Totalt:	79.570	768.081	