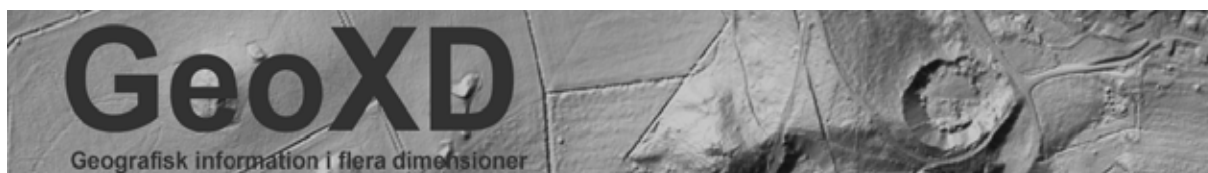


Förstudie

Produktion av ytmodeller med hjälp av bildmatchning

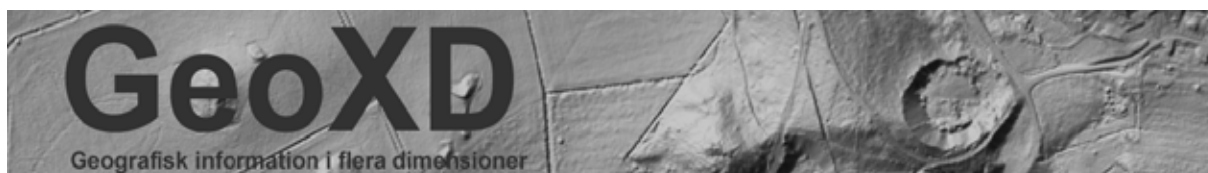
GeoXD AB



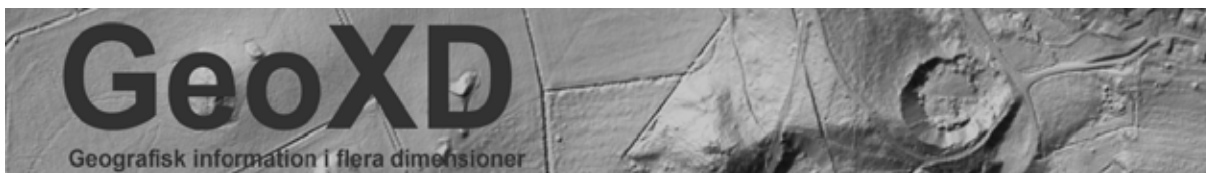


Innehållsförteckning

0	SAMMANFATTNING	4
1	INLEDNING.....	6
2	UPPDRAG.....	7
2.1	LANTMÄTERIET	7
2.2	GEOXD AB	8
3	BILDMATCHNING	10
3.1	EUROSDR	10
3.2	LANTMÄTERIET	14
3.3	ÖVRIGA INTRESSETER	14
4	TEKNISKA FÖRUTSÄTTNINGAR.....	15
4.1	DATOR	15
4.2	MATCHNINGSPROGRAM	15
4.2.1	SURE.....	16
4.2.2	Match-T.....	17
4.3	TESTDATA.....	18
4.3.1	Bilddata.....	18
4.3.1.1	Skutskär, UCE.....	18
4.3.1.2	Tjörn, UCE.....	19
4.3.1.3	Skutskär, DMC	19
4.3.2	Laserdata	19
4.3.2.1	Skutskär	19
4.3.2.2	Tjörn	19
4.3.3	Vektordata.....	19
4.3.3.1	Skutskär	19
4.3.3.2	Tjörn	20
4.3.4	Referensdata	20
4.3.4.1	Profiler.....	20
4.3.4.2	Höjdmodeller och ytmodeller	22
4.4	GEOXD_TGIS.....	22
5	METODBESKRIVNING	23
5.1	KVALITETSBESKRIVNING	24
5.1.1	Punkttäthet.....	24
5.1.2	Fullständighet.....	24
5.1.3	Lägesosäkerhet.....	25
5.1.4	Grova fel.....	28
5.1.4.1	Grova fel – under markytan	28
5.1.4.2	Grova fel – ovan markytan	30
5.2	KAMERAALTERNATIV	32
6	RESULTAT OCH DISKUSSIONER.....	33
6.1	BEARBETNINGSLTERNATIV	33
6.1.1	Kvalitetsbeskrivning.....	33
6.1.1.1	Punkttäthet	33



6.1.1.2	Fullständighet	40
6.1.1.3	Lägesosäkerhet.....	42
6.1.1.4	Grova fel – under markytan	44
6.1.1.5	Grova fel – ovan markytan	44
6.2	KAMERAALTERNATIV	46
6.2.1	<i>Kvalitetsbeskrivning</i>	46
6.2.1.1	Punkttäthet	47
6.2.1.2	Fullständighet.....	47
6.2.1.3	Lägesosäkerhet.....	47
6.2.1.4	Grova fel – under markytan	50
6.2.1.5	Grova fel – ovan markytan	50
6.3	BEARBETNINGSTID.....	52
6.4	LAGRING	53
6.4.1	<i>LAS-format</i>	53
6.4.1.1	LAS 1.2.....	53
6.4.1.2	LAS 1.4.....	54
6.4.2	<i>Komprimering</i>	55
6.4.2.1	RAR.....	55
6.4.2.2	LAZ.....	56
6.4.3	<i>Lagringsvolym</i>	56
6.5	METADATA	58
7	SLUTSATSER	60
8	REFERENSER	64

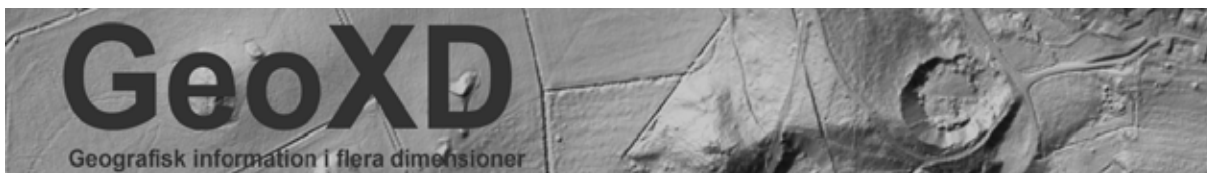


0 Sammanfattning

Lantmäteriet har önskat en utvärdering av de punktmoln som numer har blivit allt vanligare att de produceras från flygbilder. Punktmolnen har egenskaper som för vissa objekt kan anses likvärdiga med de punktmoln som samlas in med laserskanning men i huvudsak så skiljer sig punktmolnen väsentligt från varandra. Inom det uppdrag som formulerats skall ett antal olika parametrar som påverkar punktmolnets användbarhet utvärderas för att senare etablera en produktionsprocess för att bildmatcha punktmoln från Lantmäteriets årliga omdrevsfotografering.

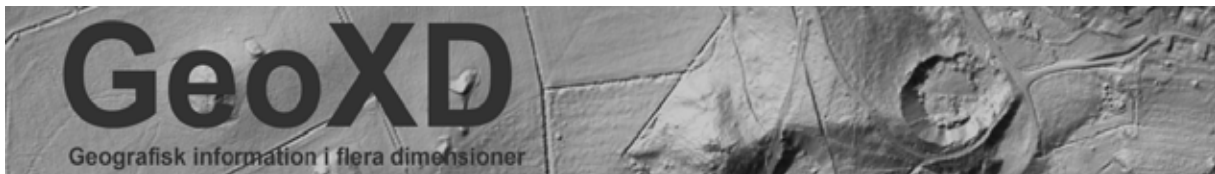
Inledningsvis innehåller rapporten en beskrivning av det uppdrag Lantmäteriet formulerat för GeoXD AB. Därefter följer ett kapitel som beskriver dagens status och internationella studier av ett antal kommersiella programvaror för framställning av punktmoln från matchade bilder. Kapitlet innehåller även en liten tillbakablick samt en sammanfattning av intervjuer med potentiella användare av ett bildmatchat punktmoln. Den snabba utvecklingen av datorers och programvarors prestanda som starkt bidragit till det nyväckta intresset av matchningstekniker förutsätter också att man i denna och liknade studier redovisar vilka program och datorer som använts. Detta sker i kapitlet Tekniska förutsättningar som även innehåller en dokumentation av de data som använts i testerna. Bilder från olika kameror, upplösning och terrängtyper samt referensdata i form av stereokarterade profiler samt höjdmodeller och ytmodeller från Nationell Höjdmodell (NH) har nyttjats i skilda sammanhang av testerna. I kapitlet Metodbeskrivning redovisas de tekniker som används för beräkning och redovisning av de tester som genomförts. Metoder för bestämning av lägesosäkerhet, fullständighet och grova fel har anpassats till de data som skall analyseras och tillgängliga referensdata. Resultaten kvalitetsbeskrivs både som statistik i tabellform och som bilder där bl.a. avvikelser mellan referensdata och de data som analyseras redovisas i ett antal färgnyanser relaterade till avvikelsernas storlek. Dessutom beskrivs de bearbetnings- och kamera-alternativ som testats i kapitlet Metodbeskrivning.

I Resultat och diskussioner sammanfattas de tester som gjorts. Tabellerad statistik, bilder och diskussioner kring dessa formar underlag för en etablering av en produktionsprocess. Punkttäthet formuleras på skilda sätt i de olika programmen. Antingen utgår man från bildens upplösning eller så skapas ett rutnät där varje cell bildmatchas och höjdsätts. Vilken upplösning som är optimal varierar beroende på vilken typ av objekt som skall identifieras och matchas. Lägesosäkerheten bedöms såväl relativt de stereokarterade profilerna som mot referensdata från NH. Byggnader och öppen mark har relativt liknande egenskaper som i NH men för övrigt skiljer sig data från de olika insamlingsmetoderna väsentligt. Generellt innehåller bildmatchade data mer brus, slumpmässiga avvikelser, än data från NH laserskanning. Fullständigheten varierar påtagligt mellan de program som testats. Sannolikt beroende på olika filosofi kring vad som kan anses vara tillräckligt bra matchning. Grova fel hanteras i programmen innan slutresultatet presenteras. Dock återstår en del avvikelser som inte kan anses vara annat än grova fel. Enstaka värden kan avvika upp till 1000 meter både ovan och under markytan. Felen under mark är lättare att detektera och med det också enklare att hantera än de ovan mark. Master och byggkranar kan avvika väsentligt från sin omgivning utan att för den skull vara felaktigt matchade. Sannolikt finns det behov av visuell bedömning av extrema objekt om man vill undvika alltför stora grova fel i det bildmatchade punktmolnet. Variationen mellan olika parameteruppsättningar och kameraalternativ är av mindre storlek vilket gör det möjligt att olika programvaror och bilder används i den kommande produktionen.



Erfarenheter från utvärderingen sammanfattas i ett antal punkter som är tänkta att ligga till grund för etableringen av en produktionsprocess avseende en nationell täckning av ett bildmatchat punktmoln.

De bilder som presenteras i rapporten är som regel endast små utsnitt ur större bild- och statistik-filer.



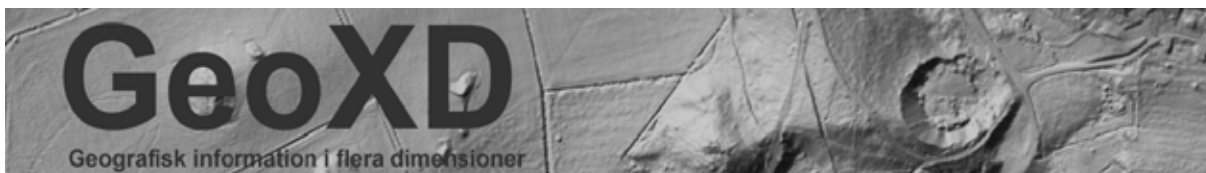
1 Inledning

Tekniken för framställning av ytmodeller, Digital Surface Model – DSM, från matchade digitala bilder har kontinuerligt utvecklats sedan tidigt 1980-tal. Till en början skannades analoga flygbilder men i och med att den första SPOT-satelliten började leverera bilder som kunde användas för stereobearbetning 1986 påbörjades också utvecklingen av programvaror för automatisk bildmatchning. Den snabba utvecklingen av digitala kameror, GPS och tröghetssystem har alla bidragit till en allt större grad av automation vid bearbetningen av de bilder som registreras.

I början av 2000-talet blev laserskanning en alltmer användbar och accepterad teknik för flygburen insamling av höjddata. Även skanningstekniken har utvecklats och används nu i stor omfattning för produktion av nationella höjdmodeller, markmodeller. Lantmäteriets rikstäckande skanning är nu i sin slutfas och diskussioner förs kring hur den Nationella Höjdmodellen skall ajourhållas. Alternativet att likt den nationella flygfotograferingen formulera en plan för en ny rikstäckande skanning är, som det uttrycks, inte aktuellt.

Lantmäteriet har under senare år testat och gjort egna utvärderingar av möjligheten att använda de digitala bilder som årligen registreras i Lantmäteriets regi som underlag för framställning av punktmoln från bildmatchning.

De intressenter man idag främst ser finns inom den skogliga sfären vid sidan om Lantmäteriets egna ambitioner att producera och nyttja 3D data för höjdsättning av bland annat fastighetskartans objekt.



2 Uppdrag

2.1 Lantmäteriet

Lantmäteriet har sedan 2009 - efter att ha fått regeringens uppdrag att framställa en nationell höjdmodell (markmodell) med mindre lägesosäkerhet än den då befintliga fotogrammetriskt mätta markmodellen - laserskannat landet med syftet att ta fram en markmodell som särskilt beaktar de krav som ställs för användning inom klimatanpassnings- och andra miljöändamål, t.ex. översvämningskartering.

Arbetet med nationella höjdmodellen har utförts både internt och externt. Arbetet planeras vara klart 2015 - 2016. Lantmäteriet upphandlar i dagsläget skanningen med leverans av georefererat oklassificerat laserpunktmoln. Detta bearbetas av Lantmäteriet till klassificerat punktmoln avseende mark, vatten och broar samt i övrigt som oklassificerade punkter.

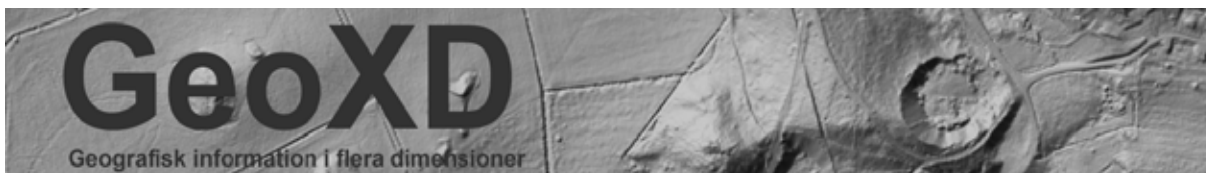
Den nationella markmodellen kommer att ajourhållas löpande. En utredning har gjorts på Lantmäteriet "Långsiktig ajourhållningsplan för terrängmodellen" där det bl.a. rekommenderas att metoden för ajourhållningen i huvudsak är fotogrammetriska metoder, i första hand automatisk bildmatchning i andra hand stereokartering.

Förutom markmodellen har även laserpunktmolnet ställts till marknadens förfogande. Laserpunktmolnet har använts i flera olika tillämpningar varav en del snarast motsvarar användning av en ytmodell. Bland annat har Skogsstyrelsen tagit fram en nationell trädhöjdsmodell som i sin tur använts för att ta fram skogliga grunddata. Lantmäteriet har tagit fram metoder för att automatiskt tolka fram öppna och skogliga områden i marktäcket i områden där grundläggande geografisk information saknats i Norrlands inland med mera.

På regeringens uppdrag genomförde och lämnade Lantmäteriet 2014 två rapporter om "Förutsättningar för att tillhandahålla kart- och bildinformation i tre dimensioner (3D)", Dnr 505-2013/3895. Lantmäteriet har fått fortsatt uppdrag att från 2015, tillsammans med andra offentliga geodataproducenter, ta fram ett nationellt ramverk för offentliga geodata i 3D. En nationell samverkansgrupp för geodata i 3D har bildats bestående av Lantmäteriet, Sjöfartsverket, SGU, Trafikverket, FMV, Göteborgs stad, Linköpings stad och Falu kommun. Som ett led i arbetet tas en 3D-demonstrator fram där bl.a. geodata från de olika deltagarna visualiseras tillsammans.

Av utredningen framgår även att Lantmäteriets geodata i fastighetskartans topografi successivt kommer att höjdsättas för att möjliggöra redovisning i 3D genom att

- nationella höjdmodellen, d.v.s. markmodellen över Sverige, ajourhålls av Lantmäteriet samtidigt med ajourhållningen av Lantmäteriets övriga geodata i plan,
- en ny produkt, ytmodell, skapas med hjälp av fotogrammetrisk matchning av flygbilder från Lantmäteriets nationella bildförsörjningsprogram,
- markmodellen och ytmodellen används som grund för höjdsättning av övriga datateman,
- befintliga geografiska teman som "ligger på marken" och finns i fastighetskartan, t.ex. marktäcke, vägar och hydrografi, höjdsätts med hjälp av markmodellen,
- byggnader redovisas som volymer i form av lådmodeller (LoD 1) genom att byggnadspolygonen i fastighetskartan höjdsätts med olika metoder, bl.a. att volymer räknas fram med hjälp av markmodellen och ytmodellen,



- skog i geografiska temat marktäcke presenteras som volymer och höjdsätts med hjälp av ytmodellen och
- ortofoto och terrängskuggning draperas på markmodellen och 3D-objekten (volymer) förses eventuellt med bildinformation.

Detta innebär att de olika höjdsatta geografiska temana läggs på markmodellen och bildar tillsammans en 3D-landscapsmodell över Sverige.

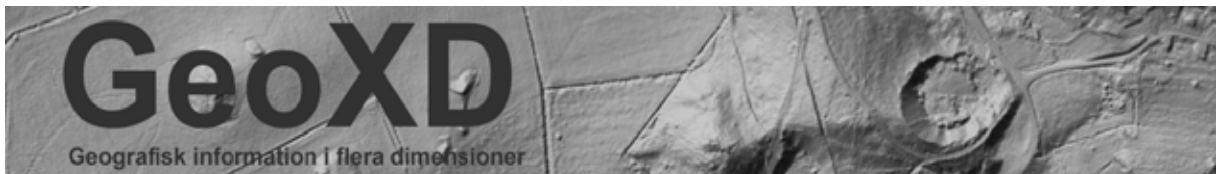
Ytmodellen utgör grunddata som dels används av Lantmäteriet för höjdsättning av vissa teman i 3D-landscapsmodellen och dels finns tillgänglig för Lantmäteriet och andra användare för analyser av förändringar av landskapet över tiden, t.ex. ajourhållning av kartor, skogliga tillämpningar, siktanalyser för mobiltelefonimaster med mera.

2.2 GeoXD AB

Lantmäteriet har enligt uppdragsbeskrivning daterad 2015-06-18, Dnr 104-2015/2519, uppdragit åt GeoXD AB att i en förstudie utreda förutsättningar för att Lantmäteriet ska kunna etablera en process för produktion av en ytmodell med hjälp av bildmatchning. Det som i följande kallas ytmodell avser ett fotogrammetriskt framställt punktmoln där varje punkt, i princip, består av en mätning snarare än härledda höjder. Eventuella glipor i materialet ska inte ges beräknade/fiktiva/interpolerade höjdvärden.

Inom ramen för Lantmäteriets uppdrag ska bl.a. följande utredas

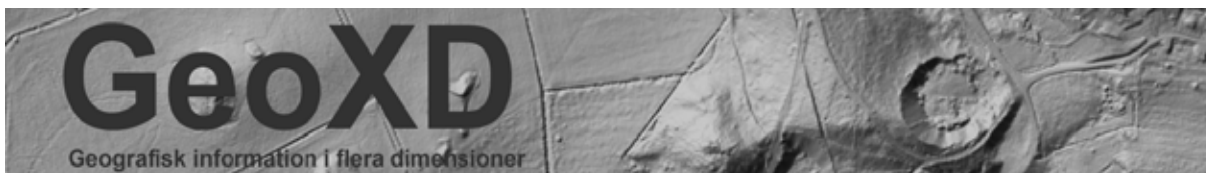
- Metoder- och lämpliga system för att ta fram ytmodell från Lantmäteriets flygbilder. Utgångspunkt är att det är ett på marknaden befintligt system som ska användas. Systemen Match-T och SURE bör ingå i urvalet.
- Eventuella enkla automatiska filtreringar för att ta bort/klasa bort orimliga värden, d.v.s. metoder för att minimera felaktiga matchningar och brus.
- Hur eventuella "hål", t.ex. skydda områden utan insikt, i punktmolnet hanteras i systemen.
- Eventuella skillnader i absolut och lokal lägesosäkerhet mellan punktmoln ur bilddata jämfört med laserdata.
- Eventuella övriga skillnader i egenskaper mellan system samt mellan bild- och laserdata.
- Metoder för att ungefärligen uppskatta lägesosäkerhet i ytmodellen genom jämförelse mellan punktmoln från fotogrammetri och laser för några olika typer av "underlag", t.ex. tät och gles skog, öppna hårdgjorda ytor, tak.
- Metoder för att färgsätta (PAN, RGB och/eller NIR) punktmoln samt vad det innebär för filstorlek och lagring.
- Rekommendera punkttäthet i punktmoln. Utvärdera fyra tätheter från lämpligt system,
 - 1 pkt/pixel
 - 1 pkt/m²
 - 1 pkt/2m²
 - 1 pkt/4m²
- Användbarhet, lägesosäkerhet, tidsåtgång och lagringsvolym för de olika alternativen av punkttätheter och ursprungsbilder.



- Tillsammans med Lantmäteriet ska metadata utformas så att full spårbarhet till ursprungliga bilder kan erhållas direkt eller indirekt.

Resultatet av förstudien är tänkt att användas för

- Beslut om produkttegenskaper.
- Underlag för att kunna etablera en process för produktion av ytmodell enligt beslutade produkttegenskaper.
- Underlag för metod att kvalitetssäkra produktionsprocessen.
- Förslag till interna metoder- och lämpliga system för att ta fram ytmodell från Lantmäteriets flygbilder.
- Identifiera behov av utbildning av Lantmäteriets personal.



3 Bildmatchning

Bildmatchning har genomgått en renässans under senare år. Starkt bidragande till detta är den förbättrade kvaliteten på digitala bilder och tillgängligheten till dessa. Nyetablerade, och tidigare existerande, programvaror har optimerats för hantering av de stora datamängder bilderna idag utgör. Vid sidan om den traditionella flygfotograferingen som till stor del legat till grund för "myndighetsmässig" kartläggning har det även etablerats organisationer med teknik för framställning av redovisningar i 3 dimensioner. Företrädesvis sker det senare i urbana miljöer och med geometrier som inte alltid möter myndigheters krav på anpassning till de nationellt definierade referenssystemen i plan och höjd. De program som används för urbana miljöer förutsätter som regel snedbilder med stor övertäckning och dessutom har bilderna oftast bättre markupplösning än de bilder som produceras för nationell och kommunal verksamhet. Motiven att använda snedbilder i urbana miljöer är bl.a. att man skapar förutsättningar för att drapera ytmodellernas fasader med bilddata från flygfotograferingen. En annan, och i den här studien viktig aspekt, är att man även skapar förutsättningar för en mer robust matchning av bilderna och på så sätt erhålls en bättre bestämning av objektens plan- och höjdlägen.

3.1 EuroSDR

I en omfattande studie som genomförts av EuroSDR kring bildmatchning (Haala, N., 2014) har ett 10-tal organisationer bidragit med sina resultat från matchning av bilder från ett referensdataset som EuroSDR tillhandahållit. Bilder från två områden med olika egenskaper – urbana, bild 1, respektive skog/öppen mark, bild 2 - har bearbetats och utvärderats. Resultaten skiljer sig påtagligt mellan de olika programmen. Detta gäller såväl det synliga resultatet som den bearbetningstid som krävts för att framställa de ytmodeller som efterfrågats.



Bild 1. Område "urban" i München från EuroSDR-studien. Området är platt men med byggnader upp till 50 meters höjd.

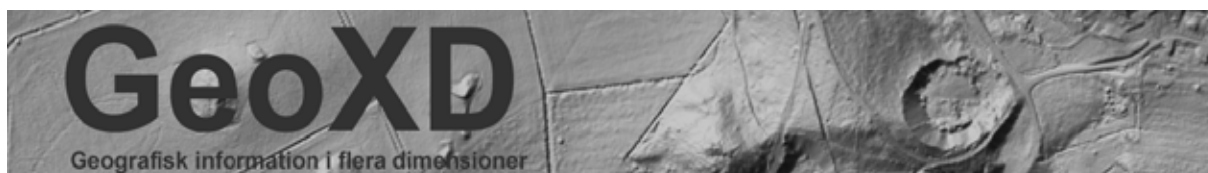


Bild 2. Område "semi-rural" i Vaihingen/Enz från EuroSDR-studien med 200 meters höjdvariation från dalgången till de mer höglänta områdena.

De bearbetningstider som redovisats från organisationerna visar på mycket stora skillnader. Ett skäl till detta är att man använt olika potenta datorer. Ytterligare ett skäl är att man inte i alla fall valt att bearbeta alla möjliga kombinationer av stereopar över ett område utan nöjt sig med ett. Motiven till detta varierar. I vissa fall har man angett problem med skuggor i skilda riktningar från de olika stråken. I andra fall är det programmets möjlighet att bearbeta fler än ett stereopar över ett område, t.ex. Match-T.

Ursprungligen var tanken att utvärdera de till projektet levererade bildmatchade ytmodellerna relativt en ytmodell framställd från laserskannade data. Laserskanning och bildregistrering i testområdet Vaihingen/Enz gjordes med 4 veckors mellanrum. Man noterade att planteringar växt upp och att man i vissa områden plöjt marken vilket resulterade i påtagliga höjdskillnader som inte kunde relateras till insamlingstekniken. Med de naturliga skillnader som finns mellan punktmoln framställda ur bildmatchning och laserskanning så valde man att, istället för att använda laserdata som referens, beräkna en "medianytmodell" för alla de inkomna bidragen som referens. På så sätt undviker man skillnader i registreringarnas geometrier samtidigt som man också eliminerar sensorernas speciella egenskaper. Laserdata penetrerar t.ex. vegetation mycket bättre än vad som är möjligt att åstadkomma med bildmatchning. Bildmatchning å andra sidan genererar ett mycket tätare punktmoln. Använder man varje pixel i matchningen för 10 cm pixlar blir det 100 pkt/ m² att jämföra med laserskanningen i München där punkttätheten var 4 pkt/ m².

I bild 3 visas avvikelser mellan bearbetning i programmen Match-T och SURE och den "medianytmodell" som framställts i EuroSDR-projektet. SURE och Match-T är de program som kommer testas i denna förstudie och rapport vilket gör bilderna extra intressanta. Match-T används redan inom Lantmäteriet. SURE är en programvara som bl.a. nyttjas vid SLU i Umeå för studier kring punktmoln från bildmatchning för skogliga applikationer. Överlag likvärdiga resultat och små avvikelser, gul/grönt, men i den skarpa lutningen ner mot dalgången är det ett blått stråk i Match-T vilket indikerar stora avvikelser. Blått innebär att den testade DSMen är högre än Median-DSM, gult/orange att den är lägre.

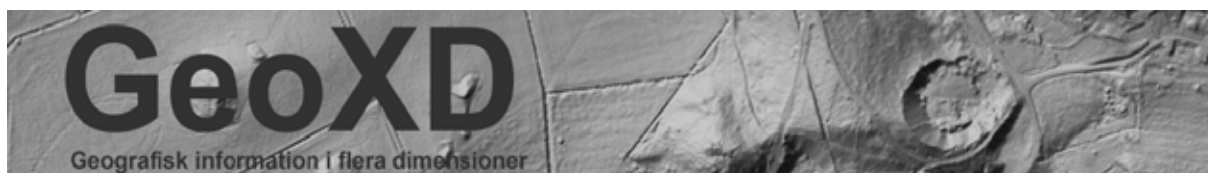


Bild 3. Ett utsnitt ur jämförelsen i Vaihingen/Enz. Till vänster resultatet från Match-T och till höger SURE. Färgskalan redovisar skillnader mellan $<-2\text{m}$ $>2\text{m}$.

Förutom dessa yttäckande redovisningar där man jämfört respektive organisations resultat med den median-DSM som beräknats ur allas resultat har det även skapats profiler i vissa extra intressant områden. Ett av dessa områden är beläget i den östra, högra, delen av bild 3. Den heldragna gröna linjen, SocetSet, innehåller t.ex. ett stort antal punkter med icke-data, bild 4. Man har inte lyckats matcha bildernas skuggiga partier. UltraMap som fått möjlighet att använda 16 bitars bilddjup, istället för de 8 som övriga organisationer bearbetat, har som det tycks lyckats matcha även i de skuggiga partierna.

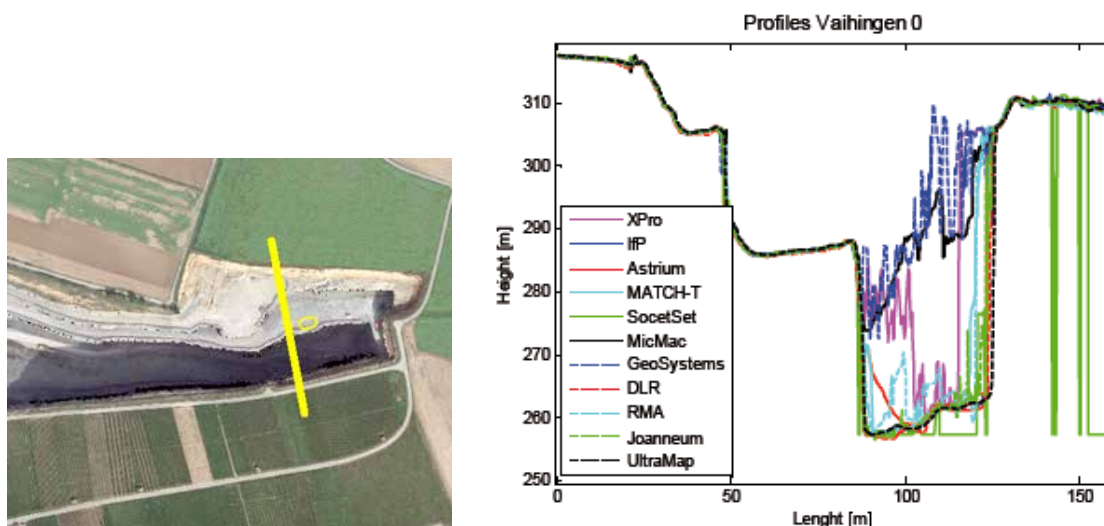


Bild 4. Profilen visar stora variationer mellan organisationernas/programmets resultat.

I den urbana miljön är det vid sidan om skuggade partier även områden som inte täcks av bilddata p.g.a. att byggnaderna är så höga som de är. Liknande jämförelser som i Vaihingen/Enz har gjorts i München. Ytmodellernas skillnader redovisas dels med motsvarande skillnadsbilder som i bild 3 dels med profiler i speciellt känsliga positioner. I bild 5 och profilen bild 6 syns det tydligt att det är problem med skuggiga, skymda, områden i Match-T som avviker påtagligt från övriga resultat.

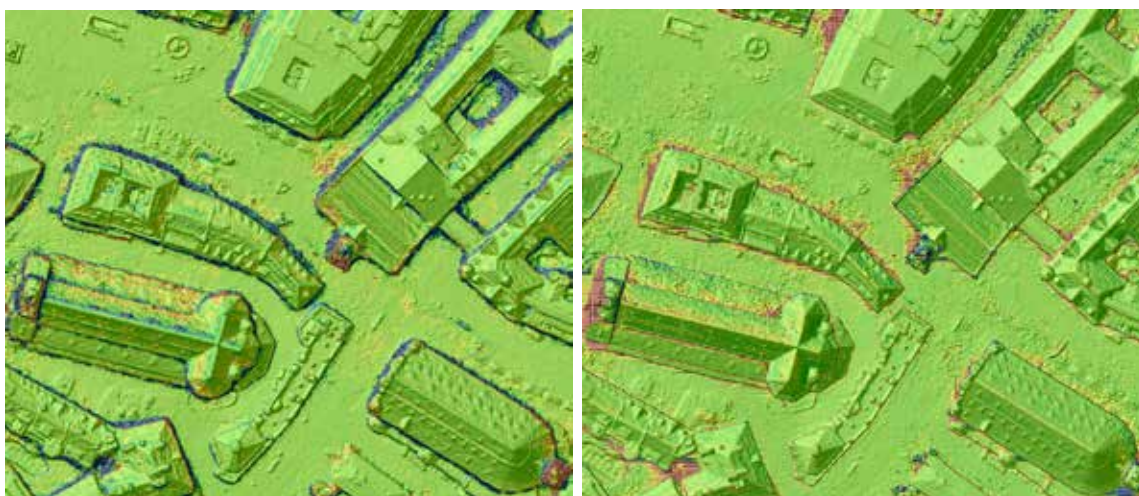
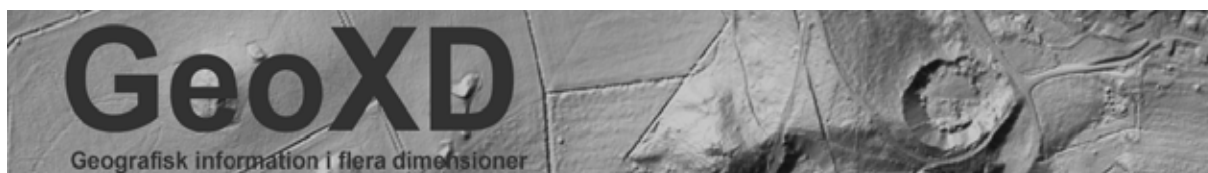


Bild 5. Ett utsnitt ur jämförelsen i München. Till vänster resultatet från Match-T och till höger SURE. Färgskalan redovisar skillnader mellan $<-2m$  $>2m$.

I den urbana miljön redovisas inte resultat från två av organisationerna. SocetSet avvek alltför mycket för att inkluderas i beräkningen av en median-DSM. Av den anledningen har den även exkluderats från redovisningen i övrigt. UltraMap kan bara hantera bilder från UltraCam. Bilderna över München är registrerade med en DMC II kamera vilket innebär – inget bidrag från UltraMap.

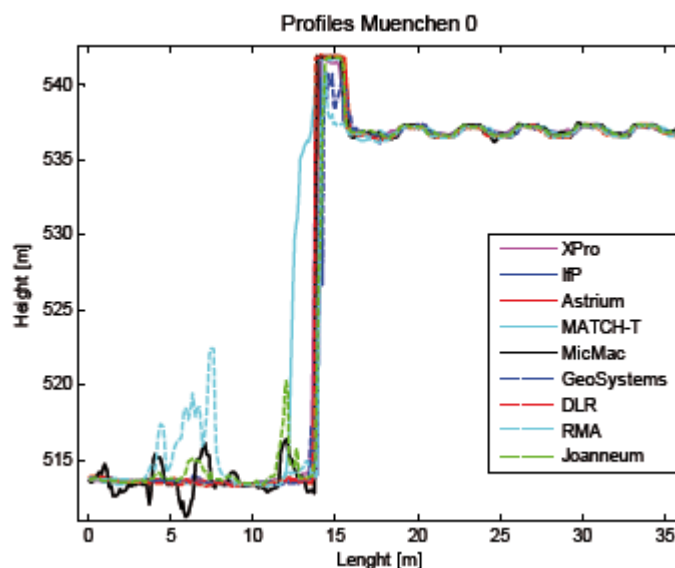
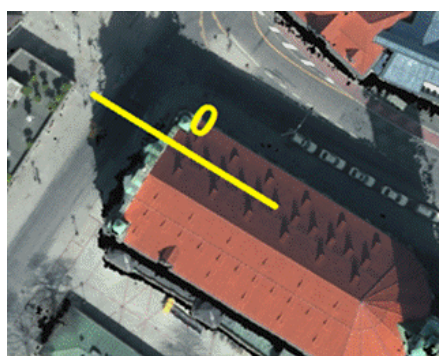
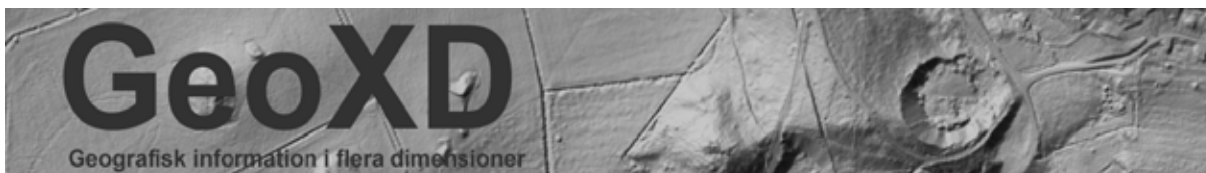


Bild 6. Profiler från en byggnads tak ner till gatunivå. Match-T skiljer sig från de övriga med en "mjukare" övergång.

Sammanfattningsvis nämner man ett antal faktorer att beakta

- Förtjänster med stort antal övertäckande bilder. Det reducerar risken för felaktig matchning.



- Bearbetningstiden är "acceptabel" för grid 10-20 cm men skiljer sig ändå påtagligt mellan organisationerna.
- Där det finns fina strukturer skiljer sig resultatet påtagligt mellan programmen.
- Områden med skuggor, eller än värre icke-data, skapar problem vid matchningen. Eventuellt kan framtida användning av högre radiometrisk upplösning förbättra matchningen i de skuggiga partierna.
- Målet var inte att rangordna organisationerna/programmen utan snarare att inventera statusen för bildmatchning. Ett motiv till att inte ranka resultaten är att det sker en ständig utveckling av såväl bilddata som program och datorer.

3.2 Lantmäteriet

Inom Lantmäteriet (Ekholm, A., Ågren, H., Pettersson, M., Berg, A., Norin, M., 2014) har man genomfört ett antal tester och dessutom har man sammanställt information kring programvaror för matchning och visualisering samt format för lagring av punktmoln.

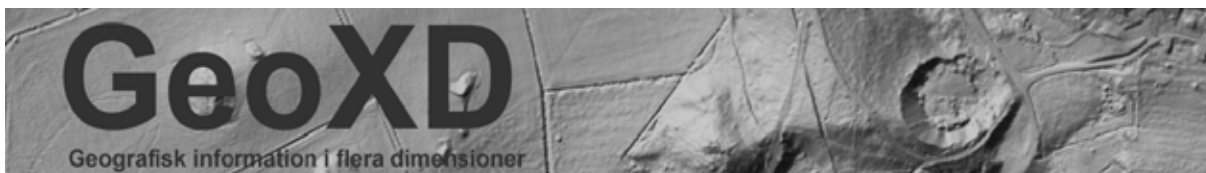
3.3 Övriga intressenter

Sammanfattningsvis kan nämnas att intresset för punktmoln genererade från bilddata är stort. Skogliga aktörer ser främst möjligheter till bestämning av trädhöjd, krontak, volym och täthet. Eventuellt kan data användas för bestämning av ett antal ytterligare skogliga parametrar.

Bildinformation är också intressant om den kan kopplas till respektive punkt i punktmolnet. Bildinformation, RGB, ger bra support vid tolkning av bl.a. trädslag och byggnader. Som komplement till RGB är NIR av intresse trots att det inte används för matchning och kräver i så fall en kompletterande körning för att inkluderas i punktmolnets format.

För att man inte skall gå miste om den information som finns i bilderna önskar man ett så komplett punktmoln som möjligt - det vill säga all data.

Viktigt är att punkterna kvalitetsmärks så att man vid fortsatt bearbetning av punktmolnet kan exkludera punkter med låg matchningskvalitet.



4 Tekniska förutsättningar

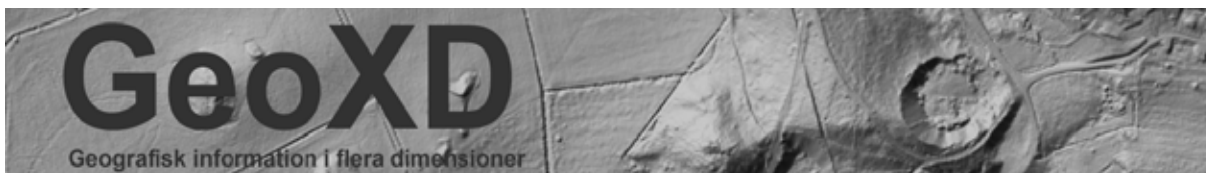
4.1 Dator

Dator: HP Z820
OS: Windows 7 64-bit
Processor: 2x Intel Xeon E5-2690 @2.9GHz(3.8GHz Turbo Boost)
(2x8 Cores + hyperthreads= 32 threads total)
RAM: 32 GB
Grafik: NVIDIA Quadro4000
Hårddisk: 280GB HD system
5 TB RAID5 (Intel C600 SATA RAID + 4*1.9 GB Hitachi HDS72302)

4.2 Matchningsprogram

Historiken kring bildmatchning går tillbaka till tidigt 1980-tal. Area Based Matching - ABM, ytbaserad matchning, som tidigt användes skapar ett litet fönster, bild, kring den punkt som skall matchas i referensbilden. Programmet söker sedan motsvarande fönster i övriga bilder, stereopar, som täcker samma område. Tekniken kräver relativt mycket datorkraft och tar därför lång tid. Dessutom är risken relativt stor för felaktig matchning. Beräkningstiden minskade med introduktionen av egenskapsbaserade matchning, Feature Based Matching – FBM. Tekniken utvecklades av (Förstner, 1986) och söker tydliga punkter i bildpar som kan matchas mot varandra. Matchning utmed "epipolarlinjer" kring de tydliga punkterna skapar snabbare och mer robusta beräkningar tack vare att sökningen begränsas till linjer istället för ytor som i ABM. Bildpyramider skapas i både ABM och FBM för att förbättra matchningen och minska beräkningstiden. Man introducerar även utjämning, istället för interpolation för att på så sätt detektera dålig matchning, m.a.o. undvika grova fel. Man visade också tidigt att det finns stora förtjänster med att använda flera bilder än två för att skapa robusta utjämningar och effektiv bestämning av bra startvärden för matchningen.

Som tidigare nämnts har utvecklingen av datorers prestanda och digitala bildsensorer tillsammans skapat helt nya förutsättningar för vidareutveckling av tidigare väl etablerade matchningstekniker. Semi Global Matching, SGM, som formulerades av (Hirschmüller, 2008) har implementerats i SURE som är ett av de program som utvärderas i den här studien. Flera av de program som testats av EuroSDR baseras på implementationer som innehåller "dialekter" av denna metod. En av dessa är Cost Based Matching, CBM. Enligt Inpho liknar Cost Based Matching SGM och kompletterar ABM och FBM som sedan lång tid används i Match-T, det andra programmet som valts ut för studien. Båda teknikerna kan hantera traditionella bildpar, stereomodeller, men resultaten blir mer tillförlitliga med ökat antal bilder över samma område/objekt. SGM är optimerad för att hantera ett stort antal bilder över samma område och har sitt ursprung inom Computer Vision. Metoden är optimerad för 8-bitars bilder. Istället för att, som vanligt är, matchningen sker inom ett fönster som jämförs i ett bildpar så skapas underlag för matchningen utmed linjer i 8 olika riktningar från den punkt som skall bestämmas. Bland förtjänsterna med att matcha utmed linjer istället för med ytor är att man minimerar problem som kan uppstå av geometriska skillnader. Som underlag för matchningen och för att minska influensen av radiometrisk skillnad mellan bilderna så beräknas för varje pixel en "kostnad" som bland annat beskriver avvikelser i intensitet relativt närliggande pixlar. För att minimera risken för felaktig matchning, pixelvis information är otillräcklig, summeras kostnaderna för dessa åtta linjer och lagras i en separat "Disparity image - avvikelsebild". Det går att "återanvända" avvikelsebilden för



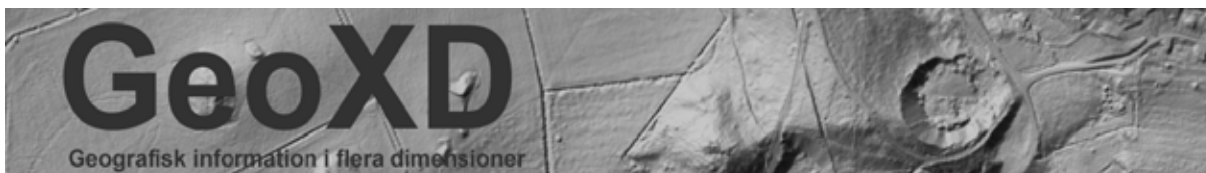
de bilder som skall matchas men bäst resultat får man om även övriga bilder genomgår samma kostnadsberäkning och att resultatet även för dessa lagras i separata bilder. Matchningen sker därefter parvis mellan Avvikelsebild 1 och Avvikelsebild n, där n representerar de bilder som skall matchas mot bild 1. Resultaten vägs sedan ihop till en slutgiltig matchning där alla tillgängliga bilder nyttjas. (Ett enkelt försök till tolkning av en komplex teknik.) Metoden sägs tack vare kostnadsberäkningen också vara robust och tämligen okänslig för varierande förutsättningar vilket är tilltalande vid en rikstäckande produktion.

4.2.1 SURE

Photogrammetric Surface Reconstruction from Imagery, SURE, är en programvara som ursprungligen utvecklats vid universitetet i Stuttgart och därefter har ett bolag nFrames skapats för vidareutveckling. Programmet hanterar bilder från "multi-view stereo" för framställning av matchade punktmoln. Multi-view indikerar tydligt att man avser att använda ett stort antal bilder från olika positioner för att få en så heltäckande registrering av ett objekt som möjligt. Användningsområden finns dels inom terrester fotogrammetri dels inom flygburen fotogrammetri. Snedbildsfotografering från låg höjd genererar ofta, likt terrester fotografering, ett stort antal bilder över samma område/objekt. Flygbilder som registrerats på det sätt Lantmäteriet fotograferar för den rikstäckande ajourhållningen är vare sig snedbilder eller med ett stort antal bilder över samma områden. De förutsättningar som ges när övertäckningen är 60% inom stråk och 30% mellan stråken är att kartering kan ske i en stereomodell plus att ytterligare små områden täcks av fler än två bilder. Formuleringen i SURE utgår från att man använder fler än två bilder för att matchningen skall bli överbestämd och med det mer robust. Matchningen i SURE baseras på Semi Global Matching. Programmet kan köras från Kommandotolken via kommandon eller från ett nyetablerat grafiskt gränssnitt, GUI.

SURE består av ett antal moduler som exekveras i sekventiell ordning.

- **Analysis:** Inledningsvis görs en analys av bildernas konfiguration. Övertäckning mellan alla möjliga kombinationer av stereopar beräknas. Är övertäckningen mindre än ett förutbestämt tröskelvärde väljs det bildparet bort som en möjlig kombination. Momentet innehåller också en analys av matchningsbara strukturer och är speciellt användbart när det är ett stort antal bilder som täcker samma område som vid snedbilder och terrester fotografering. Så är dock inte fallet för Lantmäteriets nationella fotografering så det är snarare en risk att det på "felaktiga grunder" tas bort bildpar som skall finnas med i matchningen.
- **Dense Cloud:** Matchning av de bilder som valts och accepterats som "matchningsbara" stereopar. Resultatet är ett oregelbundet punktmoln med, standardparameter, full upplösning från bilderna. I resultatet "3D_Points" finns det hål i data i bl.a. skydda områden och där det är svårt att matcha i brist på tydliga strukturer. I de fall det finns flera modeller över ett område så finns alla punkter från dessa med i resultatet.
- **DSM:** Framställning av DSM:er och framförallt ytterligare bearbetning av punktdata. Rekommendationen är att man vid beräkning använder 2*bildernas markupplösning, d.v.s. för 25 cm bilder rekommenderas med andra ord 50 cm upplösning. Motivet är att det skall finnas underlag för att eliminera grova fel. Biblioteket *Cloud* innehåller punktmolnet omräknat till ett regelbundet rutnät. Det sker också interpolation mellan



de punkter som ligger nära tile-kanterna för att minimera de kanteffekter som kan ha uppstått vid bearbetning i tiler. Vid tile-interpolationen exkluderas även de punkter som inte anses som relevanta att representera en cell. Antingen kan man välja att behålla den lägsta punkten i cellen eller att beräkna värdet med en viktsfunktion som beskrivs som Inverse Weighted Distance (IWD). Resultatet redovisas i biblioteket *Cloud_Interpolated*. Olyckligtvis för Lantmäteriets ambition - att kunna redovisa vilka celler som inte innehåller matchade data - så innebär interpolationen även att hål överbryggas. Motivet är sannolikt att man i nästa steg skall framställa sanna ortofoton och då vill ha en heltäckande ytmodell som grund för beräkningen. I biblioteket *Cloud_Refined* finns det punktmoln med nya färger som bestämts från nya ortofoton från ytmodeller som beräknats från *Cloud_Interpolated*.

- Cloud Filter: Används uteslutande för terrester fotogrammetri och vid många övertäckande snedbilder från flyg.
- Mesh: Detsamma som för Cloud Filter.

Följande version(er) i programvaran från nFrames/lfp har använts vid testerna.

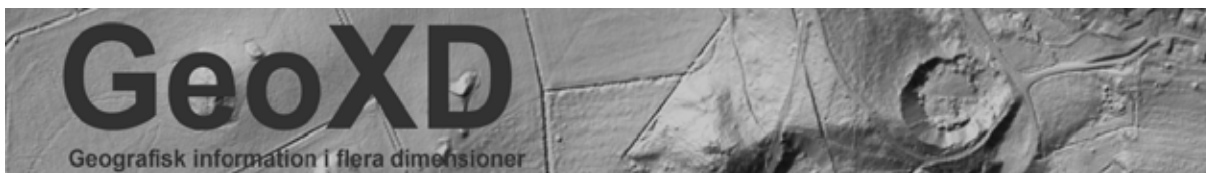
- SURE Technology version 1.2.0.135, 1.2.0.384, 1.2.0.395

4.2.2 Match-T

Till skillnad från det relativt nya programmet SURE introducerades Match-T på marknaden redan i slutet av förra seklet - 1991. Inledningsvis användes programmet för framställning av DTMer som matchats från olika bildgeometrier bl.a. satellitbilder, skannade flygbilder och linjeskannars som i Leicas kmerasensorer. Programmet innehåller moduler för tidigare generationers matchningstekniker, ABM och FBM, och har vidareutvecklats för att anpassas till ständigt förbättrade förutsättningar. Den senaste implementationen är Cost Based Matching, CBM, som enligt Inpho liknar SGM. På de inledande nivåerna matchar man standardmässigt var tredje pixel men det är möjligt att styra processen till att matcha varje eller varannan pixel också. Programmet matchar endast ett stereopar per vald cellstorlek, pixel. Man har dock visat förtjänsterna med ett större antal övertäckande bilder vad gäller noggrannhet, tillförlitlighet och fullständighet. I EuroSDR projektet har man använt ett fristående program som slår samman resultaten från ett antal modeller över samma område och beräknar ett gemensamt bästa alternativ.

Likt SURE består Match-T av ett antal process-steg (moduler) som kortfattat beskrivs nedan.

- Match-T till skillnad från SURE startar från en mycket förenklad ytmodell. Ett antal alternativ att skapa den enkla ytmodellen finns. Antingen från de stödpunkter som finns i prj-filen från blocktrianguleringen i Match-AT, från begränsningslinjer som dxf med höjd eller med en redan existerande höjd/ytmodell. Relevanta startvärden för matchning har alltid varit ett problem vid traditionell bildmatchning av bildpar.
- Rekommendationen är att matchningen sker stråkvis för att om möjligt begränsa skillnader mellan bildparen, skuggor o.d.. Matchningen sker i olika nivåer, upplösningar, som pyramider. Från en nivå till en annan ökar storleken med en faktor 2. På den första nivån används egenskapsbaserad matchning – FBM. Programmet



söker signifikanta egenskaper som finns i båda bilderna och matchar dessa.

Resultatet är ett oregelbundet nät av punkter. För varje ny nivå bestäms nya signifikanta punkter. Hittar Match-T inte någon relevant matchning byter man strategi och använder istället ytbaserad matchning i form av LSM Least-Square-Matching. LSM tar längre tid men har bättre förmåga att överbrygga områden i bilderna med liten eller ingen struktur, t.ex. snö och moln.

- För de tre sista nivåerna i pyramiden används Cost Based Matching, CBM, som är den i Match-T implementerade varianten av Semi Global Matching. Matchningen sker per pixel, d.v.s. med maximal upplösning för respektive pyramidnivå. Resultatet från den sista nivån är ett, i stort sett, regelbundet nät med en upplösning som motsvarar $n \cdot \text{bildens upplösning}$ där n kan varieras mellan 1 och 5. "I stort sett" beror på att man matchar relativt bildens pixlar och eftersom skalan i bilderna, pixlarnas upplösning på marken, varierar från mitten ut mot kanterna varierar också rutnätet av punkter något. Rekommendationen från programleverantören Inpho är att man skall använda 2 eller 3 gånger bildens upplösning för att erhålla ett så bra bearbetningsresultat som möjligt. Skälet är detsamma som för SURE att det behövs överbestämningar för att på ett kontrollerat sätt eliminera grova fel och det får man genom att inte använda full upplösning.
- Bland de extra rutiner som finns att tillgå kan nämnas att möjligheten att lägga till en rutin där man kan förändra parametrar för Gross Error Detection, med hjälp av Finita Element Metoder, d.v.s. påverka kriterierna för detektering av grova fel.

Följande versioner och moduler i programvaran från Trimble/Inpho har använts vid testerna.

- ApplicationsMaster version 6.1.2
- DTMaster version 6.1.2
- Match-T DSM version 6.1.2

4.3 Testdata

Flygbilder från UCE och DMC kamera med ungefärlig geometrisk upplösning på 0,24m och 0,48m i markens koordinatsystem.

Referensmaterial i form av laserdata och markmodell från Nationella höjdmodellen över samma områden som aktuella bilder.

4.3.1 Bilddata

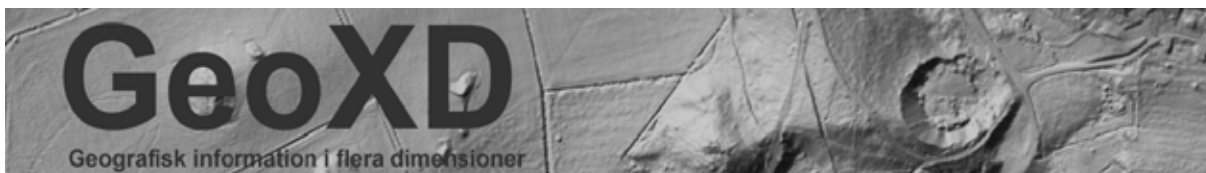
Trianguleringen av bildmaterialet har genomförts i Lantmäteriets regi. Det är möjligt att skillnader mellan laserdata NH och bildernas geometrier blir synliga i dessa tester. För att begränsa sådana eventuella effekter skall de metoder som tas fram för utvärdering i projektet i möjligaste mån ta hänsyn till sensorernas olikheter. Vid sidan om det är det alltid av stor vikt med väl kontrollerad och dokumenterad geometri.

4.3.1.1 Skutskär, UCE

Kamera: UCE

Datum: 2015-04-26

Flyghöjd: 3700 meter



Markupplösning: 24 cm
Spektralband: PAN, RGB, IR
Antal stråk: 4
Antal bilder: $11+11+10+10=42$

Ortofoto med markupplösning 25 cm har producerats från ovanstående pankromatiska bilder och används bl.a. som bakgrundsinformation i olika redovisningar i den här rapporten.

4.3.1.2 Tjörn, UCE

Kamera: UCE
Datum: 2014-04-04
Flyghöjd: 3700 meter
Markupplösning: 24 cm
Spektralband: RGB
Antal stråk: 2
Antal bilder: $7+7=14$

4.3.1.3 Skutskär, DMC

Kamera: DMC
Datum: 2013-05-08, 2013-05-16
Flyghöjd: 4800 meter
Markupplösning: 48 cm
Spektralband: PAN, RGB
Antal stråk: 3
Antal bilder: $10+10+10=30$

4.3.2 Laserdata

Laserdata från den Nationella Höjdmodellen, NH, har bl.a. använts som referens vid utvärdering av matchningsresultat.

4.3.2.1 Skutskär

Datum: 2010-06-22, 2010-06-23, 2011-09-27
Flyghöjd: ca 2300 meter
Täthet: ca 0.5 pkt/kvm
LAS-format: 1.2
Antal 2.5 km* 2.5 km-rutor: 51 st.

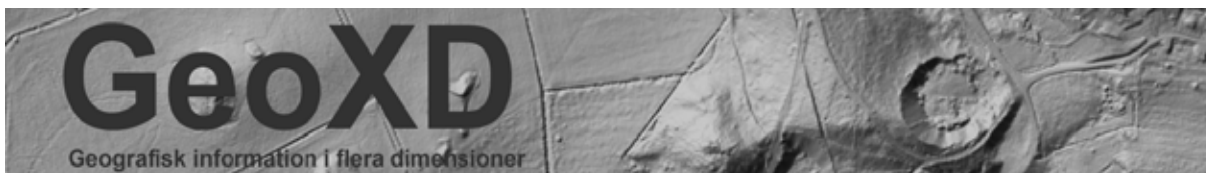
4.3.2.2 Tjörn

Datum: 2011-06-01 - 2011-06-03
Flyghöjd: ca 2300 meter
Täthet: ca 0.5 pkt/kvm
LAS-format: 1.2
Antal 2.5 km* 2.5 km-rutor: 20 st.

4.3.3 Vektordata

4.3.3.1 Skutskär

Typ: Fastighetskartan – Topografi
Format: Shape



4.3.3.2 Tjörn

Typ: Fastighetskartan – Topografi

Format: Shape

4.3.4 Referensdata

Att jämföra data med olika egenskaper skapar ofta speciella problem. I det aktuella fallet är det tänkt att använda stereomätta profiler och laserdata som referens för att bestämma olika kvalitetsmått och även för visuell jämförelse. Punkttätheten för NH-laserdata är mycket lägre än den som kommer produceras från bildmatchningen. Vid profilmätning i stereo väljer man brytpunkter i plan och höjd där objektet förändrar riktning/lutning vilket även i detta fall skapar referensdata med färre punkter än vad som är resultatet från bildmatchningen. Eftersom de punkter som genereras från bildmatchningen inte har sina exakta motsvarigheter i vare sig laserdata eller de mätta profilerna krävs att man interpolerar fram ett värde för bildmatchningens position i de andra dataseten.

4.3.4.1 Profiler

Inalles 50 profiler har mätts i stereo, 10 stycken per kategori. Profilerna är tänkta att så väl som möjligt följa terrängen och objektens position i plan och höjd. I bild 7 visas de profiler som mätts i stereo. De olika färgerna representerar

Gul: Byggnader

Ljus grön: Gles skog

Mörk grön: Tät skog

Violett: Öppen mark

Blå: Strandlinje

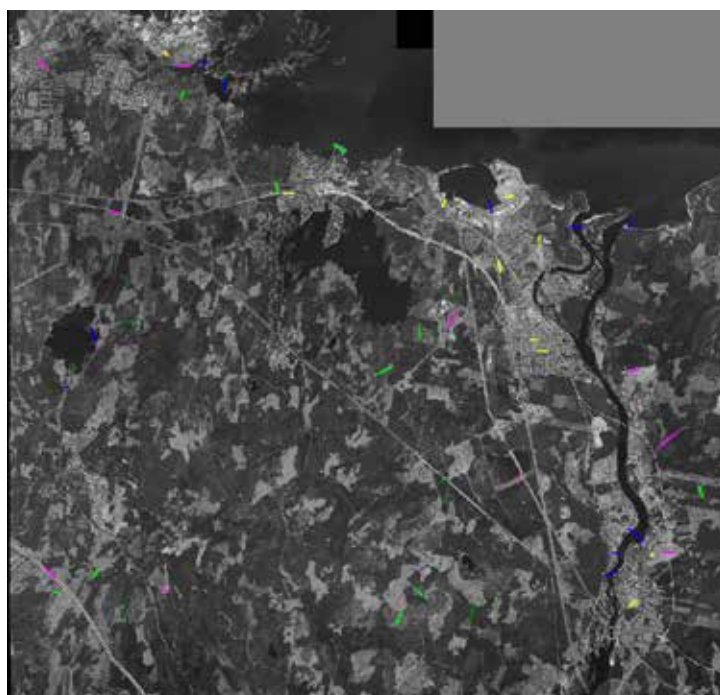


Bild 7. Översikt över alla profiler inom testområdet Skutskär.

Framförallt i de kategorier som beskriver olika täthet av skog är det naturligtvis mycket svårt att registrera all vegetation "korrekt". Det finns i vilket fall som helst referensmätningar som kan användas som underlag för visuell bedömning. I bild 8 visas en profil som mätts utmed en mindre väg.

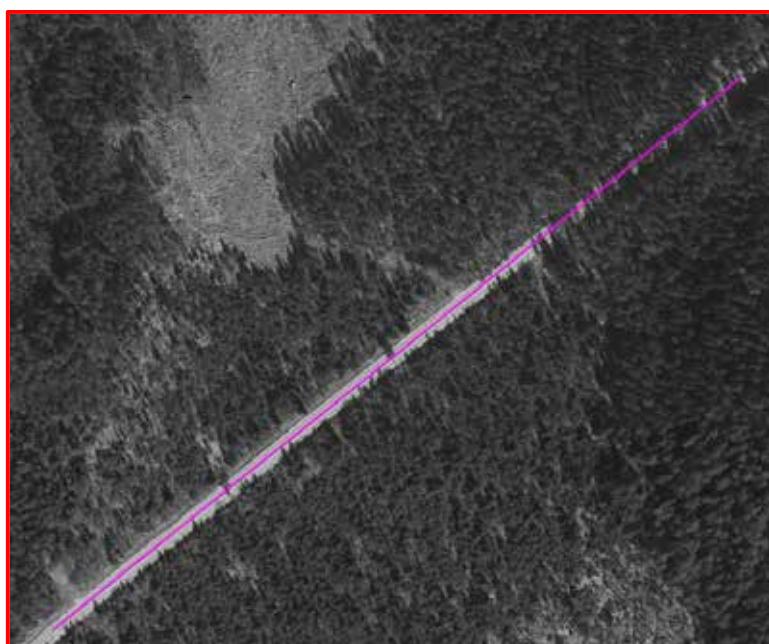
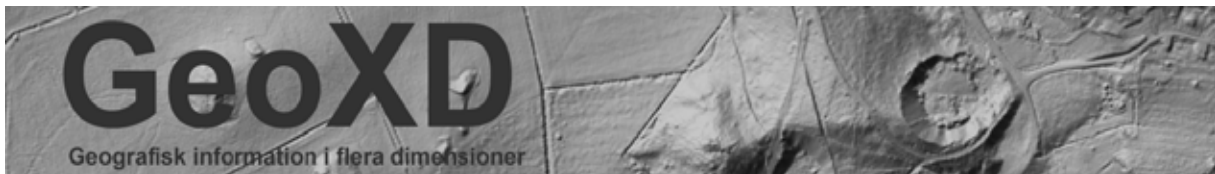


Bild 8. Profil som mätts utmed en mindre väg. I vissa stycken skymd i bilden vilket resulterar i sämre bildmatchning.



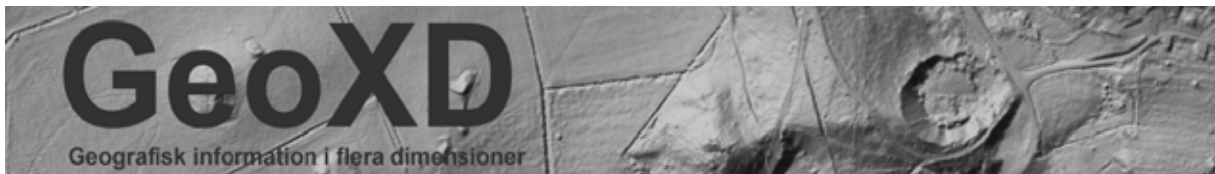
4.3.4.2 Höjdmodeller och ytmodeller

Höjdmodeller och ytmodeller från NH laserdata används som referens för analys av bl.a. grova fel och lägesosäkerhet i höjd över större områden. Modellerna framställs med motsvarande upplösning som de punktmolnsdata som skall analyseras. Man har på så sätt skapat förutsättningar för att jämföra modellerna från NH med punktmolnen punkt för punkt. Det blir bearbetningstekniskt effektivt samtidigt som det skapar bra förutsättningar för att framställa färgsatta bilder som resultat av analysen.

4.4 GeoXD_TGIS

GeoXDs egenutvecklade programvara baseras på TatukGIS utvecklingsmiljö. Programmet innehåller bl.a. rutiner för bearbetning av laserdata

- Transformation
- Markfiltrering
- Klassificering
- Editering av terräng
- Editering av broar
- Editering av vattenytor
- Höjdmodeller
- Bildprodukter
- Kvalitetsbeskrivningar
- Simulering av olika täthet på laserdata
- Dokumentation av "hål" och grova fel.



5 Metodbeskrivning

Egenskaper hos punktmoln framställda ur bilddata skiljer sig i flera stycken från punktmoln från laserdata. Registreras bild- och laserdata vid skilda tillfällen uppstår skillnader mellan punktmolnen på grund av avvikelser i tid. I EuroSDRs studie – Benchmark on Image Matching - har man som referens istället för laserdata valt att använda ett medianvärde som beräknats ur resultatet från de deltagande organisationernas bildmatchade bidrag till studien. Kvalitetskontrollen av respektive organisations bidrag har därefter gjorts relativt detta beräknade medianvärde. Förtjänsten med ett sådant förfarande är bl.a. att man eliminerar de geometriska skillnader som alltid finns mellan data registrerade med olika sensorer och dessutom vid skilda tidpunkter. Negativt är att man inte får en jämförelse med ett "sant" värde. Den komplikationen hanteras med att även jämföra med laserdata som registrerats i närtid relativt de bilddata som används för studien.

För att nyttja de erfarenheter man dragit inom EuroSDR har GeoXD tillsammans med Lantmäteriet definierat ett antal kategorier och för dessa skapat profiler som kommer att användas för kvalitetsbeskrivning och visuell analys. Tätt skog, gles skog, byggnader, öppen mark och strandlinje är de kategorier som definierats. För varje kategori har 10 profiler mätts i stereo av Lantmäteriets personal.

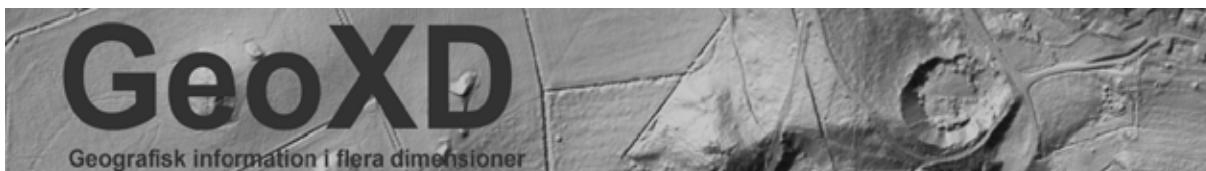
Gemensamt med Lantmäteriet har beslutats att börja med bilder från den nya UCE-kameran med 25 cm upplösning eftersom hela södra Sverige och Norrlands kustland flygfotograferas på detta sätt med två års intervaller. För dessa bilder optimeras parametersättningen för programmen Match-T och SURE. Dokumentation i form av kvalitetsbeskrivning och underlag för visuell analys skapas för alla definierade profiler.

När parametrar testats och optimerats för 25 cm bilderna följer tester av olika punkttätheter. Programmen definierar tätheten på olika sätt så för att få en så god överensstämmelse som möjligt vid testerna så beskrivs önskemålen som markupplösning i cm.

1 pkt/pixel: 25 cm
1 pkt/m²: 100 cm
1 pkt/2m²: 141 cm
1 pkt/4m²: 200 cm

Som referens används även i detta fall de i stereo karterade profilerna för olika kategorier. Eftersom framställningen av punktmolnen är en tidsödande process och det finns mer i data att analysera så har det gemensamt med Lantmäteriet beslutats att begränsa det fortsatta arbetet till ett av dessa alternativ. Förhoppningen är att de kvalitetsmått som beräknas utmed profilerna kan fungera som indikation på vilken lägesosäkerhet man kan förvänta sig i höjd för de olika kategorierna. Bilder som visar de digitaliserade profilerna tillsammans med bildmatchade punkter ger sannolikt, vid sidan om kvalitetsmåtten, en ytterligare förståelse för hur kvaliteten påverkas vid olika täthet.

Fullständigheten i matchade data kontrolleras genom att lagra punkterna i en ytmodell där celler med icke-data markeras med en speciell kod. Eftersom det är känt att matchning av vattenområden inte är speciellt framgångsrikt så exkluderas vatten vid bestämning av fullständigheten i data. Programmets olika matchningstekniker söker robusta lösningar på skilda sätt. Ofta begränsar man icke relevanta matchningar, som kan resultera i grova fel, genom att betrakta fler än ett bildelement åt gången. Vanligast är att det är olika stora ytor eller linjer som ligger till grund för matchningen av



punkterna. Av den anledningen kan det ibland se ut som att en matchning har hög fullständighet men när man betraktar resultatet närmare finns det områden som kan betraktas som grova fel och således istället för att finnas med i resultatet borde exkluderats tidigare. Det behövs således rutiner för bedömning av fullständighet och som samtidigt markerar de områden som kan betraktas som grova fel. I de tester som genomförts har en höjdmodell från NH använts som referens för detektering av grova fel där punktmolnet har för låga värden, d.v.s. punkterna ligger under markytan. I de fall punktmolnets data ligger mer än ett förutbestämt värde under markytan så markeras de i en bildfil som grova fel. En färgskala i fem nyanser visar hur stor avvikelser är relativt NH-modellen. Resultaten redovisas dels som tabellerad statistik dels som bilder med skilda färger beroende på avvikelsernas storlek.

För att få en så komplett uppfattning om hur bildernas egenskaper påverkar matchningsresultatet framställs punktmoln från bilder registrerade med Lantmäteriets nya och gamla kameror. Punktmoln framställs och analyseras från skilda våglängdsband, lägre upplösning och alternativ terrängtyp - Tjörn.

5.1 Kvalitetsbeskrivning

5.1.1 Punkttäthet

Om man följer programleverantörernas rekommendationer angående val av punkttäthet så finns det motiv att modifiera Lantmäteriets önskade tester av olika upplösning på det punktmoln som matchas fram. SUREs rekommendation är 2 ggr bildens markupplösning, Match-T, 2-3 ggr. Det har dessutom visat sig att programmen är formulerade på skilda sätt när man skall välja täthet. I SURE kan man välja täthet fritt medan man i Match-T är hänvisad till ett val mellan 1-5 gånger bildens markupplösning.

I studien har SUREs mer flexibla definition av upplösning anpassats så att den blir så lik Match-T som möjligt. På så vis har det skapats förutsättningar för jämförelser mellan resultaten från de olika programmen.

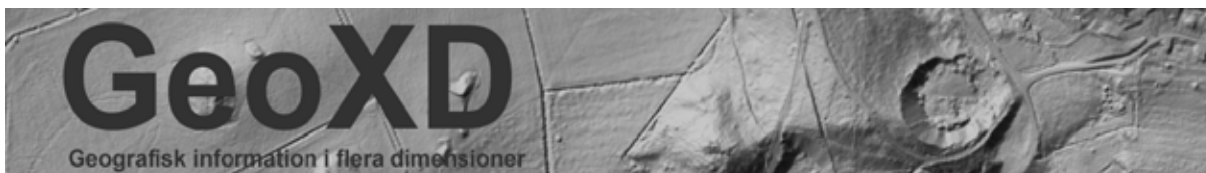
5.1.2 Fullständighet

Begreppet fullständighet används för att redovisa hur stor andel av de förväntat matchade pixlarna som man verkligen lyckats matcha och därmed också höjdsatt. Vattenytor är ett känt problem såväl vid laserskanning som vid matchning av bilder. Om vattnet är spegelblankt eller att det saknas tydliga strukturer kan man inte förvänta sig relevanta resultat i vattenområden. Av den anledningen redovisas vattenområden separat och fullständigheten beräknas endast för de pixlar som representerar icke-vatten, d.v.s. landarealen. I tabell 1 visas statistik för ett testområde i Skutskär.

Tabell 1. Fullständighet för SURE över testområdet i Skutskär med omgivning.

Kamera	Program	Water	Matched	NoMatch	Area (m ²)
UCE 2015, RGB	SURE	4.54%	87.23%	12.77%	111 375 000

Det finns även ett stort värde i att visa var matchningen av bilderna inte varit så framgångsrik. Naturligt är det i skog där de snabba variationerna i höjd mellan trädens krona och markytan kan vara så stor att punkterna betraktas som grova fel och med det automatiskt sorterats bort eller helt enkelt att det inte går att få till en bra matchning. Andra alternativ där matchning är svår eller omöjlig är skuggiga och skymda partier. Som kompletterande resultat till tabellen ovan skapas en bild som visar var det saknas matchade punkter. Bilden har endast tre färger - blått för vatten, rött för icke-matchat



och i övrigt gråa nyanser som visar bakgrundsbilden. Till vänster i bild 9 ser man exempel på bristande matchning kring byggnader. I den högra bilden ser man tydligt problemen som uppstår i skogbeklädda områden.

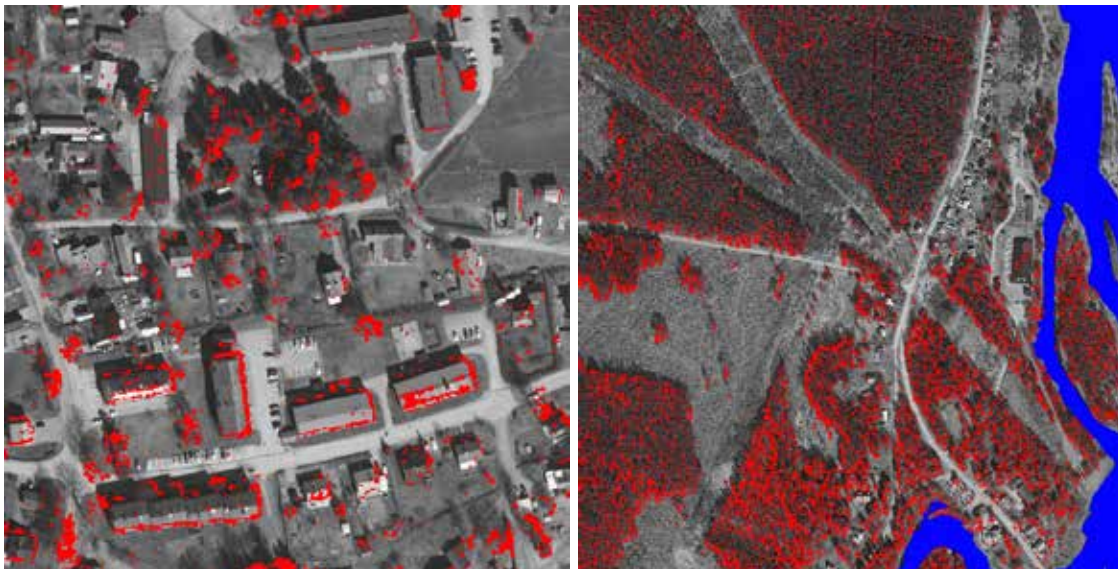


Bild 9. Matchningsproblem, röda punkter, urbant och områden med vegetation. Exemplet är hämtat från test av SURE kring Skutskär.

5.1.3 Lägesosäkerhet

I bild 10 visas resultatet från en jämförelse mellan den i bild 8 stereomätta profilen relativt NH laserdata från 2010 respektive bildmatchade punktdata. För att välja ut relevanta laserdata och matchade bilddata har en buffertzona på 50 cm kring profilen skapats. All punktdata inom den zonen har valts och använts för analysen. I den vänstra bilden syns en tydligt systematisk avvikelse i höjd – ca 50 cm. Orsak till avvikelsen står sannolikt att finna i "trianguleringen" av laserdata och/eller bilddata och är i så fall av global karaktär inom området. I den högra bilden, bildmatchade data, syns en tydlig brusighet och även påverkan av vegetation i den högra delen av profilen. Kvalitetsmått redovisas i varje bild för respektive av de 50 profilerna. Dessutom sammanställs mätdata för de olika kategorierna i en tabell, exempel visas i tabell 2.

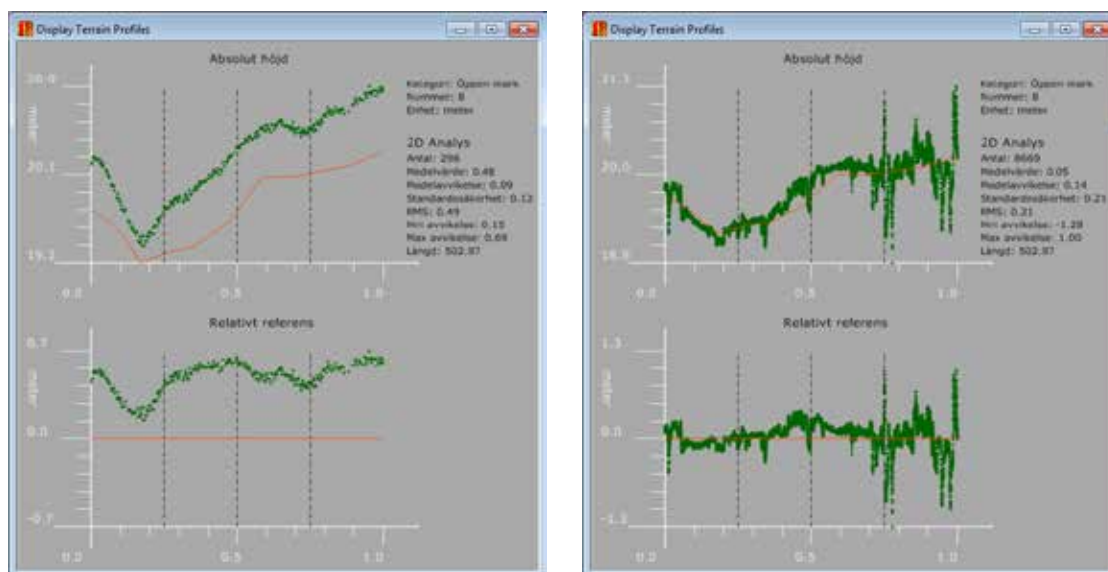
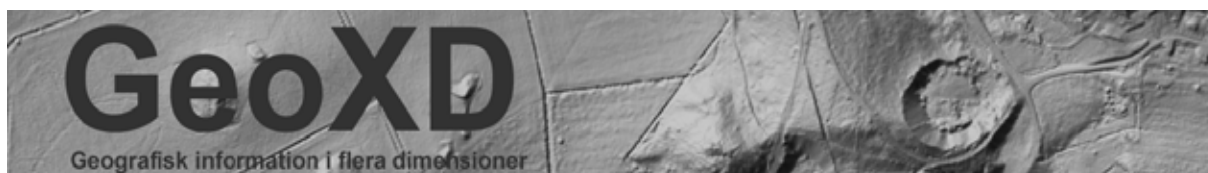


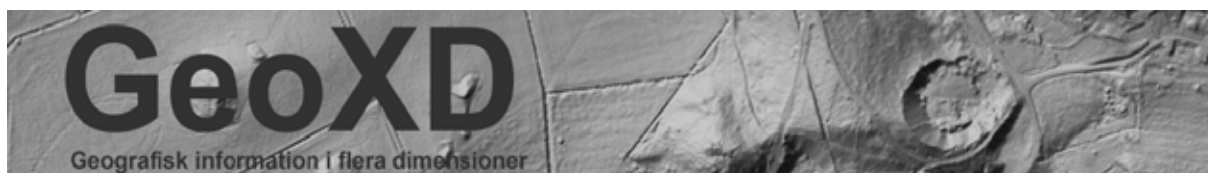
Bild 10. Jämförelse mellan den stereomätta profilen i bild 8, röd linje, och punkter från laserdata till vänster respektive bildmatchade punkter till höger.

Byggnader har redovisats på två skilda sätt Byggnader 2D respektive Byggnader 3D. Båda alternativen är kontroll av mätningar i tre dimensioner, d.v.s. höjden har kontrollerats i båda fallen. Men eftersom det ofta blir träffar på byggnaders fasader så är risken stor att om det finns små förskjutningar i planläge kan en träff på fasaden interpoleras utanför profilens fasad, d.v.s. relativt markytan. Det beskrivna fallet redovisas som Byggnad 2D eftersom man inte tagit hänsyn till annat än planläget vid bestämning av höjdskillnaden. I alternativet 3D har istället det närmaste avståndet till profilen bestämts och används som avvikelse. En träff på en fasad blir således registrerad som dess avstånd till fasaden istället för avståndet till marken. På så sätt minskas influensen av något avvikande plangeometri för byggnader som i övrigt är relativt distinkta objekt.

Tabell 2. Sammanställning av de 5 kategorier som karterats i stereo. Tabellen visar statistik för NH-data relativt dessa referensprofiler. Nedan visas standardosäkerheten för de olika kategorierna som stapeldiagram.

Data	NH2010						
Kategori	Medel	Medelavvikelse	Standardosäkerhet	RMS	Min	Max	Antal
Byggnader 2D	-0.178	0.584	1.304	1.315	-11.017	11.974	1749
Byggnader 3D	0.309	0.248	0.515	0.600	0.000	9.550	1749
Gles skog	-0.576	3.459	5.736	5.764	-21.166	22.603	2747
Tät skog	-4.660	5.314	7.106	8.497	-29.427	17.750	3549
Öppen mark	0.115	0.212	0.261	0.285	-1.194	0.865	2185
Strandlinje	-0.008	0.293	0.457	0.457	-3.220	3.493	705

I diagram 1 visas statistiken, standardosäkerhet, i de olika kategorierna för NH och bildmatchade data från Match-T. Att osäkerheten är större för skog i laserdata är naturligt eftersom en del laserskott når markytan. Punkterna från bildmatchningen



passerar inte vegetationen på samma sätt. Den stora skillnaden för strandlinjen beror på att vattenpunkterna inte klassats om i data från Match-T.

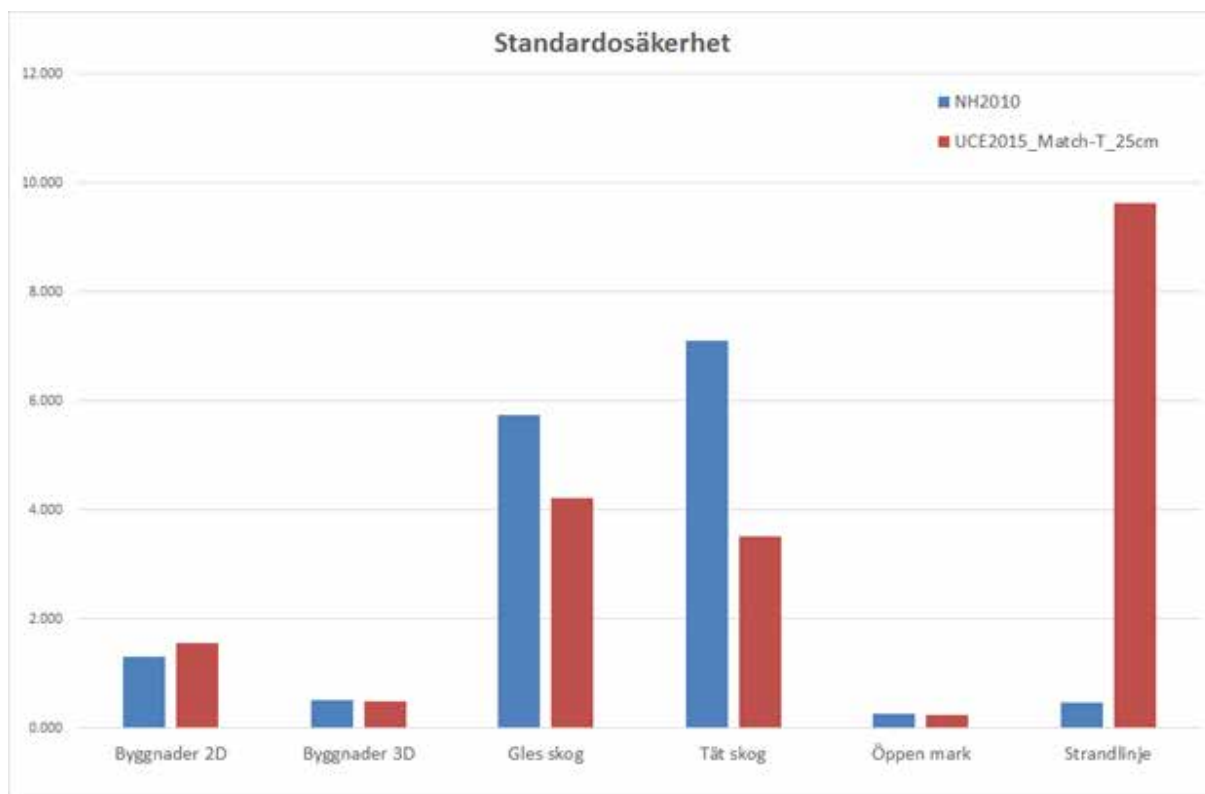


Diagram 1. Standardosäkerhet. Jämförelse mellan de profiler som mätts i stereobilder och laserdata respektive bildmatchade punkter. NH i blått och Match-T som röda staplar.

Det är inte möjligt att likt de i EuroSDRs studie visa avvikelser mellan en referens och de övriga alternativa bearbetningarna. I den studien användes ett medianvärde beräknat från alla bidragen som referens men i det här fallet finns endast bidrag från Match-T och SURE. Analysen är dock av stort intresse i och med att man kan lokalisera var skillnaderna finns mellan de olika metoderna. Vid jämförelsen i den här analysen används en ytmodell från NH som referens för både Match-T och SURE. Motivet att inte använda ett av resultaten från antingen Match-T eller SURE som referens och analysera den andra relativt den valda referensen är att matchningarna skiljer sig mycket åt och det är svårt att beskriva vilket av dataseten som avviker mest. Väljer man istället NH som referens är avvikelserna relativt en oberoende men tämligen känd och väldokumenterad källa. I bild 11 visas ett område där det tydligt syns att avverkning skett sedan laserdata registrerades. I röda områden är punktmolnet lägre än NH och i de gröna är NH lägre. Gul nyans visar områden där det inte skiljer mer än 1 meter mellan modellerna. Oftast är det i öppen terräng. Vid kanten mellan öppen mark och skog ser man ofta ett rött band av punkter sannolikt beroende på matchningens mjukare form som rundar av den tvära övergången mellan öppen mark och höga träd. Match-T är grönare i de skogliga partierna vilket innebär att data ligger högre ovanför NH-DSM. Sannolikt beror det på att programmet inte lyckas komma ner mellan träden. Bården vid skogens kant är också bredare vilket tyder på en än mjukare övergång mellan höga och låga objekt.

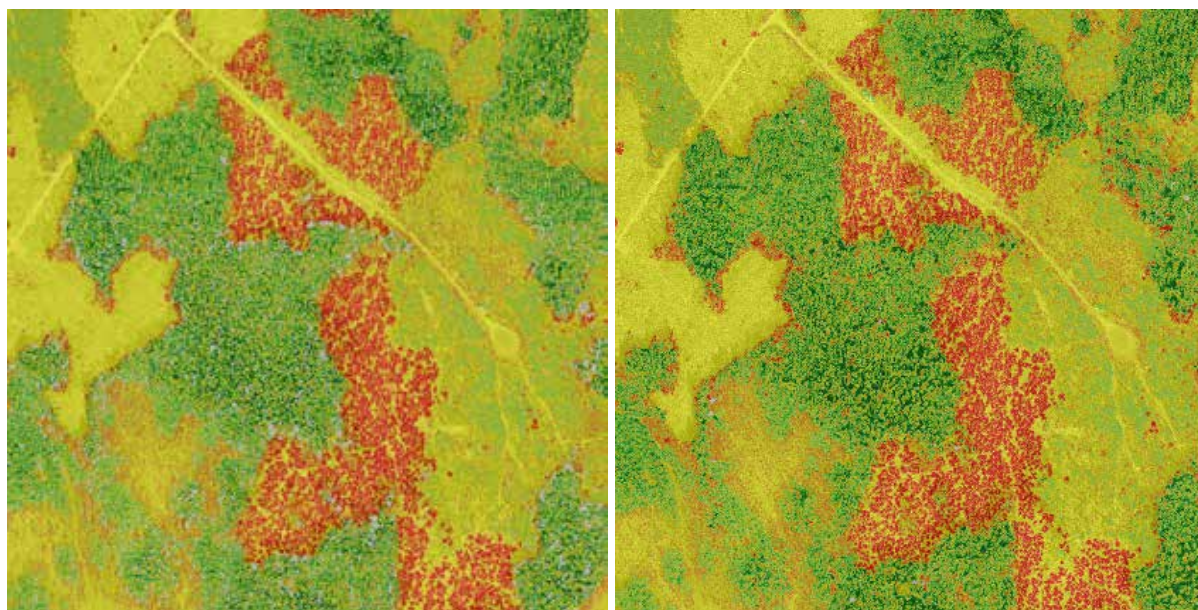


Bild 11. Lägesosäkerhet, jämförelse mellan en DSM producerad från NH och punkter från SURE respektive Match-T.

5.1.4 Grova fel

Programvaror för matchning av bilder innehåller med mer eller mindre naturlighet rutiner för kontroll av matchningen. I det ingår även teknik för att minimera förekomsten av grova fel. Beroende på vilken matchningsteknik man väljer finns olika statistiska analyser att tillgå. Sannolikt är att det uteslutande sker i samband med matchningen för att undvika att felaktigheterna menligt skall påverka slutresultatet. Uppdraget att dokumentera förekomsten av grova fel bör således ske med så oberoende rutiner som möjligt från de beräkningar som finns implementerade i programmen.

Ytmodeller inkluderar såväl byggnader som vegetation och andra "artefakter" relativt den markyta som en höjdmodell beskriver. Tänker man sig att använda någon form av referensdata så krävs det god aktualitet eftersom det ständigt sker förändringar ovan mark. Förändringar av markytan däremot är mer sällsynt så i det fallet kan det vara rimligt att som oberoende källa för att dokumentera grova fel under markytan använda en markmodell från NH.

5.1.4.1 Grova fel – under markytan

I bild 12 visas exempel från kontroll av grova fel, under markytan, relativt NH. Det turkosa området är vatten. Grå ytor är områden där den matchade ytmodellen är mer än 1 meter högre än NH, merparten av de grå ytorna i den här bilden är vegetation. Gula ytor är mark där avvikelserna relativt NH är mindre än 1 meter. Återstående pixlar, orange – röd i fyra nyanser, visar de punkter vars höjdvärde ligger mer än 1 meter under NH. De röda färgnyanserna, som tyvärr inte syns så tydligt i bilden, är indelade i 5 metersintervaller, d.v.s. den rödaste färgen visar pixlar som ligger upp till $(1 + 4 \cdot 5) = 21$ meter under markytan. Lägre värden visas med blå färg.

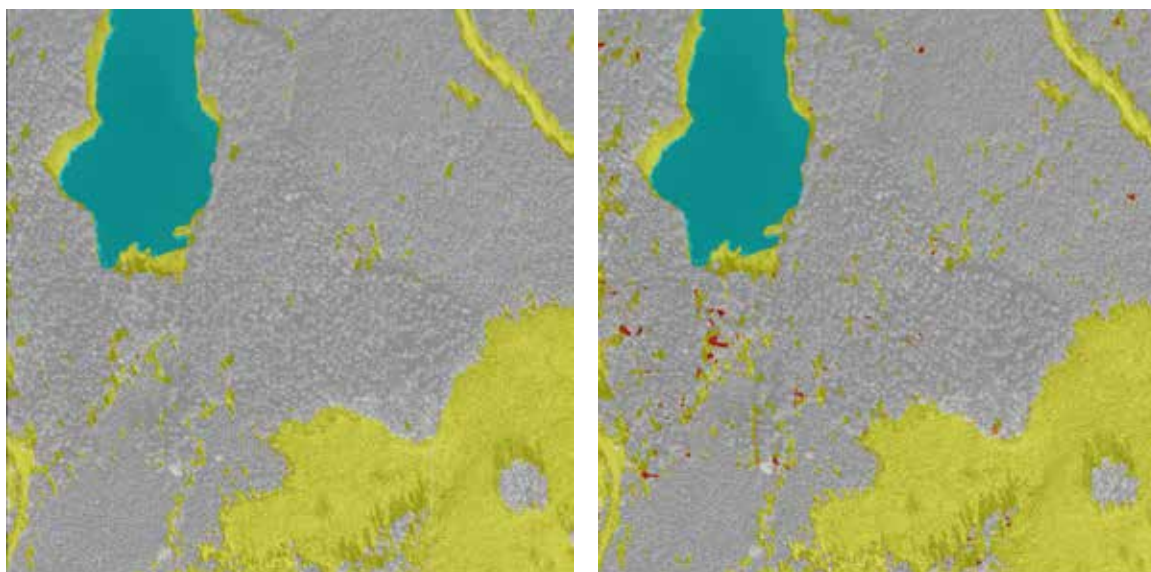
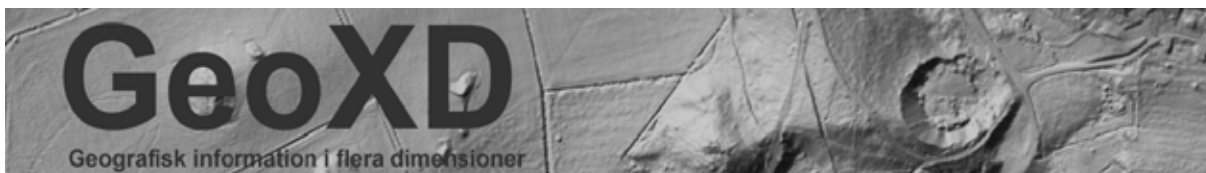


Bild 12. Grova fel, som beskrivits ovan, i orange - röda nyanser. SURE till vänster, Match-T till höger.

I tabell 3 visas ett exempel på statistik över ett testområde i Skutskär. Tabellen redovisar antalet pixlar i området, hur stor andel som är vatten och därmed har exkluderats och hur många pixlar som inte blivit matchade – vatten exkluderat även i detta fall. Min-avvikelse relativt det accepterade intervallet på 1 meter, gul nyans, -86 meter under markytan. Resterande kolumner beskriver antalet pixlar som ligger inom 1-4 ggr färgintervallet 5 meter. Med andra ord 1-6, 6-11, 11-16 och 16-21 meter och därefter avvikelser som är större än 21 meter. Avslutningsvis de fel som bedömts som större än 21 meter och den procentuella andelen av den totala arealen exklusive områdets vattenareal, icke data samt byggnader. Icke data är i det här fallet definierade som summan av de data som inte matchats och data som ligger mer än 1 meter ovan markytan. Den procentuella andel grova fel som beräknas kan anses relativt hög men är relaterad till de punkter som kan anses rimliga som referens för bestämning av andelen grova fel under markytan. Hela området inkluderar 198 000 000 punkter. Av dessa är 8 997 124 vatten och 103 276 212 är definierade som icke data vilket innebär att endast 43.3% av områdets totala areal inkluderas i beräkningen av grova fel under markytan. Resterande 56.7% är antingen vatten, byggnader, icke matchade data eller data som ligger mer än 1 meter över markytan.

Tabell 3. Grova fel under markytan för ett testområde i Skutskär med omgivning. I delområde 621500_6716500_NH är antalet punkter 100 000 och totalt är det 198 000 000 punkter i området. Min/max är angivet i meter.

Referens	Vatten	IckeData	Min	Max	0-1*Intervall	1-2*Intervall	2-3*Intervall	3-4*Intervall	4-5*Intervall	>5*Intervall	GrovaFel%
621500_6716500_NH	0	371 852	-34.492	1.000	612 386	10 717	2 583	1 405	647	410	2.509
TotalArea	8 997 124	103 276 212	-86.389	1.000	83 950 267	1 362 683	237 753	96 700	45 777	33 484	2.072



5.1.4.2 Grova fel – ovan markytan

Grova fel ovan mark är mycket mer komplexa att detektera. En grov kontroll kan göras på motsvarande sätt som för testerna under mark, d.v.s. genom att sätta ett tröskelvärde relativt en markmodell eller ytmodell. Höjder ovan mark är och skall naturligt finnas och höjderna varierar också påtagligt beroende på vad det är för objekt. Att markera objekt/pixlar som överstiger en viss höjd för att sedan manuellt ta bort dessa grova fel kan vara en framkomlig väg i vissa situationer. Lokalt grova fel med relativt små avvikelser från sin omgivning kräver mer sofistikerade metoder och det är ändå osäkert om man hittar rätt på alla avvikelser som kan betraktas som grova fel. Höga stolpar och byggkranar är exempel på objekt som kan vara svåra att automatiskt bedöma om de är grova fel eller faktiska objekt som bör finnas med i en ytmodell.

Skiljer man på byggnader och övriga objekt som kan lokaliseras ovan mark är det möjligt att hantera bedömningen av grova fel med skilda förutsättningar. Byggnader i en ytmodell skapad från laserdatabör inte avvika alltför mycket från de byggnader man kan extrahera ur ett matchat punktmoln. Övriga objekt, som till stor del består av vegetation, är svårare att kontrollera. Dels beror det på under vilken period bilder och laserdatabör registrerats, dels på hur lång tid som förflutit mellan registreringarna. Lägg därtill att träden inte står still i väntan på att de skall registreras utan påverkas av vindar i olika riktningar.

Byggnader

Med hjälp av byggnader från Fastighetskartan - Topografi är det möjligt att separera punkter som antas innehålla byggnader från övriga punktmolnsdata. Använder man samma färgskala som tidigare med intervall 1 meter och bedömer de grova felen vara större än 5 meter så kan resultatet se ut som i bild 13. Röda byggnader kan eventuellt ha rivits och gröna kan ha byggts till. Alternativt kan det saknas en fullvärdig registrering i NH som används som referens. Den till bilden tillhörande statistiken för hela Skutskärsområdet, UCE 1 meters rutnät, finns i tabell 4.

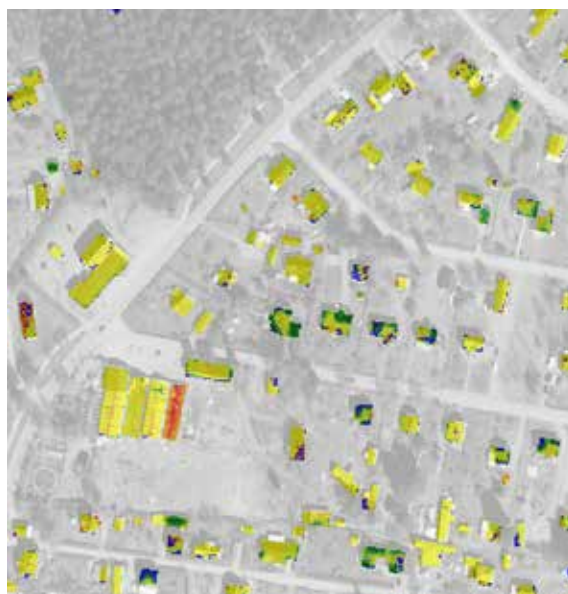
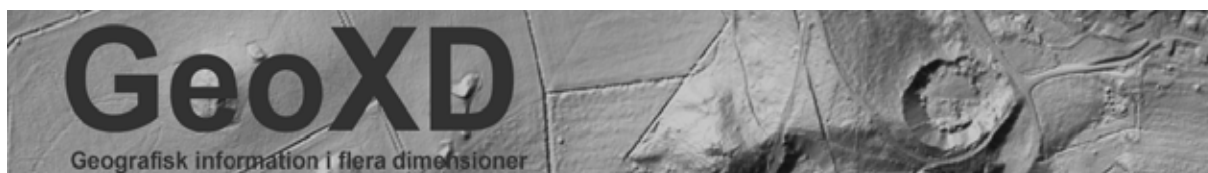


Bild 13. Lägesosäkerhet och grova fel – byggnader. Blå pixlar visar avvikelser större än 5 meter mellan punktmolnet och referensen NH-DSM. Färgskalan i övrigt som tidigare fast med 1 meters intervall.



Det dokument som ligger till grund för tabell 4 innehåller data för alla delområden som det beräknats statistik för. Tabellen innehåller exempel på ett delområde samt den summerade statistiken för hela området.

Med tanke på osäkerheten i de NH-data som används som referens får lägesosäkerheten i höjd ca 1.2 meter och andelen grova fel ca 2.5% anses vara av rimlig storleksordning.

Tabell 4. Lägesosäkerhet och grova fel för byggnader i ett testområde i Skutskär med omgivning. I delområde 629500_6716500_NH_DSM_100cm är antalet punkter 250 000 och totalt är det 108 000 000 punkter i området. Min/max och statistiska mått är angivna i meter.

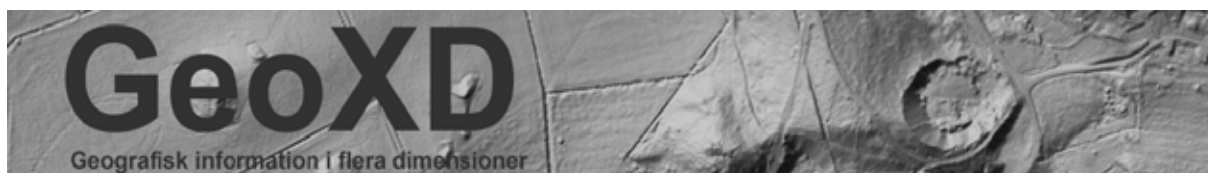
Referens	Vatten	IckeData	Byggnader	Min	Max	Mean	StDev	RMS	0-1*Intervall	1-2*Intervall	2-3*Intervall	3-4*Intervall	4-5*Intervall	>5*Intervall	GrovaFel%
629500_6716500_NH_DSM_100cm	0	53 602	24	-4,217	0,718	-1,284	1,086	1,667	9	12	0	2	1	0	0,000
TotalArea	4 437 960	8 832 699	585 618	-43,192	41,488	0,340	1,196	1,244	438 662	57 087	33 894	20 191	11 871	14 382	2,456

Övriga objekt

De data ovan markytan från punktmolnet som inte är vatten eller byggnader hanteras alla som att de är vegetation. Med andra ord det finns stora variationer med skilda orsaker men sammantaget så krävs en mer tolerant inställning till hur stora avvikelser som kan anses acceptabla. I bild 14 är intervallen, likt avvikelser under markytan, satta till 5 meter. Färgskalan är densamma som tidigare där röda nyanser visar pixlar där höjden i punktmolnet är lägre än referensen NH och i de gröna är punktmolnet högre. I de blå områden som kringgärdas av röda nyanser är punktmolnets höjd mer än 21 meter lägre än referensen NH.



*Bild 14. Lägesosäkerhet och grova fel – övriga objekt. Blå pixlar visar avvikelser större än (1+4*5) meter mellan punktmolnet och referensen NH-DSM. Färgskalan i övrigt som tidigare med 5 meters intervall.*



Tabell 5 innehåller statistik från de objekt ovan mark, mer än 1 meter, som inte beskrivits som byggnader. För dessa objekt, som till största delen består av vegetation, innehåller statistiken information om min och max avvikelse relativt en DSM från NH samt hur stor andel av punkterna som hänförs till respektive intervall. Intervallen är i detta fall lika som avvikelserna under markytan, d.v.s. 5 meter med en tolerans på 1 meter relativt marken – gula områden. På samma sätt som för byggnader redovisas i tabell 5 endast ett av de delområden som definierats för den statistiska analysen tillsammans med summeringen för hela området.

Andelen grova fel beräknas i det här fallet som de punkter som är större eller mindre än $5 \times \text{Intervall}$ 5 meter, d.v.s. större än $1 + 4 \times 5 = 21$ meter eller mindre än -21 meter relativt alla punkter som inte är vatten eller icke matchade. Icke matchade i det fallet är bara de punkter som programmet inte lyckats matcha.

Tabell 5. Lägesosäkerhet och grova fel ovan mark för övriga objekt i ett testområde i Skutskär med omgivning. I delområde 634500_6724000_NH_DSM_100cm är antalet punkter 250 000 och totalt är det 108 000 000 punkter i området. Min/max är angivna i meter.

Referens	Vatten	IckeData	Min	Max	0-1*Intervall	1-2*Intervall	2-3*Intervall	3-4*Intervall	4-5*Intervall	>5*Intervall	GrovaFel%
634500_6724000_NH_DSM_100cm	0	30 494	-24.146	26.595	84 281	90 486	27 858	11 215	5 117	549	0.250
TotalArea	4 437 960	8 823 168	-1008.790	60.239	39 282 218	31 345 781	12 577 340	7 085 410	3 196 341	666 164	0.703

5.2 Kameraalternativ

Vid sidan om de bearbetningsalternativ, parameterval, och olika upplösningar som redan beskrivits hur de kommer att analyseras finns ytterligare alternativ som kan påverka det matchade punktmolnets kvalitet. Flygfotografering i Lantmäteriets regi har under den senaste 10-årsperioden utförts med ett antal olika typer av digitala kameror. Såväl radiometrisk som geometrisk kvalitet har förbättrats och av den anledningen är det värdefullt att utvärdera hur de olika kamerornas egenskaper påverkar bildmatchningen och med det punktmolnets kvalitet. De kvalitetsmått som beskrivits i föregående kapitel kommer även att användas för att beskriva matchningens kvalitet för ett antal skilda kameraalternativ. Resultaten redovisas i en gemensam tabell för att jämförelsen mellan de olika alternativen skall bli så tydlig som möjligt. I de fall resultatet från de olika kamerorna skiljer sig påtagligt redovisas även en bild som beskriver avvikelsernas storlek och lokalisering.

6 Resultat och diskussioner

Kvalitetsbeskrivningar redovisas i det här kapitlet separat för bearbetningsalternativ och kameraalternativ. Bearbetningsalternativ innehåller resultat från SURE och Match-T, bedömning av effekten av olika punkttätheter samt övriga kvalitetsmått. Under rubriken kameraalternativ finns dokumentation kring de skillnader som detekterats mellan bilder från UCE-kameran och äldre bilder registrerade med DMC.

6.1 Bearbetningsalternativ

6.1.1 Kvalitetsbeskrivning

De resultat som redovisas i underrubriker, kvalitetsteman, till denna rubrik innehåller endast en sammanställning av de bilder och den statistik som producerats för att analysen skall bli så fullständig som möjligt.

6.1.1.1 Punkttäthet

Inledningsvis testades 1 pkt/pixel i Match-T men efter ett antal tester beslutades att punkttätheten bättre testades i SURE.

I bilderna 23-27 visas resultatet från de olika tätheter som testats i SURE. Den sammanställda statistiken för respektive täthet visas i tabellerna 7-11. I tabell 6 visas resultatet från de första tester som gjordes av rutinerna med NH-data och som sedan använts för bedömning av olika tätheter på bildmatchade data.



Bild 15. Två profiler som stereokarterats. Byggnad 7 och Öppen mark 2 i den vänstra respektive högra bilden.

I bild 16 visas statistik, laserpunkter och de stereokarterade profilerna för ovanstående exempel i bild 15.

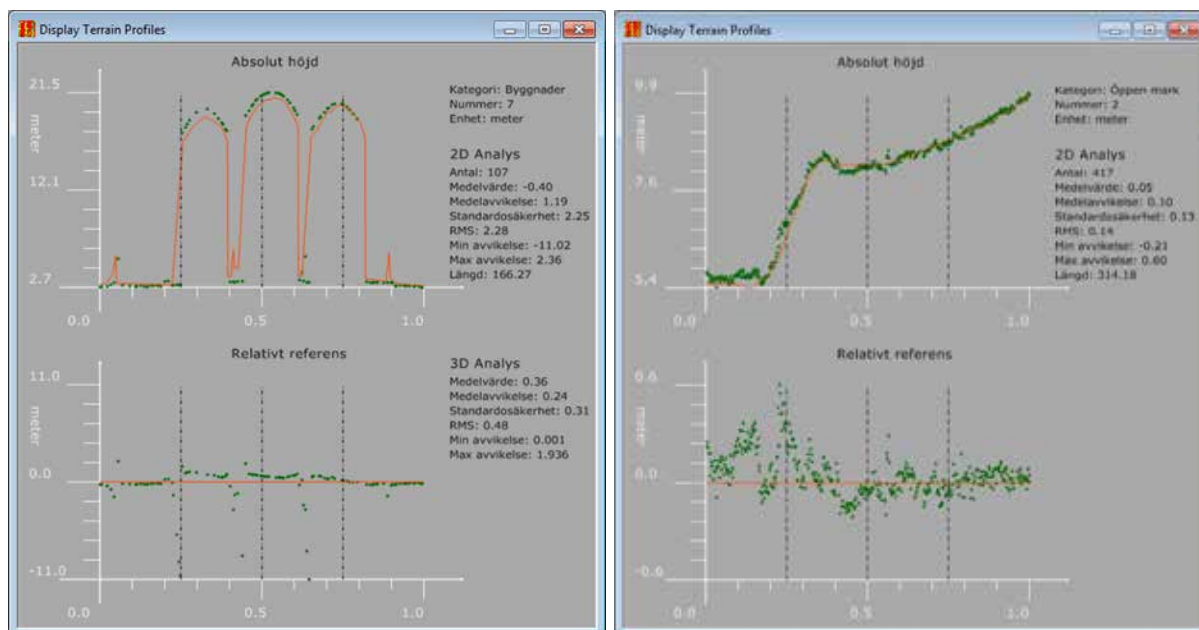
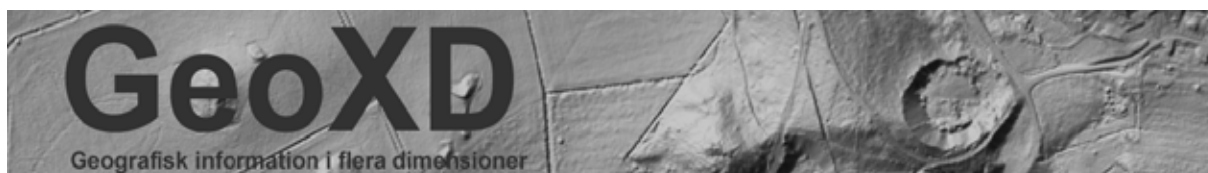


Bild 16. Stereokarterade profiler i heldragen orange färg. Gröna punkter från NH laserskanning 2010 och statistik till höger om bilderna.

För alla de profiler som mätts har motsvarande statistik beräknats för ett antal olika tätheter på matchade bilddata från kamera UCE 24 cm.

Eftersom det inte finns utrymme att visa resultatet från alla profiler i alla kombinationer i en rapport – det skulle bli oläsligt och ointressant – redovisas som komplement till ovanstående bilder endast en sammanställning av den statistik som beräknats för de 5 olika kategorierna i tabell 6.

Tabell 6. Sammanställning av NH data från 5 kategorier med 10 mätta profiler i varje kategori.

Data	NH2010						
Kategori	Medel	Medelavvikelse	Standardsäkerhet	RMS	Min	Max	Antal
Byggnader 2D	-0.178	0.584	1.304	1.315	-11.017	11.974	1749
Byggnader 3D	0.309	0.248	0.515	0.600	0.000	9.550	1749
Gles skog	-0.576	3.459	5.736	5.764	-21.166	22.603	2747
Tät skog	-4.660	5.314	7.106	8.497	-29.427	17.750	3549
Öppen mark	0.115	0.212	0.261	0.285	-1.194	0.865	2185
Strandlinje	-0.008	0.293	0.457	0.457	-3.220	3.493	705

Byggnader i 3D har som nämnts skapats för att minska influensen av träffar på väggar som om de hanteras i 2D kan generera relativt stora avvikelser trots att de ligger mycket nära sitt faktiska planläge. I 3D mäts avståndet till väggen om den är närmare än avståndet till marken som redovisas i 2D.

Följande exempel är hämtade från bearbetning i SURE. Alternativen 50 cm, 75 cm, 100 cm, 141 cm och 200 cm visas i bild 17-21.

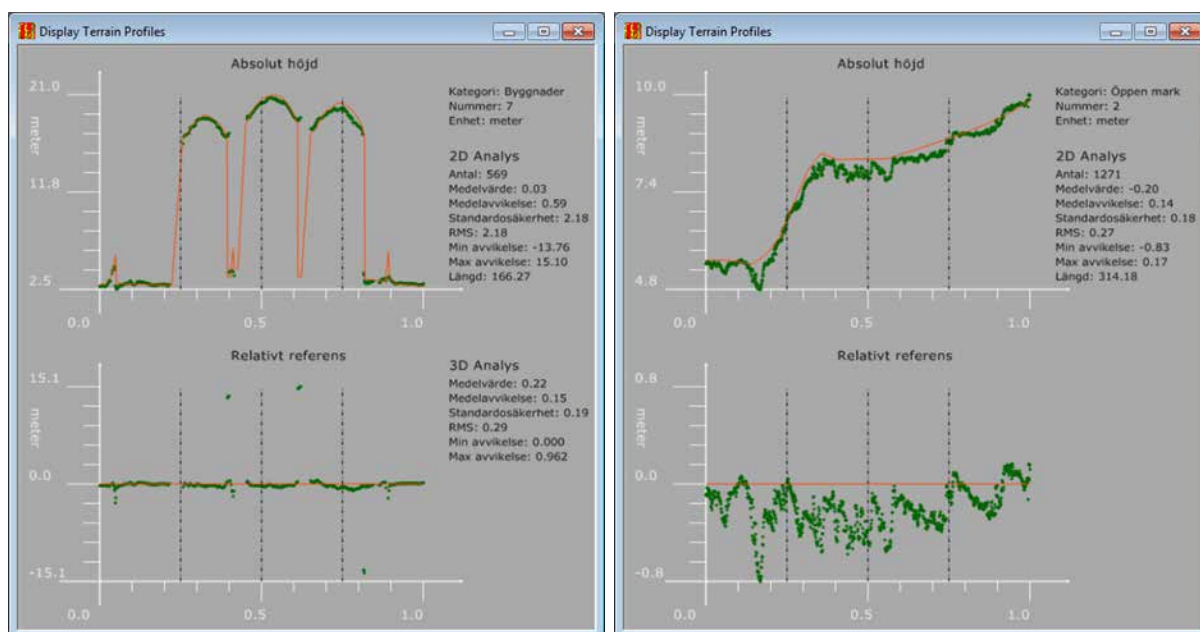
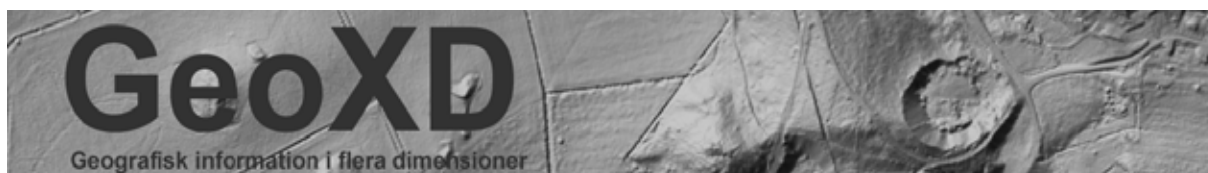


Bild 17. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 50 cm i SURE-data.

Bild 17 och tabell 7 visar den av SURE högsta rekommenderade tätheten, 2*bildens markupplösning, och kan antas beskriva det bästa resultatet som kan uppnås vid matchningen. Tanken är att följande tätheter skall betraktas relativt den av nFrames rekommenderade och att man främst skall bedöma om den minskade tätheten försämrar matchningens geometriska kvalitet och objektens form.

Tabell 7. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 50 cm i SURE-data.

Data UCE2015_SURE_50cm							
Kategori	Medel	Medelavvikelse	Standardsäkerhet	RMS	Min	Max	Antal
Byggnader 2D	0.007	0.488	1.059	1.058	-13.764	15.096	6004
Byggnader 3D	0.335	0.257	0.373	0.501	0.000	3.433	6004
Gles skog	-0.687	1.478	2.985	3.063	-21.644	18.518	8009
Tät skog	-0.559	1.361	2.370	2.435	-16.808	23.737	7495
Öppen mark	-0.066	0.199	0.246	0.255	-0.833	1.127	10391
Strandlinje	-0.371	1.707	4.106	4.123	-42.642	14.028	5041

Bild 18 och tabell 8 visar ett ytterligare alternativ som tillkommit på grund av olikheter i programmets hantering av bildens markupplösning. Tätheten 75 cm används senare vid utvärdering av fullständighet och detektering av grova fel där en jämförelse mellan programmets möjlighet att matcha och undvika felaktigheter analyseras på likvärdiga grunder.

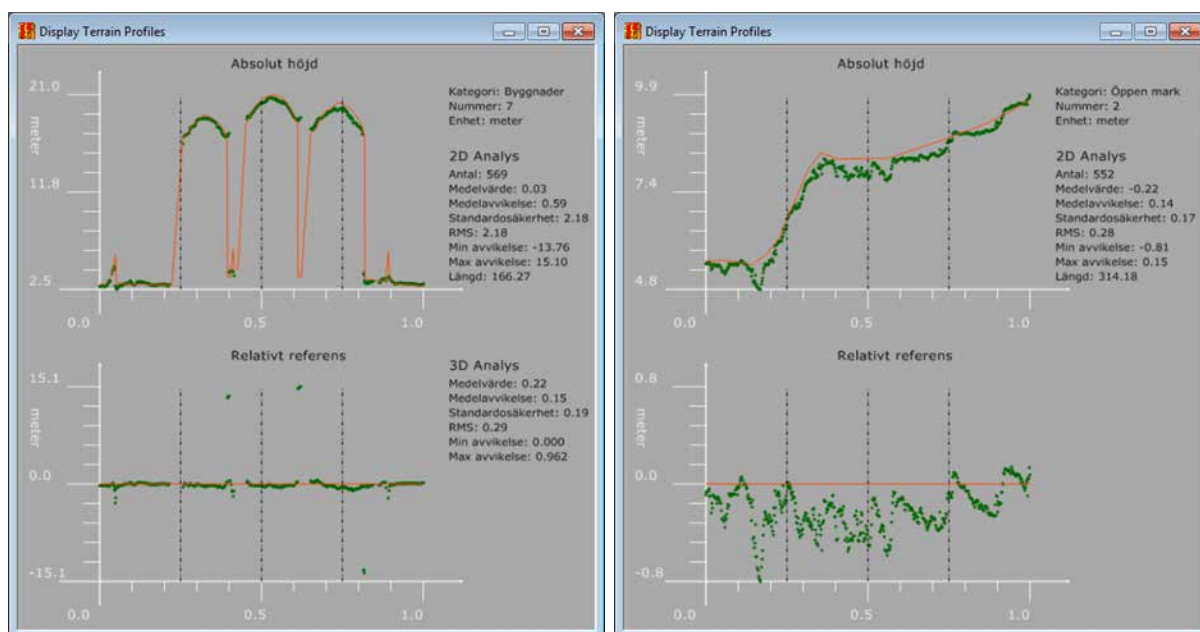
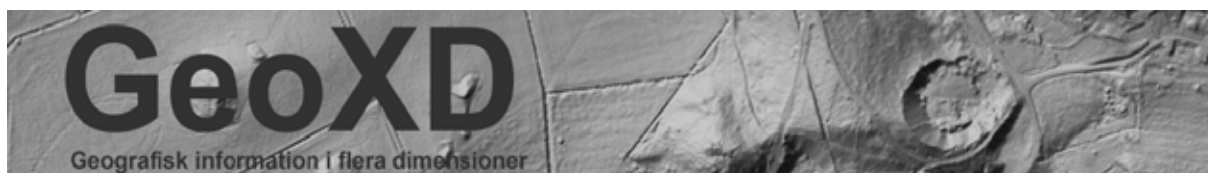


Bild 18. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 75 cm i SURE-data.

Formen av objektet är bibehållen och man kan inte skönja någon anmärkningsvärd försämring i standardosäkerheten relativt tätheten 50 cm.

Tabell 8. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 75 cm i SURE-data.

Data	UCE2015_SURE_75cm						
Kategori	Medel	Medelavvikelse	Standardosäkerhet	RMS	Min	Max	Antal
Byggnader 2D	0.042	0.535	1.209	1.210	-13.699	15.096	2715
Byggnader 3D	0.336	0.262	0.391	0.515	0.000	3.490	2715
Gles skog	-0.779	1.607	3.201	3.294	-34.740	18.034	3802
Tät skog	-0.638	1.411	2.399	2.482	-16.467	23.457	3629
Öppen mark	-0.079	0.198	0.244	0.256	-0.812	0.889	4593
Strandlinje	-0.381	1.935	4.270	4.286	-42.732	14.278	2683

I bild 19 och tabell 9 har tätheten 100 cm använts i SURE. Punkterna för såväl byggnaderna som öppen mark är fortfarande så täta att de kan bedömas väl beskriva objektens form. Statistiskt har det heller inte skett någon nämnbar försämring.

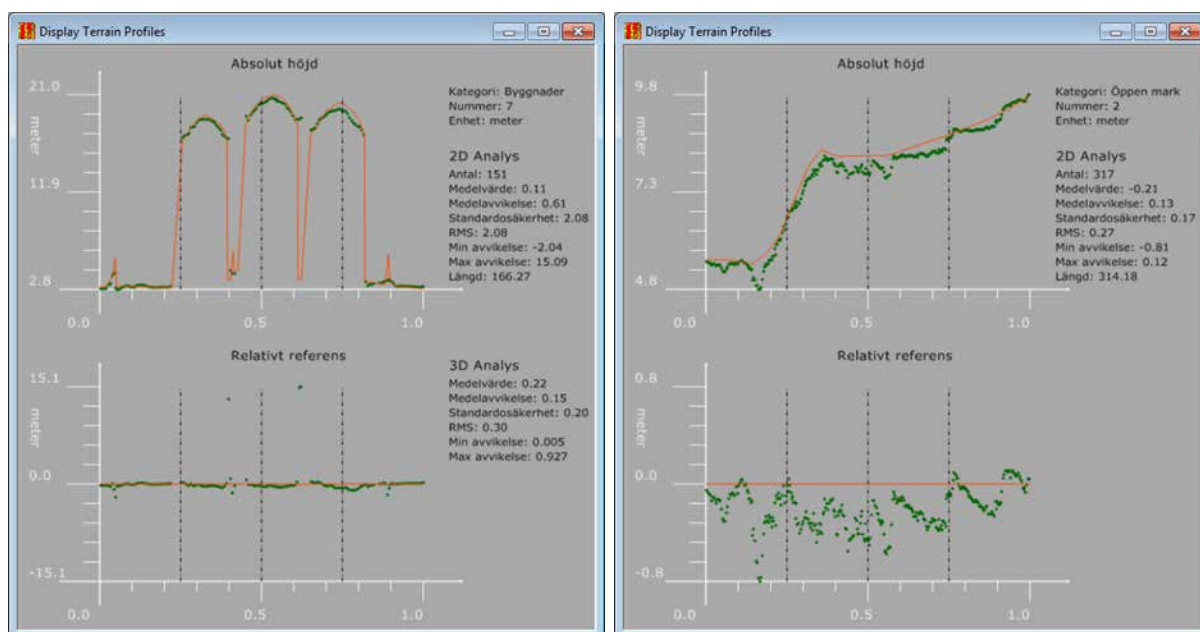
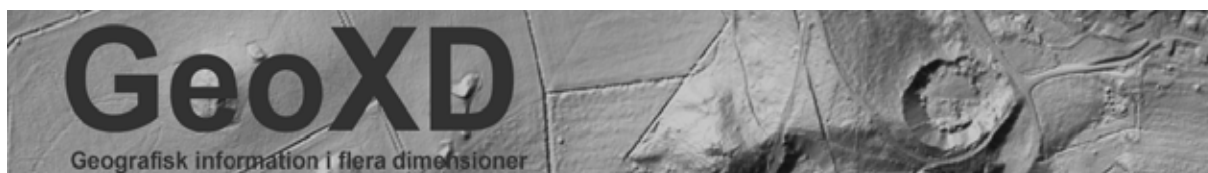


Bild 19. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 100 cm i SURE-data.

I skog ser man heller ingen påtaglig försämring relativt de tätare nivåerna av matchade data. Vad som dock är tydligt är att det inte är möjligt att lika väl beskriva skog med en stereokarterad profil som öppen mark och byggnader.

Tabell 9. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 100 cm i SURE-data.

Data	UCE2015_SURE_100cm						
Kategori	Medel	Medelavvikelse	Standardsäkerhet	RMS	Min	Max	Antal
Byggnader 2D	0.143	0.555	1.160	1.168	-6.044	15.091	1557
Byggnader 3D	0.335	0.266	0.396	0.519	0.000	3.725	1557
Gles skog	-0.825	1.702	3.264	3.366	-20.322	17.693	2266
Tät skog	-0.557	1.438	2.455	2.517	-14.111	22.752	2163
Öppen mark	-0.062	0.187	0.232	0.240	-0.813	0.815	2612
Strandlinje	-0.362	2.160	4.636	4.648	-42.337	31.779	1746

Följande bild och tabell, 20 respektive 10, summerar analysen av tätheten 141 cm. De allt glesare punkterna representerar fortfarande objektens form på ett korrekt sätt. Det har inte uppstått några grova fel på grund av den minskade tätheten.

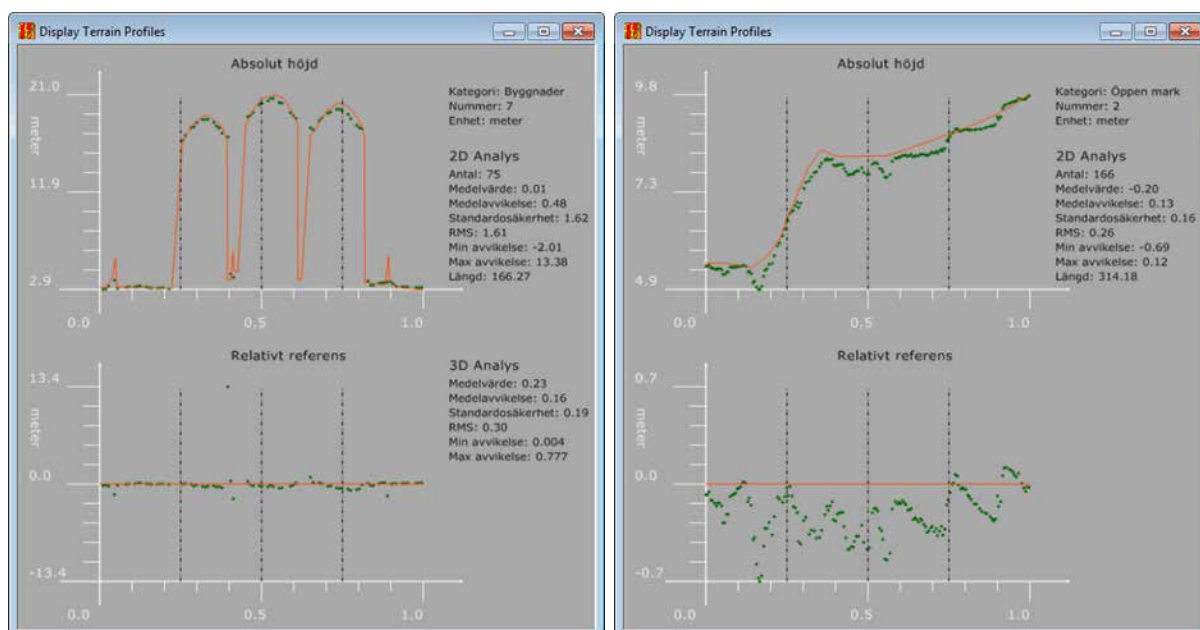
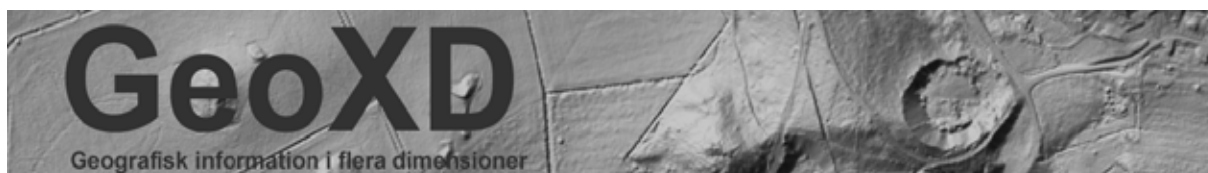


Bild 20. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 141 cm i SURE-data.

Det är inte någon nyhet att objekt i urbana miljöer oftast kräver tätare data för att bli väl karterade. När tätheten minskar för SURE-data minskar också möjligheten att korrekt kartera bl.a. byggnader.

Tabell 10. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 141 cm i SURE-data.

Data	UCE2015_SURE_141cm						
Kategori	Medel	Medelavvikelse	Standardsäkerhet	RMS	Min	Max	Antal
Byggnader 2D	0.180	0.549	1.128	1.142	-8.428	13.379	800
Byggnader 3D	0.337	0.262	0.386	0.512	0.000	3.305	800
Gles skog	-0.685	1.717	3.362	3.429	-20.338	17.763	1189
Tät skog	-0.509	1.478	2.536	2.585	-12.732	23.162	1130
Öppen mark	-0.048	0.181	0.227	0.232	-0.692	0.775	1299
Strandlinje	-0.302	2.205	4.554	4.562	-38.897	33.219	990

Avslutningsvis den lägsta tätheten, 200 cm, mellan varje punkt. Tätheten är definitivt inte optimal för kartering av byggnaderna till vänster i bild 21. Punkterna beskriver fortfarande på ett bra sätt den öppna markytan i den högra bilden vilket även kan tolkas ur tabell 11.

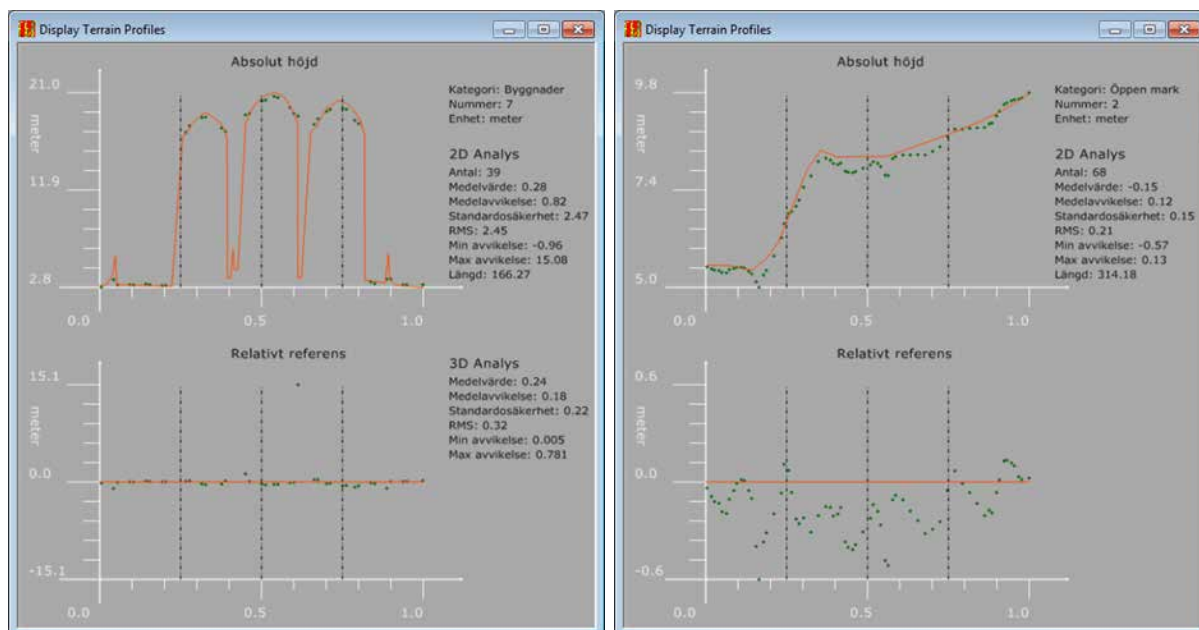
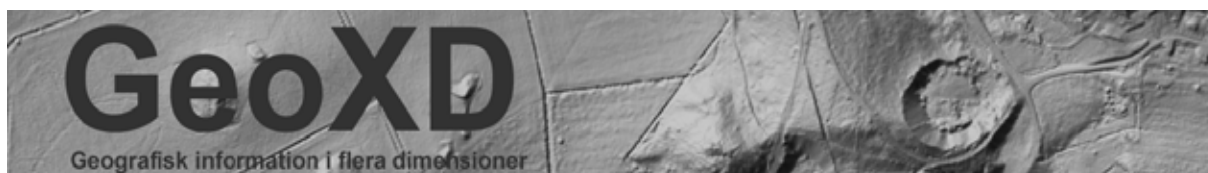


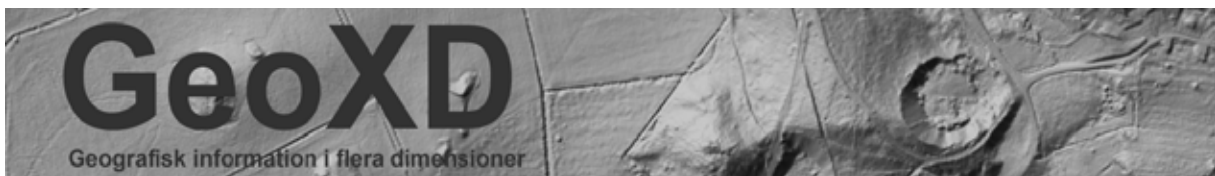
Bild 21. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 200 cm i SURE-data.

Det syns ingen tydlig försämring i standardosäkerheten relativt de högsta tätheterna som testats. Man kan med andra ord med stor sannolikhet tolka det som att matchningen är robust trots den låga tätheten. Det finns således inget skäl att utesluta den sämre tätheten på grund av sämre matchning. Det motiv som kan bli aktuellt är snarare att det är för gles för att väl beskriva mindre objekt, oftast i stadsmiljöer.

Tabell 11. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 200 cm i SURE-data.

Data UCE2015_SURE_200cm							
Kategori	Medel	Medelavvikelse	Standardosäkerhet	RMS	Min	Max	Antal
Byggnader 2D	0.337	0.677	1.352	1.392	-3.882	15.081	423
Byggnader 3D	0.392	0.306	0.477	0.617	0.000	3.725	423
Gles skog	-0.441	1.671	3.317	3.343	-19.360	17.156	618
Tät skog	-0.279	1.404	2.316	2.331	-5.587	18.770	579
Öppen mark	0.020	0.191	0.239	0.240	-0.574	0.938	648
Strandlinje	-0.068	2.288	4.663	4.659	-35.232	31.784	525

Ett skäl till att resultaten är så likvärdiga och att det inte uppstår matchningsproblem vid lägre upplösning är att programmen oftast matchar alla pixlar för att sedan i slutfasen av processen glesa ur till önskad täthet.



6.1.1.2 Fullständighet

Fullständighet beskriver hur stor andel av det totala antalet punkter som programmen matchat, Lantmäteriets vattenytor exkluderade.

I bild 22, resultatet från matchning i SURE, är det många punkter som inte matchats. Om det är en strategi där man lyckats undvika besvärliga områden eller om det finns andra skäl är svårt att uttala sig om. Vore det inte för all övrig information som visar att de data som matchats också är av god kvalitet skulle man naturligt bli tveksam till den relativt låga frekvensen av matchade data. Det syns även ett tydligt mönster som sannolikt kan relateras till stråken och övertäckningen dem emellan. Det är möjligt att det med annat val av parametrar går att undvika mönstret men å andra sidan är det områden med extra övertäckning som har högst matchningsfrekvens.

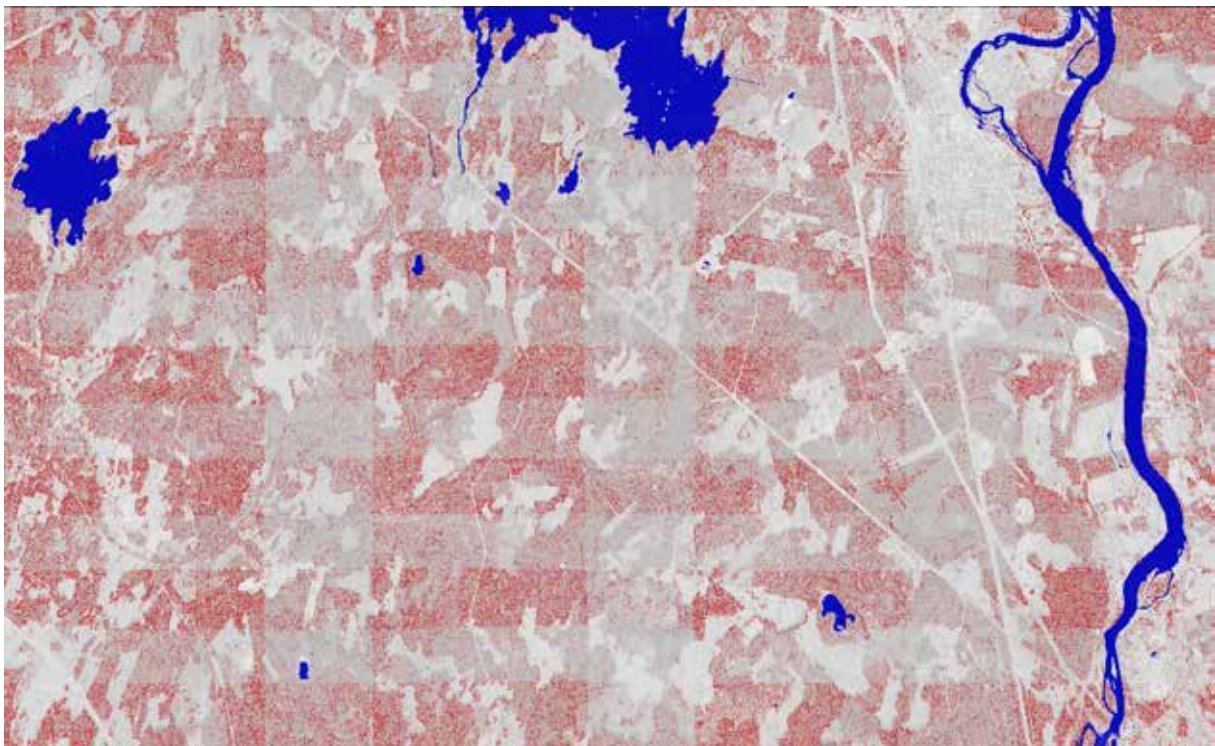


Bild 22. Resultat från SURE. Ett tämligen stort antal punkter, röda, har inte matchats. Statistik från matchningen finns i tabell 12.

För motsvarande område som valts ut för SURE visas i bild 23 resultatet från Match-T. I stort sett alla punkter har matchats. Om det är en bra strategi eller inte kan delvis utläsas under nästa rubrik – grova fel.

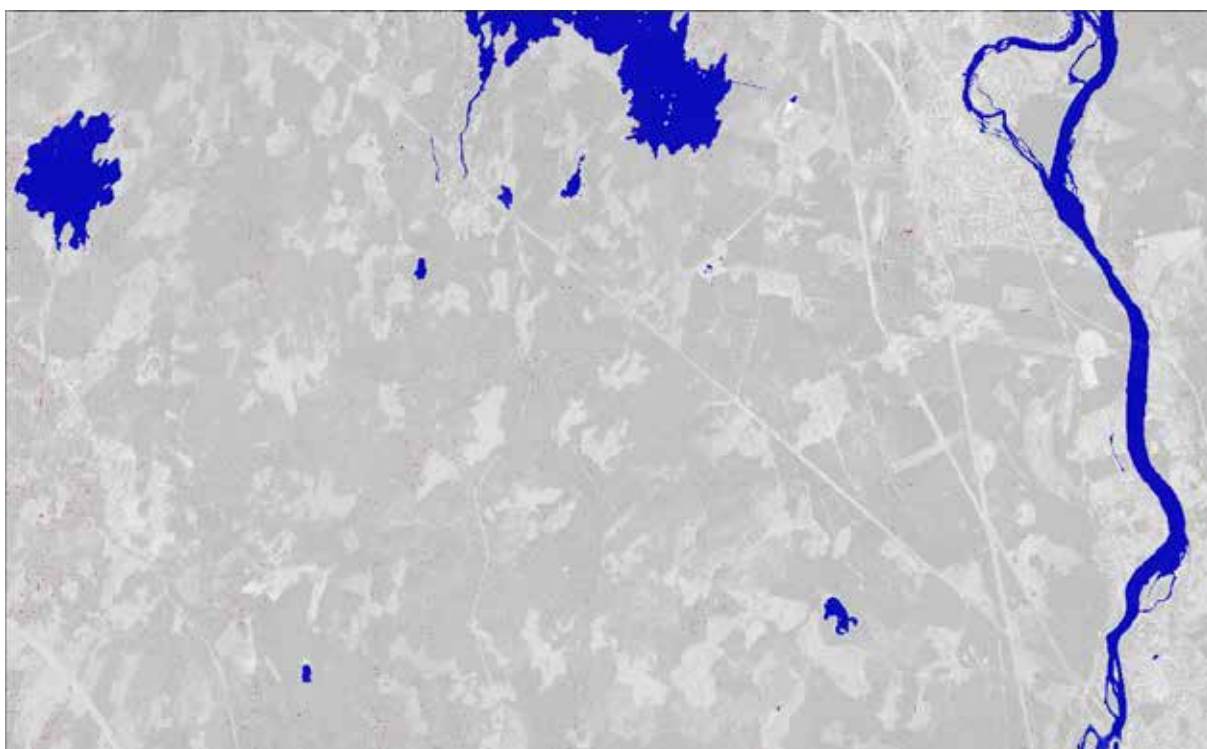
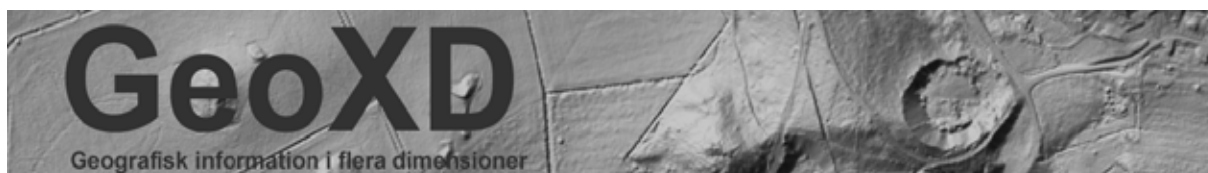


Bild 23. Resultat från Match-T. I stort sett alla punkter har matchats. Faktisk frekvens visas i tabell 12.

Tabell 12. Resultat från SURE och Match-T. Statistik som visar den procentuella andelen punkter som matchats i de olika programmen.

Kamera	Program	Water	Matched	NoMatch	Area (m ²)
UCE 2015, RGB	SURE	4.54%	87.23%	12.77%	111 375 000
UCE 2015, RGB	Match-T	4.54%	99.78%	0.22%	111 375 000



6.1.1.3 Lägesosäkerhet

I tidigare bilder, tabeller och statistik har det tydligt visats att geometrin i plan för SURE är fullt acceptabel. I nedanstående bilder och statistik följer en jämförelse mellan programmen SURE och Match-T med punkttätheten 75 cm. I bild 24 visar profilen ett dike, djup ca 1 meter.

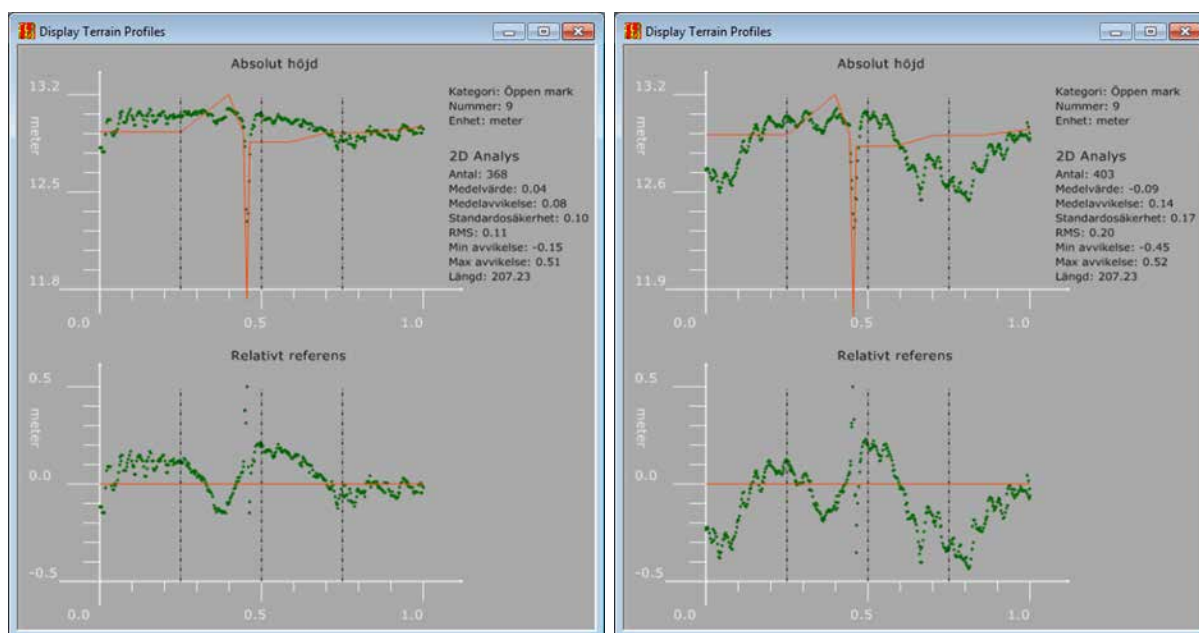
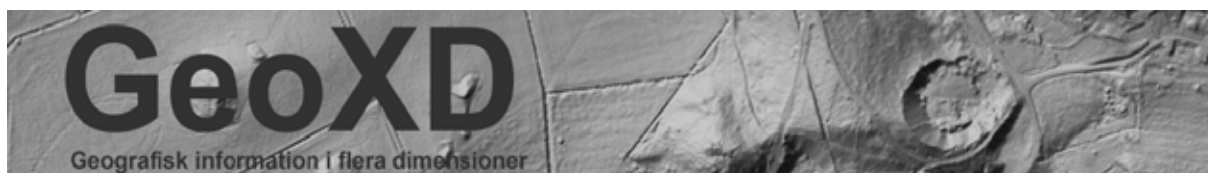


Bild 24. SURE till vänster och Match-T till höger. Match-T ser något "brusigare" ut och följer heller inte den stereokarterade linjen lika väl som SURE.

I tabell 13 och 14 finns sammanställningar över resultaten från SURE och Match-T relativt profilerna. Över lag är standardosäkerheten lägre för SURE men skillnaderna är marginella så det krävs en visuell bedömning för att utröna vilket alternativ som är det bästa. Å andra sidan är uppgiften snarare att se vad som är möjligt med bildmatchning än att bedöma vilket programvaru-alternativ som är bäst.

Tabell 13. SURE relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 75 cm i SURE-data, samma som tabell 8.

Data	UCE2015_SURE_75cm						
Kategori	Medel	Medelavvikelse	Standardosäkerhet	RMS	Min	Max	Antal
Byggnader 2D	0.042	0.535	1.209	1.210	-13.699	15.096	2715
Byggnader 3D	0.336	0.262	0.391	0.515	0.000	3.490	2715
Gles skog	-0.779	1.607	3.201	3.294	-34.740	18.034	3802
Tät skog	-0.638	1.411	2.399	2.482	-16.467	23.457	3629
Öppen mark	-0.079	0.198	0.244	0.256	-0.812	0.889	4593
Strandlinje	-0.381	1.935	4.270	4.286	-42.732	14.278	2683



Tabell 14. Match-T relativt stereokarterade profiler. Punkttäthet 75 cm i data producerat med Match-T.

Data UCE2015_Match-T_75cm							
Kategori	Medel	Medelavvikelse	Standardosäkerhet	RMS	Min	Max	Antal
Byggnader 2D	0.080	0.691	1.593	1.595	-8.212	15.072	3051
Byggnader 3D	0.388	0.302	0.460	0.601	0.001	5.147	3051
Gles skog	-1.164	2.233	3.944	4.112	-28.074	21.559	4636
Tät skog	-1.249	1.993	3.308	3.536	-25.632	23.205	4441
Öppen mark	-0.083	0.179	0.230	0.245	-0.831	0.825	4968
Strandlinje	-2.850	6.297	12.215	12.540	-126.167	45.272	2389

Bild 25 är två utsnitt i urban miljö från SURE, till vänster, och Match-T till höger. Gula ytor är som tidigare mindre än en meters avvikelse mot NH. Byggnader är bruna. De röda nyanserna visar avvikelser från 1 till 21 meter relativt ytmodellen från NH. Tydligt är, i båda fallen, att träd och buskar inte fått relevant höjd vilket dels kan bero på matchningens utmjukande effekt dels på att bilddata samlades in innan lövsprickning. Kring byggnader syns tydliga gröna linjer vilket indikerar att höjderna är högre i matchade bilddata än i NH-DSM. Orsaken kan i dessa fall inte förklaras med lövsprickning utan nu återstår endast matchningens utjämning som orsak till avvikelserna. I den högra bilden, Match-T, är dessa bieffekter tydligare än i SURE till vänster.

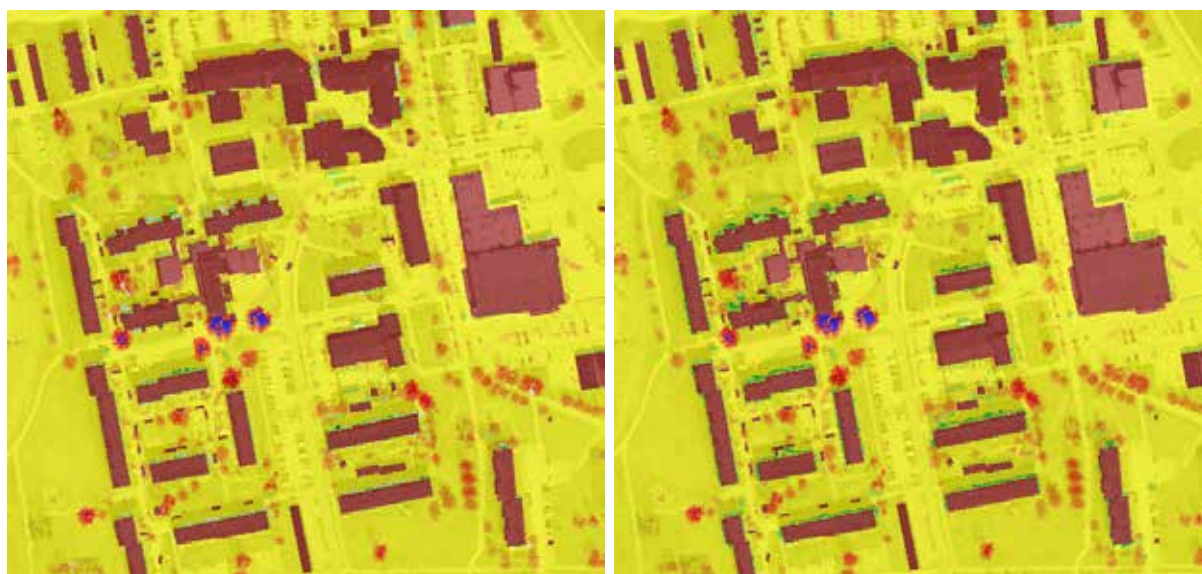
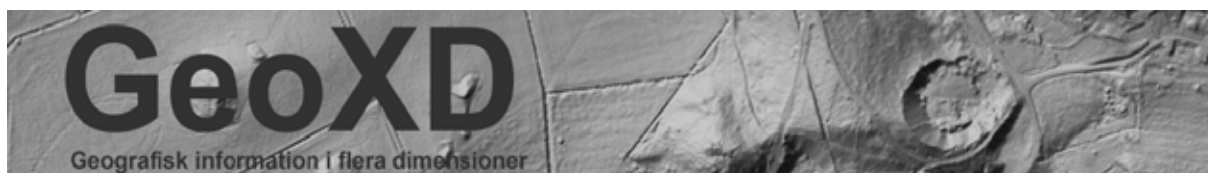


Bild 25. Resultat från SURE och Match-T relativt en DSM från NH. I Match-T, till höger, syns tydliga linjer i grönt runt de bruna byggnaderna vilket innebär att höjder i anslutning till huset är för höga. Röda områden, mestadels träd och buskar, har jämnats ut vid matchningen och fått en lägre höjd än i NH.



6.1.1.4 Grova fel – under markytan

Eftersom det inte är möjligt att producera "felfria" referensdata används NH för detektering av grova fel under markytan. Den statistik som beräknats relativt data från NH kan givetvis även innehålla avvikelser på grund av felaktigheter i NH. Felaktigt redovisas också verkliga förändringar som skett mellan registreringen av NH och bilddata. Statistik som visar frekvensen av grova fel i SURE och Match-T återfinns i tabell 15.

Tabell 15. Grova fel, under markytan - NH, över hela testområdet för SURE och Match-T. Totalt antal punkter för SURE och Match-T är 198 000 000. Min/max anges i meter.

Program	Vatten	IckeData	Min	Max	0-1*Intervall	1-2*Intervall	2-3*Intervall	3-4*Intervall	4-5*Intervall	>5*Intervall	GrovaFel%
SURE	8 997 069	109 107 076	-998.053	1.000	79 397 834	476 556	18 357	1 927	467	714	0.623
Match-T	8 997 124	103 276 212	-86.389	1.000	83 950 267	1 362 683	237 753	96 700	45 777	33 484	2.072

Notabelt är de extrema värden som finns i vissa av de modeller som skapats med SURE. Vid en närmare analys av resultatet ser man att det är ytterst få punkter som har dessa extremt avvikande värden. Generellt är det ca 3 gånger mer avvikelser som kan betraktas som grova fel i Match-T relativt SURE.

I bild 26 är frekvensen grova fel för SURE, till vänster, väsentligt lägre än i bilden till höger, Match-T, som å andra sidan har bättre fullständighet enligt föregående analyser.

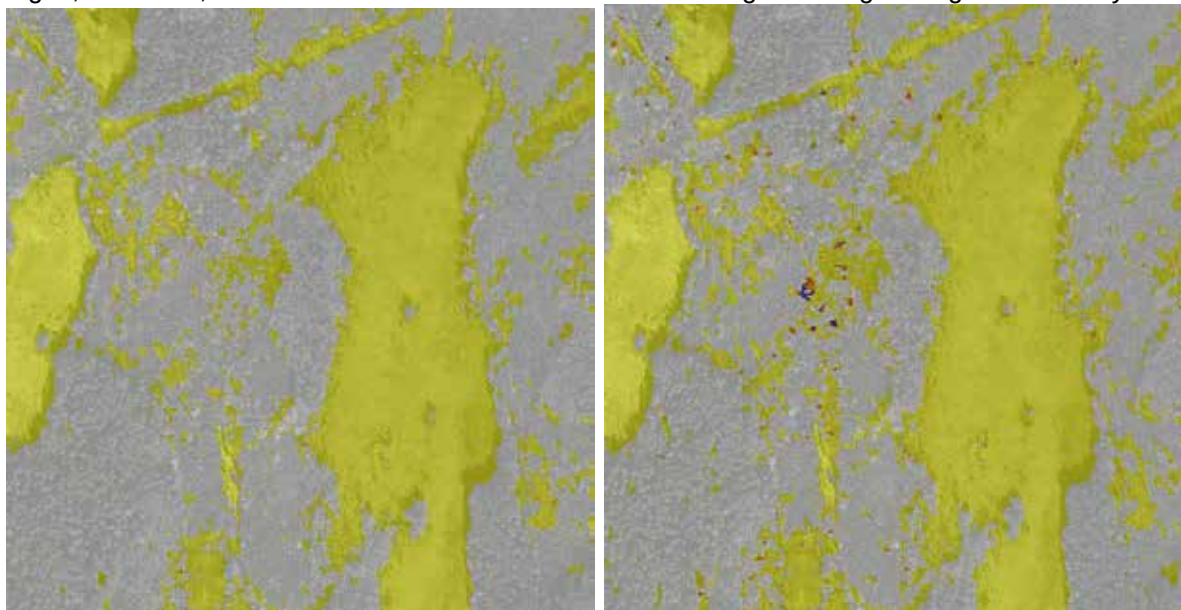
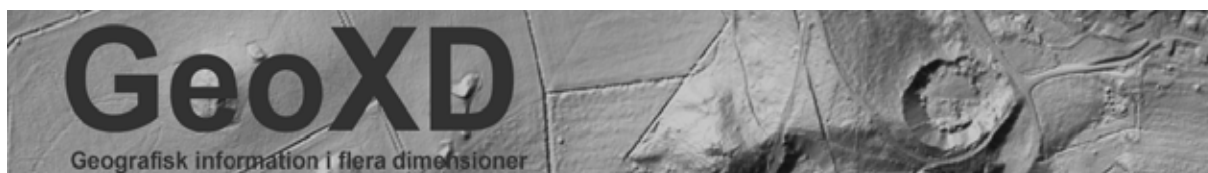


Bild 26. Grova fel markerade i röda nyanser mellan -1 m till -21 m. I de blå punkterna är avvikelser större än -21 meter jämfört med NHs markyta.

6.1.1.5 Grova fel – ovan markytan

Eftersom byggnader kan antas vara mer distinkta och med det lättare att matcha så har de separerats från övriga objekt ovan mark med hjälp byggnaderna i Fastighetskartan – Topografi. Då grova fel ovan mark inte klassats eller tagits bort i NH har enkla metoder applicerats för att undvika alltför stora avvikelser mellan de punktmoln som skall utvärderas och en DSM från NH. Histogram för hela området har beräknats och använts som underlag för att sätta min- och max-värden på de data som skall användas vid



genereringen av ytmodeller från NH. Extremvärdena på uppemot 1000 meter, i ett område som för övrigt varierar mellan 0 och 100 meter, har på så sätt undvikits.

Byggnader

Avvikelserna under mark och övriga objekt ovan mark har delats in i 5 meters-intervaller för man kan anta att spridningen är större för dessa fel än för byggnader. Vid kontrollen av byggnader representerar varje intervall, färgnyans, endast 1 meter. Tabell 16 beskriver de variationer som finns mellan matchningar av samma bilder i SURE och Match-T. Att antalet byggnadspunkter skiljer sig en del beror troligtvis på att SURE mer frekvent tar bort punkter som inte anses matchningsbara. Förutom de avvikelser som är större än 5 meter så kan matchningsresultaten bedömas likvärdiga. SURE har ett något mindre antal matchade punkter för byggnaderna och med det också ett lägre antal grova fel. I bild 27 kan man också konstatera att det inte finns några större skillnader mellan SURE och Match-T.

Tabell 16. Grova fel för byggnader, relativt NH-DSM, över hela testområdet för SURE och Match-T. Totalt antal punkter för SURE och Match-T är 198 000 000. Min/max samt statistiska mått anges i meter.

Program	Vatten	IckeData	Byggnader	Min	Max	Mean	StDev	RMS	0-1*Intervall	1-2*Intervall	2-3*Intervall	3-4*Intervall	4-5*Intervall	>5*Intervall	GrovaFel%
SURE	8 997 069	24 175 064	1 101 582	-40.808	41.611	0.249	1.205	1.231	815 522	106 461	61 793	36 150	21 034	26 065	2.366
Match-T	8 997 124	410 808	1 101 795	-41.227	41.722	0.246	1.241	1.265	814 765	127 182	63 548	37 404	23 586	35 235	3.198

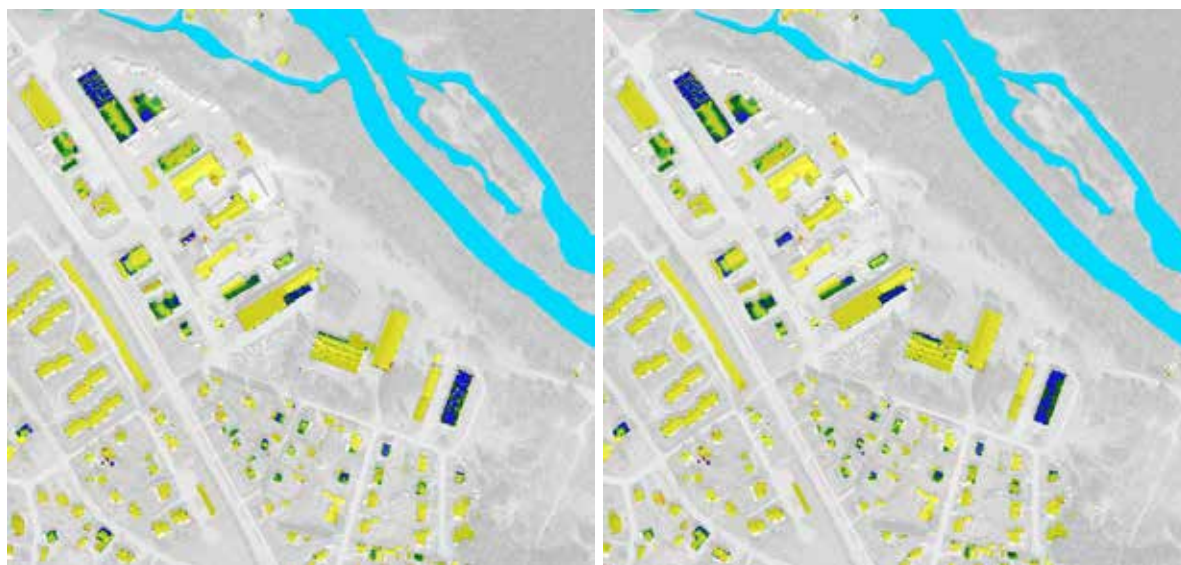
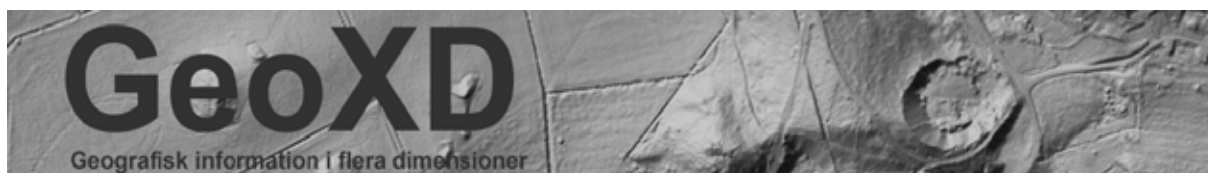


Bild 27. SURE till vänster Match-T till höger. Ingen stor skillnad. De blåa byggnaderna är antingen nybyggda eller rivna mellan registreringarna av laserskanning och bilder och påverkar olyckligtvis statistiken något.

Övriga objekt

Statistiken i tabell 17 visar tydligt de skilda filosofier som programvarumakarna har haft. Match-T försöker matcha alla punkter och SURE eliminerar någonstans i processen de punkter man inte anser tillräckligt bra. Andelen icke matchade punkter är därför väsentligt större för SURE än Match-T och med det lyckas man också begränsa antalet grova fel något relativt resultatet från Match-T. Intressant är då var SURE anser att det



är problem att matcha, transparent/vita pixlar. I den vänstra bilden i bild 28 är det tydligt att SURE exkluderar punkter runt byggnader, skuggor och stora lutningar, och även där det finns vegetation. I den högra bilden, Match-T, syns tydliga konsekvenser av filosofin att matcha alla punkter. Runt vissa byggnader syns band av blått och grönt som indikerar att man inte lyckats hantera husets yttre begränsningar så väl utan det blir utmjukade kanter. Ett faktum som även noterades i EuroSDRs rapport kring Match-T.

Tabell 17. Grova fel för övriga objekt – i huvudsak vegetation, relativt NH-DSM, över hela testområdet för SURE och Match-T. Totalt antal punkter för SURE och Match-T är 198 000 000. Min/max anges i meter.

Program	Vatten	IckeData	Min	Max	0-1*Intervall	1-2*Intervall	2-3*Intervall	3-4*Intervall	4-5*Intervall	GrovaFel	GrovaFel%
SURE	8 997 069	24 140 507	-1009.101	74.433	70 863 164	53 877 919	20 900 867	11 664 746	5 303 031	1 151 115	0.698
Match-T	8 997 124	410 733	-98.527	77.313	73 296 087	63 450 028	27 094 860	15 061 473	6 754 446	1 833 454	0.972

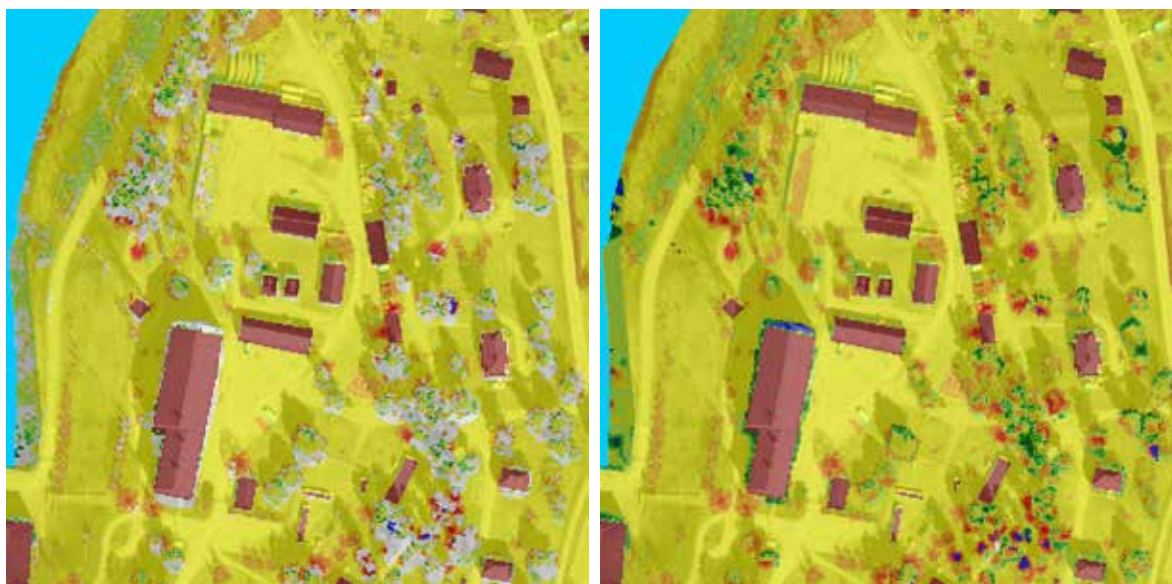


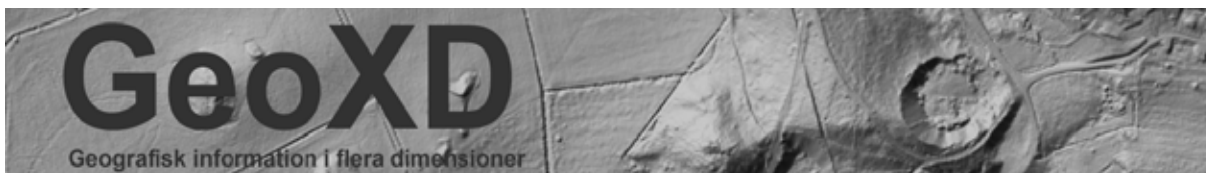
Bild 28. SURE till vänster Match-T till höger. I SURE är det icke-data runt flera byggnader där resultatet i Match-T istället visar stora avvikelser relativt referensen NH-DSM.

6.2 Kameraalternativ

För att optimera det fortsatta arbetet har antalet alternativ begränsats vad gäller program och tänkbara upplösningar. Ett enigt beslut fattades kring att testerna fortsättningsvis genomförs med SURE och att det punktmoln som genereras skall ha 1 meters upplösning.

6.2.1 Kvalitetsbeskrivning

Statistik för de olika kameraalternativ som bearbetats har sammanställts i tabellform för respektive kvalitetstema. Generellt är skillnaderna små mellan de olika kamerorna men variationen är tydlig för olika terrängtyper.



6.2.1.1 Punkttäthet

Punkttätheten har som nämnts beslutats att den för resterande kontroller skall vara 1 meter. Analysen kring hur olika tätheter påverkar punktmolnets kvalitet redovisades i kapitel 6.1.1.1.

6.2.1.2 Fullständighet

I tabell 18 redovisas en sammanställning av 4 stycken olika kameraalternativ över testområdet i Skutskär samt en test i kuperad västkustterräng. Resultaten skiljer sig marginellt mellan RGB från UCE kameran relativt RGB från DMC vad gäller matchningsfrekvensen.

Trots att Tjörn är relativt kuperad, vilket erfarenhetsmässigt bör ge något lägre matchningsandel, har större andel matchats än i Skutskär. Tjörn består till stor del av kala klippor till skillnad från Skutskärsområdet som innehåller mycket vegetation. Sannolikt är att de kala klipporna skapar bättre förutsättningar för ett bra matchningsresultat.

Tabell 18. Fullständighet, i det här fallet redovisade som procentuell andel matchade data för olika kameraalternativ.

Kameraalternativ	Område	Water	Matched	NoMatch	Area (m ²)
UCE 2015, RGB	Skutskär	4.11%	91.48%	8.52%	108 000 000
UCE 2015, PAN	Skutskär	4.11%	89.56%	10.44%	108 000 000
DMC 2013, RGB	Skutskär	4.11%	91.67%	8.33%	108 000 000
DMC 2013, PAN	Skutskär	4.11%	91.95%	8.05%	108 000 000
UCE 2014, RGB	Tjörn	14.90%	95.58%	4.42%	64 000 000

6.2.1.3 Lägesosäkerhet

I tidigare avsnitt har statistik och bilder inte visat några större skillnader mellan de olika bearbetningsprogrammen. Samma bilder, med samma blocktriangulering, har använts då punktmolnen genererats vilket ger bra förutsättningar för utvärdering av programmens potential. Med de olika kameraalternativ som också bearbetats ges goda möjligheter för jämförelser mellan kamerors prestanda och som det visat sig även olikheter i bildernas inre geometrier och programmens matchningskvalitet. Till vänster i bild 29 visas profil 5 för öppen mark framställd från bilder registrerade med en UCE kamera och bearbetad i SURE till en punkttäthet på 1 meter. I den mittersta bilden är punktmolnet beräknat i SURE från bilder registrerade med en DMC kamera. Som "oberoende" referens visas den stereomätta profilen tillsammans med NH-data i den högra bilden. Den nedre delen av bilderna visar punktmolnets läge relativt referensprofilen. Avvikelserna är för UCE negativa och för DMC och NH positiva. Medelvärde för avvikelsen i de olika fallen är – 28 cm, 86 cm respektive 29 cm. Avvikelserna för UCE beror dels på matchningen dels på osäkerheten i den stereokarterade profilen. Notabelt är det "trappsteg" som finns i det punktmoln som matchats fram ur bilder registrerade med både UCE och DMC. Det finns många tänkbara orsaker till detta – stödpunkters lokalisering och kvalitet, bildernas inre geometri, triangulering, matchningsprogrammets hantering av bildernas geometrier med mera. Uppdraget inkluderar inte en närmare analys av avvikelserna. Bilderna får snarare ses som en indikation på ett behov av ytterligare utvärdering av orsaken till det som analysen visat.

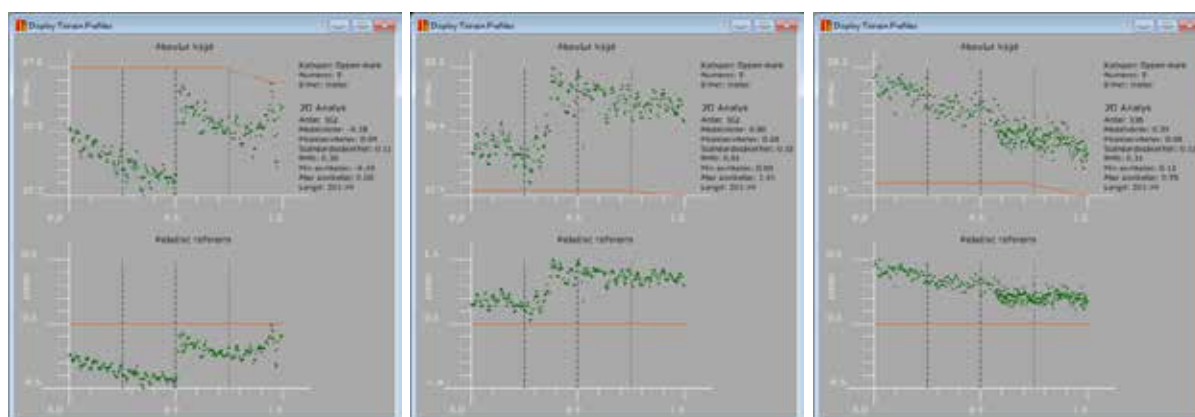
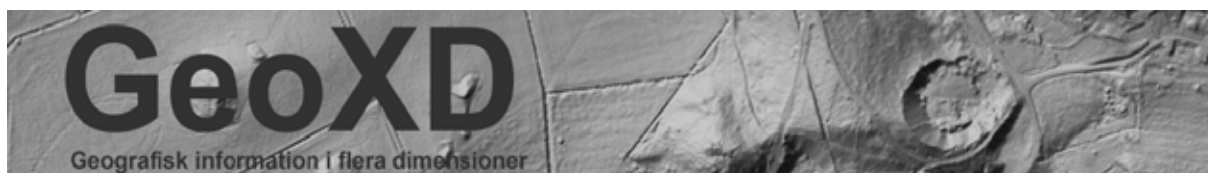


Bild 29. Bilderna från vänster till höger. Profiler och statistik från UCE, DMC och NH data - alla relaterade till en stereomätt profil i bilder från UCE kameran.

De lokala avvikelser och de systematiska skillnader man ser i bild 29 är inte unika. I de bilder som följer visas ytterligare exempel där markklassade data från NH används som referens. De rutiner som utvecklats för att detektera grova fel mellan punktmolnen och NH-DSM har modifierats en aning för att istället visa avvikelser mellan NH-DEM och punktmolnen. Tidigare har relativt accepterade intervall använts, 5 meter, vilket inte är tillräckligt för att detektera små avvikelser. Istället har intervallen satts till 25 cm mellan de olika färgnyanser som används. Merparten av bild 30 och 31 är blå vilket innebär att dessa områden enligt tidigare definitioner skall betraktas som grova fel. Så är dock inte fallet, skälet är att punktmolnen jämförs med en markmodell från NH som inte innehåller annat än just markytan. Den vegetation som finns i de bildmatchade punktmolnen avviker därför så pass mycket från markytan att de med naturlighet blir blåfärgade. På så sätt undviks den skillnad som annars finns mellan laserskannade och bildmatchade punktmoln. Bortser man från bildernas blå ytor, vegetation, och istället betraktar de återstående områdena framträder tydliga mönster. Gröna nyanser visar som tidigare att punktmolnet ligger över referensen NH och röda att det istället ligger under markmodellen. Varje intervall i färgskalan innebär en differens på ytterligare 25 cm. Bild 30 och bild 31 visar hela det område som bearbetats för data från DMC och UCE kamerorna.

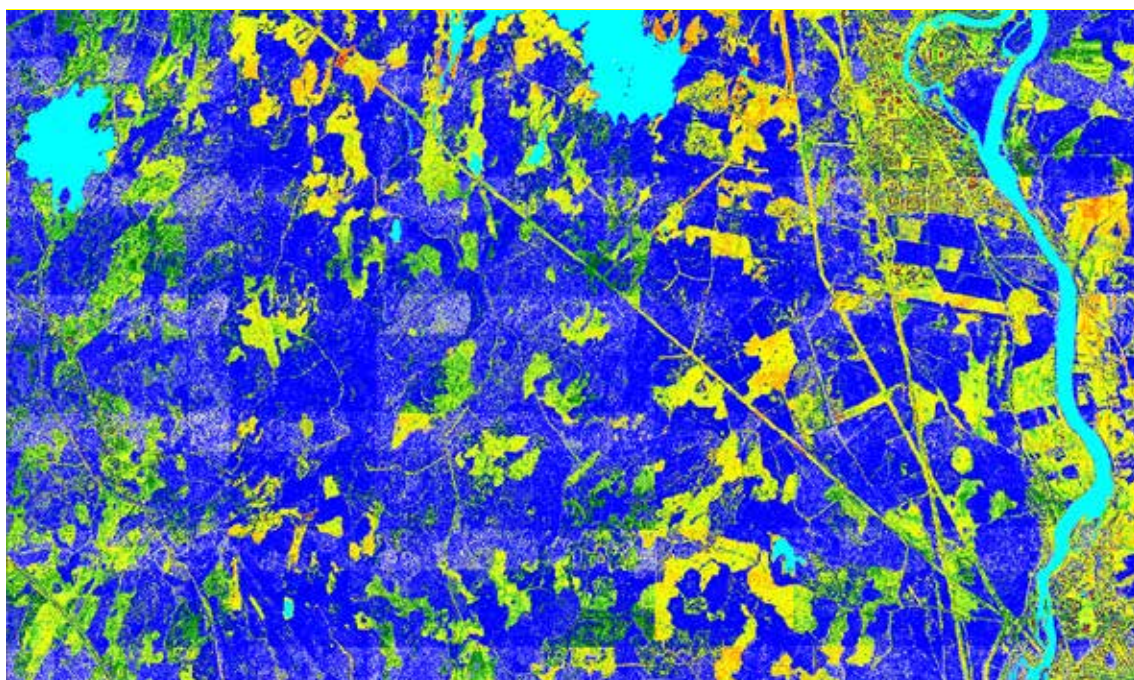


Bild 30. Avvikelser mellan punktmoln från DMC och NH. En markmodell från NH har använts som referens.

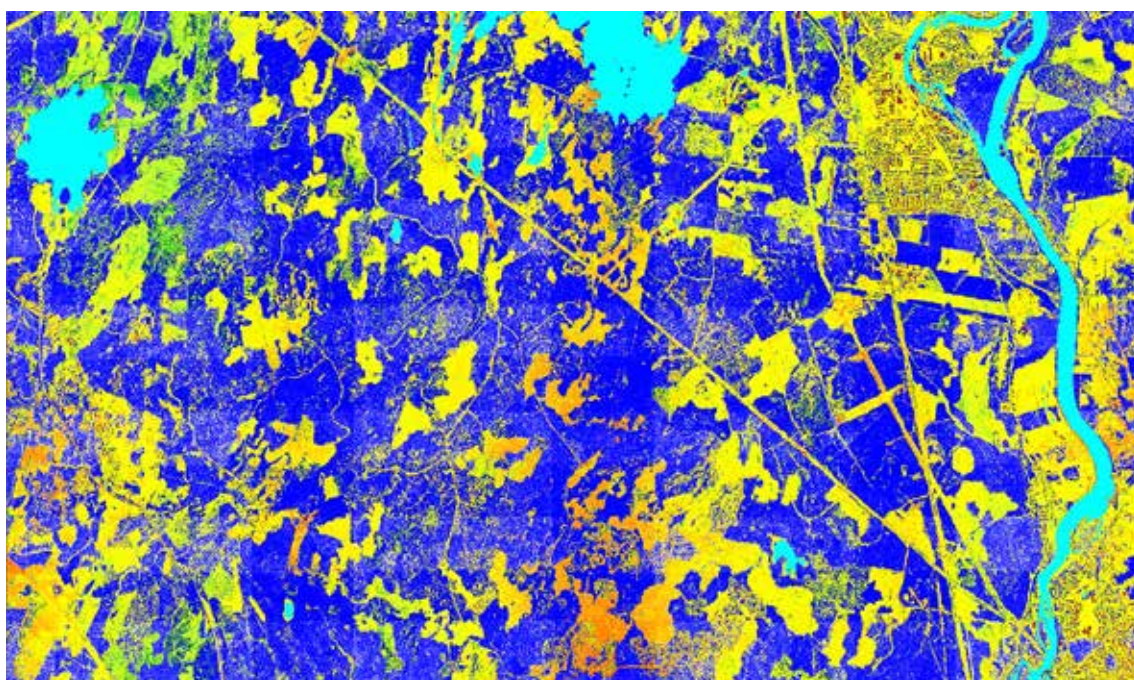
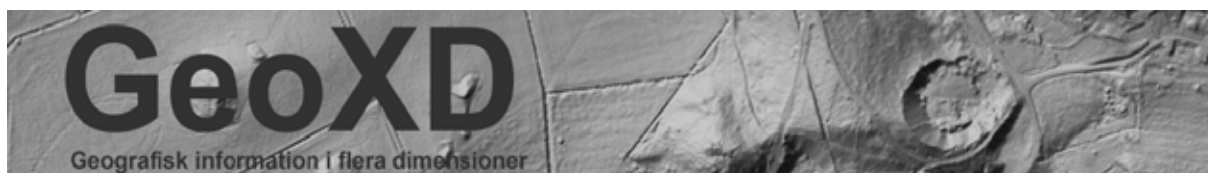


Bild 31. Avvikelser mellan punktmoln från UCE och NH. En markmodell från NH har använts som referens.



6.2.1.4 Grova fel – under markytan

Det finns som tidigare ett antal extrema värden under markytan som rimligtvis borde hanterats av programmet innan slutresultatet presenterades. Skillnaderna mellan de olika kameraalternativen är inte anmärkningsvärd och kan studeras i tabell 19. Vad som tidigare konstaterats är istället att det skiljer en del mellan programvaror och som tydligt är nu även beroende av terrängtyp. Matchningen i Tjörn innehåller förhållandevis lägre mängd grova fel än de data som bearbetats i Skutskär. Anledningen står sannolikt att finna i att det uppstår matchningskonflikter i områden med mycket vegetation. Samma intervall har använts som tidigare, d.v.s. 0-1 meter befinns vara markyta resterande del under markytan är indelade i 4 stycken 5-meters intervaller.

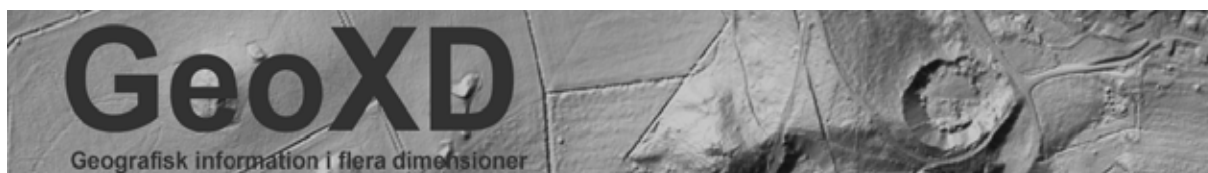
Tabell 19. Grova fel under markytan. Fyra kameraalternativ och ett västkustområde som skiljer sig från övrig platt terräng. Totalt antal punkter för Skutskär respektive Tjörn är 108 000 000 och 64 000 000. Min/max anges i meter.

Kameraalternativ	Område	Vatten	IckeData	Min	Max	0-1*Intervall	1-2*Intervall	2-3*Intervall	3-4*Intervall	4-5*Intervall	>5*Intervall	GrovaFel%
UCE2015, RGB	Skutskär	4 437 960	59 664 440	-998.103	1.000	43 683 442	203 878	8 727	954	240	359	0.488
UCE2015, PAN	Skutskär	4 437 960	58 737 302	-675.282	1.000	44 565 190	244 570	12 807	1 270	316	585	0.579
DMC2013, RGB	Skutskär	4 437 960	68 093 267	-794.000	1.000	35 254 257	206 993	5 837	1 263	242	181	0.605
DMC2013, PAN	Skutskär	4 437 960	68 417 059	-867.684	1.000	34 949 673	187 984	5 520	1 136	267	401	0.556
UCE2014, RGB	Tjörn	9 538 900	17 366 687	-37.084	1.000	36 994 705	99 315	327	27	11	28	0.269

6.2.1.5 Grova fel – ovan markytan

Byggnader

För byggnader används som tidigare ett intervall på 1 meter mellan färgnyanserna. För gula ytor är avvikelserna relativt NH-DSM mindre än 1 meter. I bild 32 visar den vänstra bilden resultatet från ett punktmoln som framställts från DMC med upplösning 48 cm. Den högra bildens punktmoln är beräknat från bilder registrerade med en UCE kamera där bildens upplösning är 24 cm. Tydligt är att matchningen i 24 cm data ger ett bättre resultat. Dessutom är det ett större antal pixlar som är matchade. I exemplet från DMC kameran finns det en större andel vita/transparenta pixlar på husens tak än i UCE bilden. I tabell 20 finns en sammanställning av 4 stycken olika kameraalternativ och ett område som avviker från de andra med avseende på terrängtyp. Att andelen grova fel är lägre i DMC-RGB än i UCE-RGB kan förklaras med bild 32. Summeras alla punkter, för respektive kameraalternativ, som matchats som byggnader blir matchningsfrekvensen högre för UCE än för DMC. SURE har med automatik tagit bort punkter som anses vara för dåliga för att matcha och då kommer de heller inte med i statistiken som grova fel.



Tabell 20. Andelen grova fel för byggnader. Variationen är relativt liten vilket bl.a. beror på att SURE har uteslutit en del pixlar ur beräkningen p.g.a. låg matchningskvalitet. Totalt antal punkter för Skutskär respektive Tjörn är 108 000 000 och 64 000 000. Min/max och statistiska mått anges i meter.

Kameraalternativ	Område	Vatten	IckeData	Byggnader	Min	Max	Mean	StDev	RMS	0-1*Intervall	1-2*Intervall	2-3*Intervall	3-4*Intervall	4-5*Intervall	>5*Intervall	GrovaFel%
UCE2015, RGB	Skutskär	4 437 960	8 832 699	585 618	-43.192	41.488	0.340	1.196	1.244	438 662	57 087	33 894	20 191	11 871	14 382	2.456
UCE2015, PAN	Skutskär	4 437 960	10 826 840	585 618	-42.367	41.413	0.332	1.205	1.250	438 451	55 016	34 471	20 650	12 048	14 903	2.545
DMC2013, RGB	Skutskär	4 437 960	8 646 467	585 618	-49.197	41.123	0.330	1.287	1.329	388 950	95 386	37 819	19 773	11 184	13 155	2.246
DMC2013, PAN	Skutskär	4 437 960	8 354 934	585 618	-49.037	41.623	0.286	1.276	1.308	393 830	89 228	37 203	19 342	10 552	14 336	2.448
UCE2014, RGB	Tjörn	9 538 900	2 421 888	609 351	-20.389	20.120	0.253	1.163	1.191	459 650	57 681	29 800	18 328	10 990	17 386	2.853

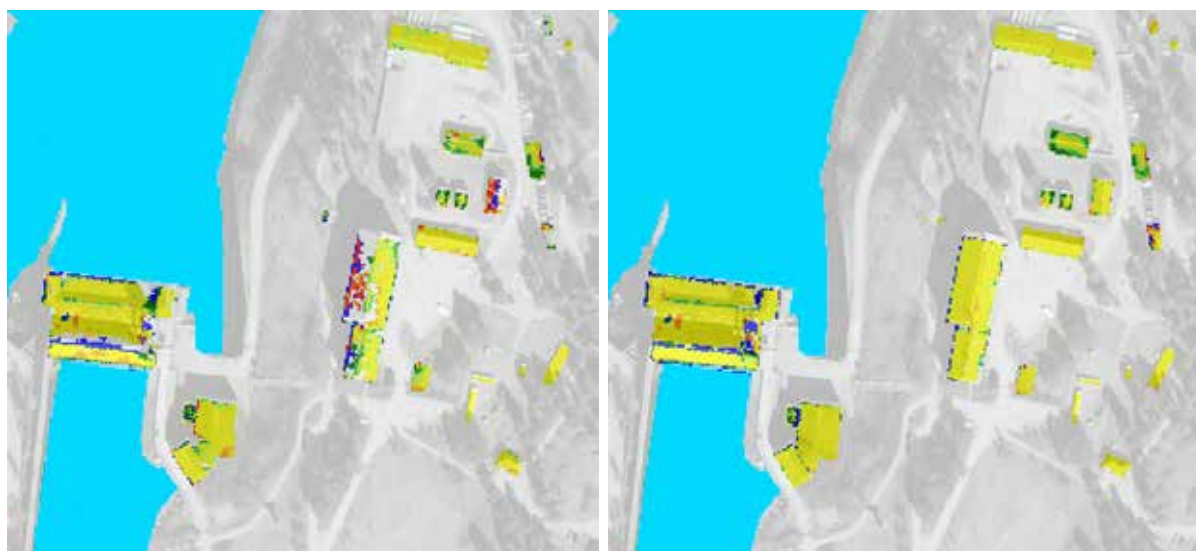


Bild 32. Lägesosäkerhet och grova fel för byggnader ur punktmoln från DMC och UCE. En ytmodell från NH har använts som referens.

Övriga objekt

Tidigare har exempel visats på var grova fel uppstår i skog och för byggnader i SURE och Match-T. Som statistiken i tabell 21 visar så är det inte någon signifikant skillnad på andelen grova fel vid jämförelse mellan DMC och UCE. En tydlig skillnad finns däremot vad gäller antalet punkter som klassats som IckeData mellan UCE-PAN och UCE-RGB som visas i bild 33. PAN i den vänstra bilden ser ljusare ut p.g.a. det större antalet vita punkter i skogen. Skälet till att det med 16 bitars bilddjup blir en sämre matchningsfrekvens är svårt att sja om men är kanske heller inte av annat än akademiskt intresse eftersom de data som skall matchas och dessutom är tänkta att användas för färgsättning är RGB.

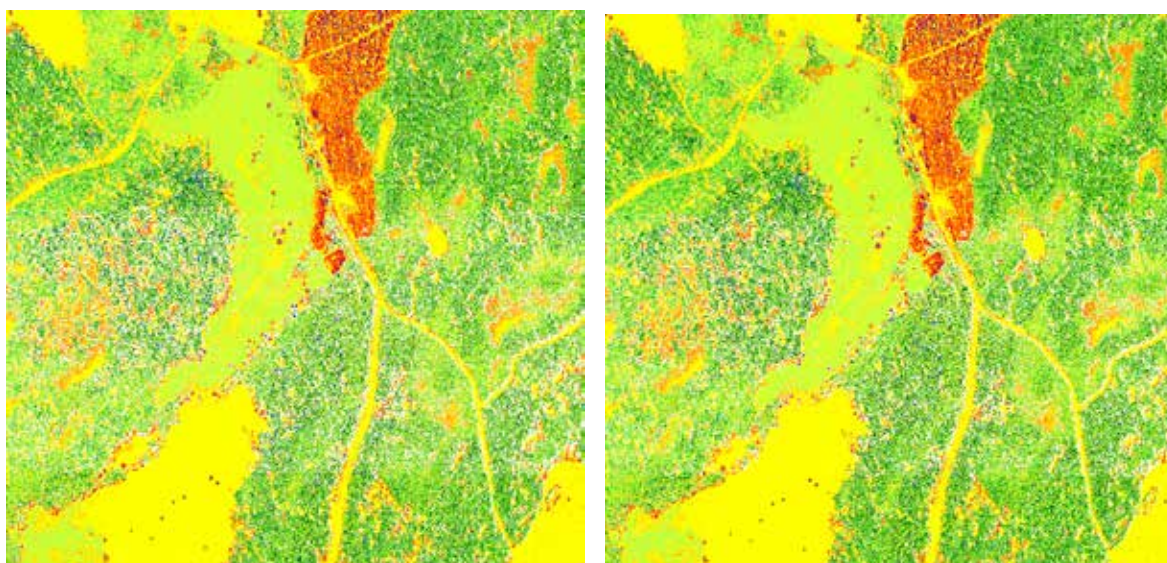
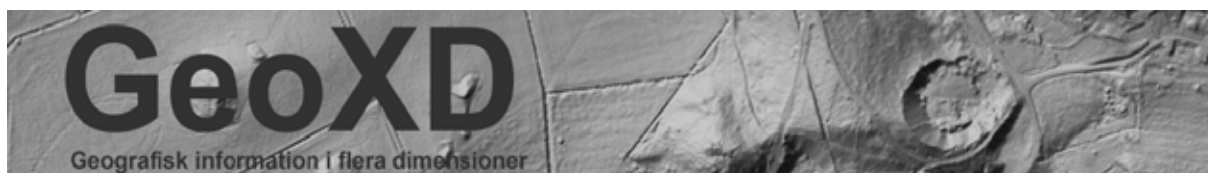


Bild 33. Lägesosäkerhet och grova fel för övriga objekt ur punktmoln från UCE-PAN och UCE-RGB. En ytmodell från NH har använts som referens. Mer vita områden i PAN indikerar lägre andel matchade pixlar.

Tabell 21. Jämförelse mellan olika kameraalternativ. Den mest signifikanta skillnaden är för IckeData mellan UCE-PAN och UCE-RGB. Skillnader syns även för grova fel för DMC relativt UCE. Intervallen i tabellen är 5 meter. Totalt antal punkter för Skutskär respektive Tjörn är 108 000 000 och 64 000 000. Min/max anges i meter.

Kameraalternativ	Område	Vatten	IckeData	Min	Max	0-1*Intervall	1-2*Intervall	2-3*Intervall	3-4*Intervall	4-5*Intervall	GrovaFel	GrovaFel%
UCE2015, RGB	Skutskär	4 437 960	8 823 168	-1008.790	60.239	39 282 218	31 345 781	12 577 340	7 085 410	3 196 341	666 164	0.703
UCE2015, PAN	Skutskär	4 437 960	10 816 761	-689.167	54.734	39 099 218	30 643 155	12 008 235	6 677 993	3 046 165	684 895	0.738
DMC2013, RGB	Skutskär	4 437 960	8 627 116	-804.959	100.702	40 134 048	32 220 921	11 869 833	6 654 807	2 934 042	535 655	0.564
DMC2013, PAN	Skutskär	4 437 960	8 333 807	-874.681	189.511	39 862 848	32 272 846	12 073 796	6 824 819	3 046 216	562 090	0.590
UCE2014, RGB	Tjörn	9 538 900	2 406 372	-51.828	58.884	36 648 910	10 794 600	2 784 952	947 502	239 313	30 100	0.058

6.3 Bearbetningstid

Under de första testerna som genomfördes har stora skillnader i bearbetningstid mellan programvarorna Match-T och SURE dokumenterats. Vid matchning av hela Skutskärsblocket, 42 bilder med 24 cm markupplösning, från flygningen med UCE-kameran 2015 har följande tider för matchningen registrerats.

Match-T: 44 timmar 43 minuter

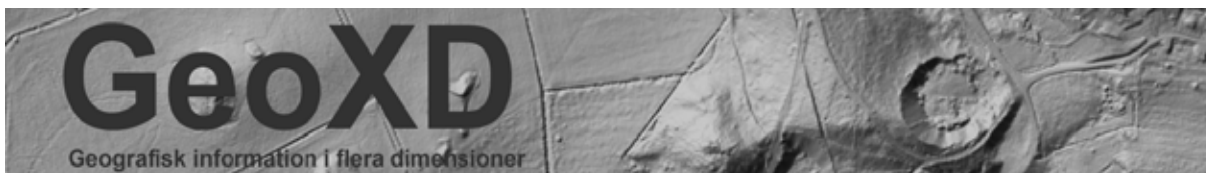
För Match-T har det konstaterats att man kan minska bearbetningstiden något om man delar upp området i mindre delar.

SURE: 4 timmar 58 minuter

Vid ytterligare tester i SURE, och med något modifierad parametersättning, har följande bearbetningstider noterats.

Skutskär (hela testblocket)

Matchning med bildens fulla upplösning



UCE2015_24cm_rgb -> punktmoln 100 cm: 3 timmar 43 minuter

UCE2015_24cm_pan -> punktmoln 100 cm: 4 timmar 22 minuter

DMC2013_48cm_rgb -> punktmoln 100 cm: 1 timme 10 minuter

DMC2013_48cm_pan -> punktmoln 100 cm: 1 timme 20 minuter

Matchning med 1/4 av bildens upplösning

UCE2015_24cm_rgb -> punktmoln 100 cm: 60 minuter

Matchning med 1/16 av bildens upplösning

UCE2015_24cm_rgb -> punktmoln 100 cm: 24 minuter

Resultatet från denna matchning blev inte fullständigt och därför har ingen kvalitetsjämförelse genomförts.

Tjörn (hela testblocket)

Matchning med bildens fulla upplösning

UCE2015_24cm_rgb -> punktmoln 100 cm: 1 timme 19 minuter

6.4 Lagring

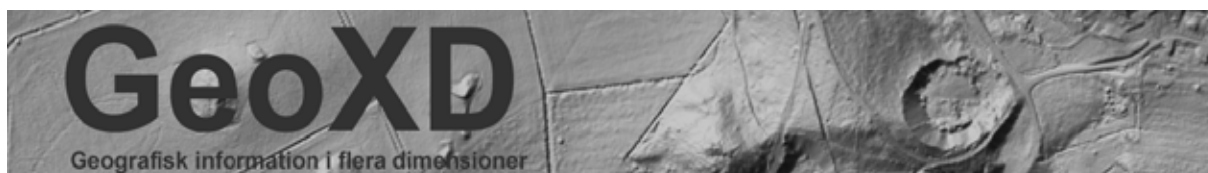
Rubriken inkluderar diskussioner kring punkttäthet, färgsättning av punktmolnet, formatval och vad dessa får för effekter på lagringsvolymen. För stunden läggs resonemang kring lagringsmedia och frågor kring åtkomst åt sidan.

6.4.1 LAS-format

De två LAS-format som redovisas nedan kan båda hantera intensitetsdata från laserskanning. Då denna information inte är aktuell för bildmatchade data kan det istället vara möjligt att lagra NIR-bandet där intensiteten lagras enligt specifikationerna. För närvarande rekommenderar nFrames, SURE, att man använder LAS 1.2. Färgbanden RGB lagras i därför avsedda parametrar och om önskemål finns att även inkludera NIR så är det möjligt att göra det i parametern Intensity.

6.4.1.1 LAS 1.2

ASPRS LAS-format 1.2 används för NH-data. Formatet LAS 1.2 innehåller 4 olika punktdataformat, PDRF, med eller utan GPS-tid och färgsättning som RGB i olika kombinationer. För att få en uppfattning om den lagringsvolym som de olika alternativen kräver måste det finnas uppgifter om hur många punkter ett punktmoln genererat med olika program kan innehålla. I tabell 22 finns uppgifter om den storlek som de olika punktdataformaten genererar. Minst utrymme kräver PDRF 0 som inte innehåller uppgifter om vare sig GPS-tid eller RGB. Ett punktmoln med tätheten 1 pkt/m² behöver för en NH-ruta ca 125 Mbyte lagringsutrymme. Rimligt är att anta att andra program likt SURE levererar punktmolnen som PDRF 2, d.v.s. inklusive färgsättning som RGB. Används PDRF 2 ökar volymen med 30 % relativt det enklaste punktdataformatet och lagringsbehovet blir 162.5 Mbyte / NH-ruta.

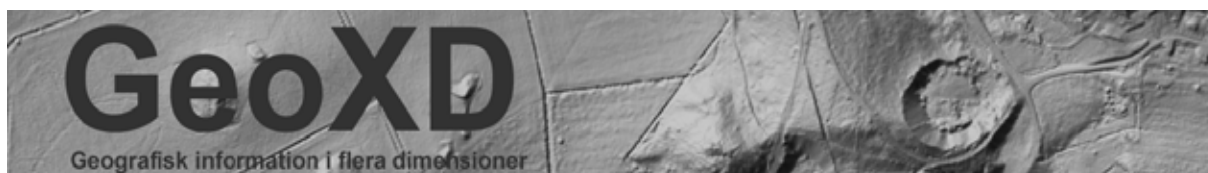


Tabell 22. Lagringsvolym i LAS 1.2 för olika Point Data Record Format som NH-rutor och med upplösning 100 cm, 50 cm och 25 cm.

LAS 1.2									
PunktDataFormat	RGB	GPS	Header (Byte)	Point (Byte)	Pkt/km ²	Storlek / km ² (MB)	Storlek / NH-ruta (MB)	Upplösning (cm)	Procent
PDRF 0			227	20	1 000 000	20.0	125.0	100	100%
PDRF 1		X	227	28	1 000 000	28.0	175.0	100	140%
PDRF 2	X		227	26	1 000 000	26.0	162.5	100	130%
PDRF 3	X	X	227	34	1 000 000	34.0	212.5	100	170%
LAS 1.2									
PunktDataFormat	RGB	GPS	Header (Byte)	Point (Byte)	Pkt/km ²	Storlek / km ² (MB)	Storlek / NH-ruta (MB)	Upplösning (cm)	Procent
PDRF 0			227	20	4 000 000	80.0	500.0	50	100%
PDRF 1		X	227	28	4 000 000	112.0	700.0	50	140%
PDRF 2	X		227	26	4 000 000	104.0	650.0	50	130%
PDRF 3	X	X	227	34	4 000 000	136.0	850.0	50	170%
LAS 1.2									
PunktDataFormat	RGB	GPS	Header (Byte)	Point (Byte)	Pkt/km ²	Storlek / km ² (MB)	Storlek / NH-ruta (MB)	Upplösning (cm)	Procent
PDRF 0			227	20	16 000 000	320.0	2 000.0	25	100%
PDRF 1		X	227	28	16 000 000	448.0	2 800.0	25	140%
PDRF 2	X		227	26	16 000 000	416.0	2 600.0	25	130%
PDRF 3	X	X	227	34	16 000 000	544.0	3 400.0	25	170%

6.4.1.2 LAS 1.4

ASPRS LAS-format 1.4 innehåller bl.a. utökade möjligheter för hantering av vågformad registrering från laserskanning. Utöver det finns det även möjlighet att inkludera NIR-information vid sidan om RGB. LAS 1.4 innehåller 11 olika punktdataformat, PDRF, med eller utan GPS-tid och färgsättning som RGB och NIR i olika kombinationer. I specifikationen till LAS 1.4 beskriver man dessa punktdataformat och påtalar också att man förordar att format 6-10 används om man väljer att använda LAS 1.4 trots att alla punktdataformaten stöds. I tabell 23 finns uppgifter om den storlek som de olika punktdataformaten genererar. Minst utrymme kräver PDRF 0, samma som tidigare, som inte innehåller uppgifter om vare sig GPS-tid eller RGB. Ett punktmoln med tätheten 1 pkt/m² behöver för en NH-ruta ca 125 Mbyte lagringsutrymme. Rimligt att anta är att andra program likt SURE levererar punktmolnen som PDRF 2, d.v.s. inklusive färgsättning som RGB. Används PDRF 2 ökar volymen med 30 % relativt det enklaste punktdataformatet och lagringsbehovet blir 162.5 Mbyte / NH-ruta. Samma som LAS 1.2, PDRF 2, eftersom den något större headerns inverkan på lagringsvolymen är försumbar. För att inkludera färgsättning med både RGB och NIR krävs att PDRF 8 används vilket ökar volymen relativt det enklaste formatet, PDRF 0, med 90% och relativt PDRF 2 med 46%.



Tabell 23. Lagringsvolym i LAS 1.4 för olika Point Data Record Format som NH-rutor och med upplösning 100 cm, 50 cm och 25 cm.

LAS 1.4										
PunktDataFormat	RGB	NIR	GPS	Header (Byte)	Point (Byte)	Pkt/km ²	Storlek / km ² (MB)	Storlek / NH-ruta (MB)	Upplösning (cm)	Procent
PDRF 0				375	20	1 000 000	20.0	125.0	100	100%
PDRF 1			X	375	28	1 000 000	28.0	175.0	100	140%
PDRF 2	X			375	26	1 000 000	26.0	162.5	100	130%
PDRF 3	X		X	375	34	1 000 000	34.0	212.5	100	170%
PDRF 6			X	375	30	1 000 000	30.0	187.5	100	150%
PDRF 7	X		X	375	36	1 000 000	36.0	225.0	100	180%
PDRF 8	X	X	X	375	38	1 000 000	38.0	237.5	100	190%
LAS 1.4										
PunktDataFormat	RGB	NIR	GPS	Header (Byte)	Point (Byte)	Pkt/km ²	Storlek / km ² (MB)	Storlek / NH-ruta (MB)	Upplösning (cm)	Procent
PDRF 0				375	20	4 000 000	80.0	500.0	50	100%
PDRF 1			X	375	28	4 000 000	112.0	700.0	50	140%
PDRF 2	X			375	26	4 000 000	104.0	650.0	50	130%
PDRF 3	X		X	375	34	4 000 000	136.0	850.0	50	170%
PDRF 6			X	375	30	4 000 000	120.0	750.0	50	150%
PDRF 7	X		X	375	36	4 000 000	144.0	900.0	50	180%
PDRF 8	X	X	X	375	38	4 000 000	152.0	950.0	50	190%
LAS 1.4										
PunktDataFormat	RGB	NIR	GPS	Header (Byte)	Point (Byte)	Pkt/km ²	Storlek / km ² (MB)	Storlek / NH-ruta (MB)	Upplösning (cm)	Procent
PDRF 0				375	20	16 000 000	320.0	2 000.0	25	100%
PDRF 1			X	375	28	16 000 000	448.0	2 800.0	25	140%
PDRF 2	X			375	26	16 000 000	416.0	2 600.0	25	130%
PDRF 3	X		X	375	34	16 000 000	544.0	3 400.0	25	170%
PDRF 6			X	375	30	16 000 000	480.0	3 000.0	25	150%
PDRF 7	X		X	375	36	16 000 000	576.0	3 600.0	25	180%
PDRF 8	X	X	X	375	38	16 000 000	608.0	3 800.0	25	190%

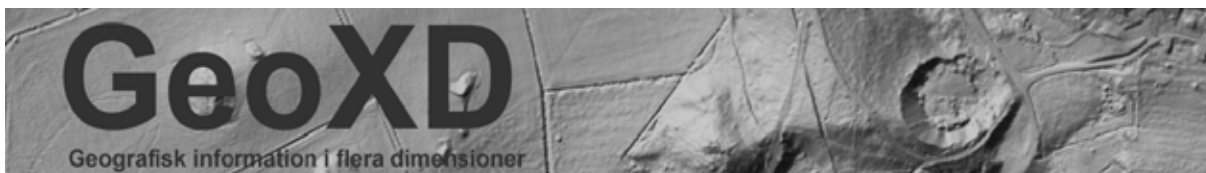
6.4.2 Komprimering

6.4.2.1 RAR

För NH-data används komprimeringsmetoden RAR, Roshal ARchive, vilket är en icke förstörande komprimering som har utvecklats av Eugene Roshal. Filerna måste packas upp med hjälp av programvara som, kostnadsfritt, kan laddas ned från nätet innan de kan användas. I tabell 24 visas behovet av lagringsutrymme för matchade bilddata som lagrats i LAS-format 1.2-PDRF 2 när filerna har komprimerats till RAR med komprimeringsgraden "best". Lagringsvolymen har beräknats från matchade bilddata i Skutskär och visar således ett realistiskt fall.

Tabell 24. Lagringsvolym, TerraByte, för hela Sverige i LAS 1.2 PDRF 2 som RAR-komprimerat data.

	Okomprimerat (TB)	RAR (TB)
3D-points	218.2	58.9
50 cm	32.9	9.2
75 cm	16.0	4.5
100 cm	9.5	2.6
141 cm	5.0	1.4
200 cm	2.6	0.7



6.4.2.2 LAZ

Det finns ytterligare icke förstörande komprimerande filformat som kan användas för lagring. LAZ är ett sådant format och har utvecklats av det tyska företaget rapidlasso. Filerna kan i många programvaror läsas direkt och man behöver alltså inte packa upp data i alla lägen. Om den programvara som man ska använda inte kan läsa LAZ-formatet kan filerna packas upp med hjälp av programvara som, kostnadsfritt, kan laddas ned från nätet. I tabell 25 visas behovet av lagringsutrymme för matchade bilddata som lagrats i LAS-format 1.2-PDRF 2 när filerna har komprimerats till LAZ. Lagringsvolymen har beräknats från matchade bilddata i Skutskär och visar således ett realistiskt fall.

Tabell 25. Lagringsvolym, TerraByte, för hela Sverige i LAS 1.2 PDRF 2 och som LAZ-komprimerat data.

	Okomprimerat (TB)	LAZ (TB)
3D-points	218.2	43.6
50 cm	32.9	6.7
75 cm	16.0	3.4
100 cm	9.5	2.0
141 cm	5.0	1.1
200 cm	2.6	0.6

6.4.3 Lagringsvolym

Ett punktmoln genererat med SURE för Skutskärområdet har använts som underlag för beräkning av lagringsvolym. I diagram 2 har volymen för olika punkttäthet lagrat med LAS-format 1.2 och PDRF 2 beräknats. Den största stapeln, 3D-points, representerar ett oredigerat punktmoln där data från matchning i alla tänkbara stereomodeller finns med i LAS-filerna. Den lagringskapacitet som krävs för lagring av rikstäckande 72000 NH-rutor, 450000/6.25, blir ca 218 Tbyte för okomprimerat data. För 100 cm med motsvarande resonemang krävs det "endast" 9.5 Tbyte för hela Sverige. I diagrammet redovisas också det minskade behovet av lagringsutrymme vid olika komprimeringsval, RAR och LAZ. RAR komprimerar data ca 4 gånger och LAZ ca 5 gånger.

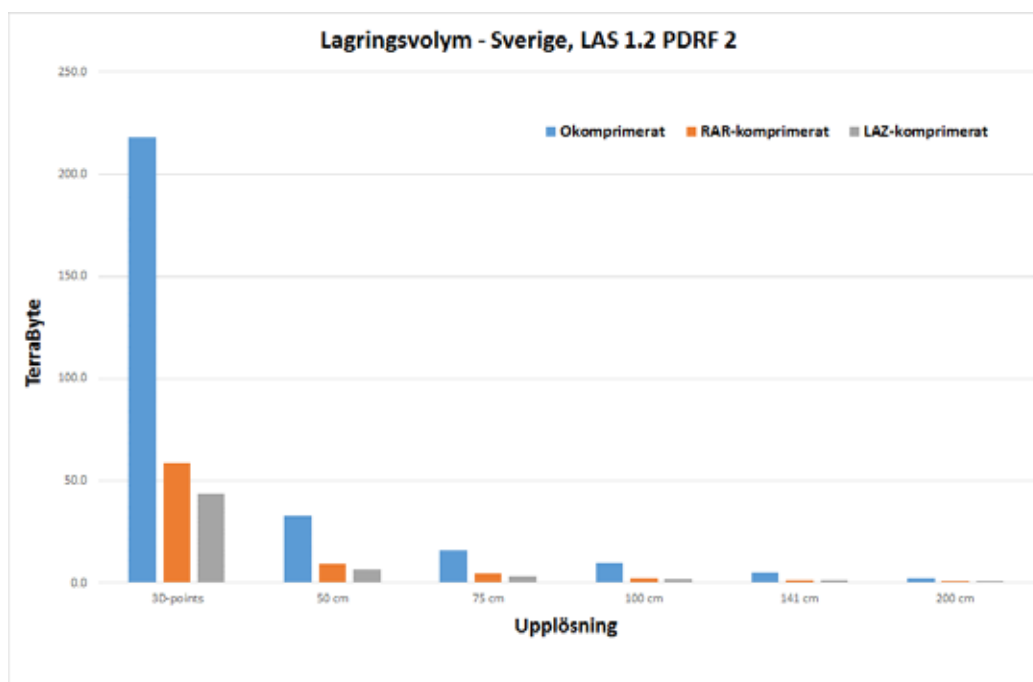
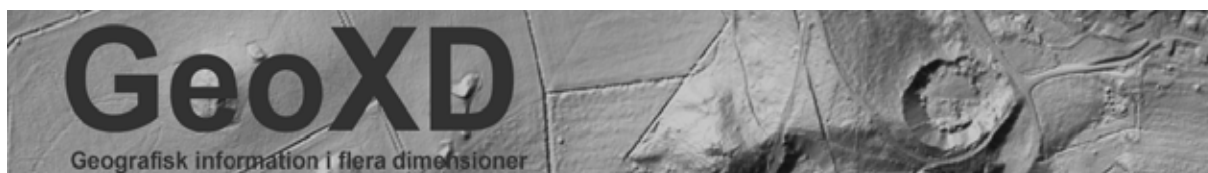


Diagram 2. Lagringsvolym för olika punkttäthet och komprimering, LAS 1.2 med PDRF 2.

Eftersom de tester som genomförts med SURE har genererat filer med LAS-format 1.2 och PDRF 2 redovisas motsvarande data för LAS 1.4 PDRF 8 genom att multiplicera resultatet med en faktor 1.46 som beräknats enligt beskrivningen av LAS 1.4 ovan. Resultatet redovisas i diagram 3.

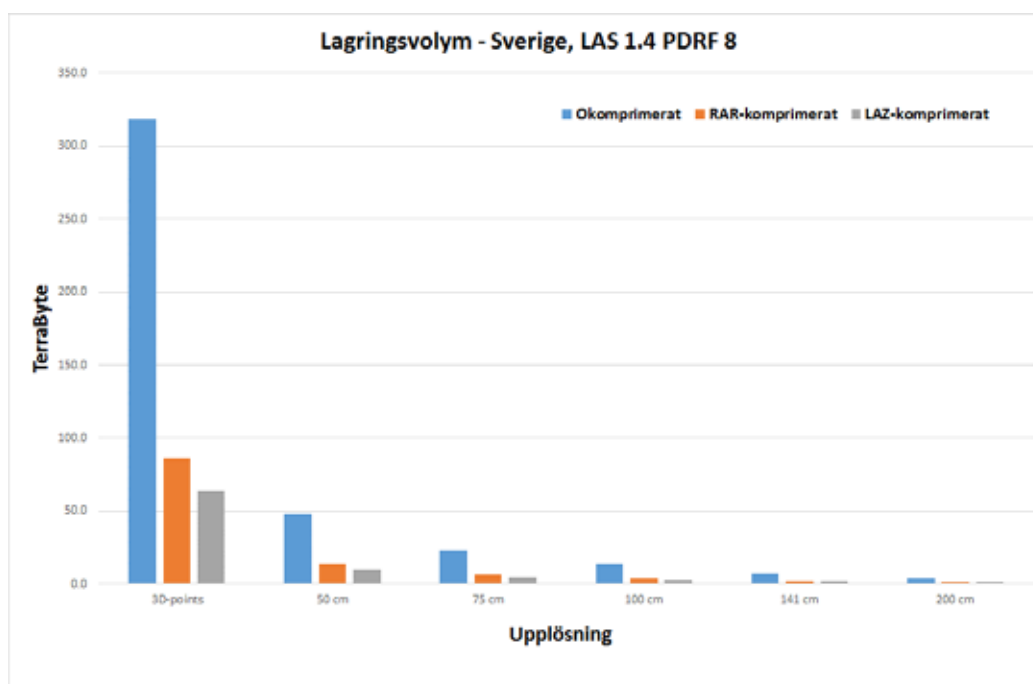
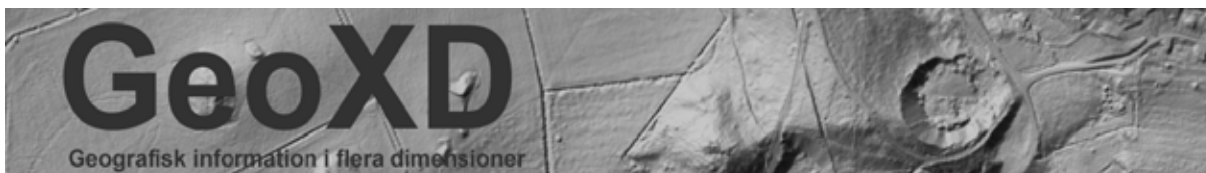


Diagram 3. Lagringsvolym för olika punkttäthet och komprimering, LAS 1.4 med PDRF 8.



Generellt, oavsett val av LAS-format och punktdataformat, kan man säga att om punkttätheten 1 pkt/m² (100 cm) används kan lagringen göras i samma indelning som NH d.v.s. 2.5km*2.5km. Väljer man en punkttäthet på 4 pkt/m² (50 cm) blir LAS-filerna ca 4 ggr större och kan då förslagsvis delas upp i fyra delar utifrån NH-rutornas indelning för att skapa motsvarande användarsituation som för NH.

För närvarande produceras de flesta data i LAS 1.2 och det är oklart hur många av de kommersiella programmen som implementerat och kan hantera LAS 1.4 och de därtill hörande punktdataformaten fullt ut.

Beslutar Lantmäteriet att inte inkludera NIR finns ingen anledningen att använda LAS 1.4 utan rekommendationen från ASPRS är snarare att man i så fall nyttjar den enklare versionen LAS 1.2 PDRF 2.

6.5 Metadata

Metadata kan hanteras på olika sätt och i olika former. Förslaget som redovisas nedan bygger på idag befintliga metadata för flygfotografering och laserskanning.

Förslaget är att lagring och leveranser görs i 2.5km*2.5km-rutor på samma sätt som för NH. Filnamnen kan bygga på flygfotograferingens namnsättning enligt nedan.

12f248uv08_67275_5975_25.las

där

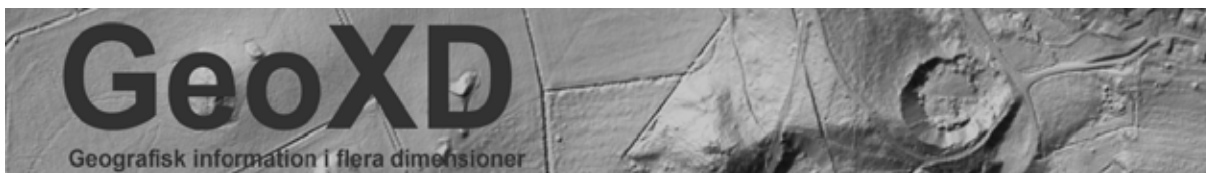
Flygfotoår:	12
Beteckning för flygfotoområde:	f2
Ungefärlig upplösning i cm:	48
Flygplan:	uv
Kameranummer:	08

I övrigt redovisas koordinaterna för rutans nedre vänstra hörn.

Ytterligare metadata kan beskrivas i en XML-fil med följande struktur vilken bygger på upplägget för NH.

Generell information

Flygfotoår
Flygfotoområde
Bildupplösning
Våglängdsband
Flygplan
Kameranummer
Trianguleringsprogramvara
Kvalitet från trianguleringen
Matchningsprogramvara
Matchningsdatum
Kvalitetsanmärkning



Information för respektive ruta

Ruta

Flygfotodatum

Bild-ID

Editering av grova fel, datum

Programvara för editering

Totalt antal punkter

Lägsta höjd

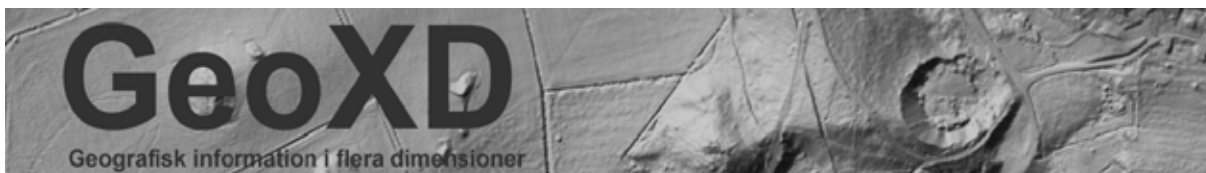
Medelhöjd

Högsta höjd

Andel vatten

Andel byggnader

För övrigt bör ett antal bilder som beskriver kvaliteten i det matchade punktmolnet lagras som metadata. Exempel på sådana är Punkttäthet, Fullständighet, Lägesosäkerhet m.m..



7 Slutsatser

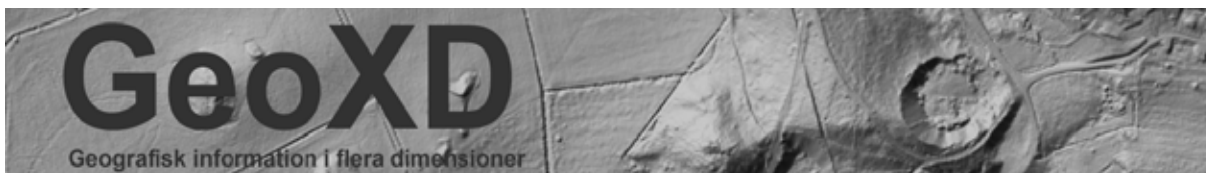
Nedan följer en sammanfattning av de erfarenheter och diskussioner som samlats in inom projektets formulering.

Datakällor

- Produktion av punktmoln från bilddata inkluderar bilder med känd inre geometri. Blocktrianguleringen har stor inverkan på punktmolnets geometriska kvalitet och därmed användbarhet. För att skapa en tillförlitlig och användbar produkt bör trianguleringsrutiner och matchningsprogrammets hantering av bildgeometrier samt trianguleringsdata ses över.
- Skillnaderna är relativt små mellan UCE, 24 cm, och DMC, 48 cm, både vad gäller andel matchade punkter och lägesosäkerhet. Ännu outredda skillnader finns mellan UCE-PAN och UCE-RGB. Tänkbara orsaker är triangulering, interngeometri i bilderna och PAN-skärpt RGB.
- Huruvida bildernas radiometriska upplösning, 8 eller 16 bitar, kan påverka resultatet i skuggiga områden ingår inte i studien. Det verkar dock som att programmen som regel använder 8 bitars PAN-data för matchningen. PAN-skärpt RGB konverteras ofta automatiskt till PAN för att minska bildstorleken vid matchningen.
- Det finns uppenbara förtjänster med stor övertäckning. Programmen matchar alla tänkbara stereomodeller och för kompletta punktmoln kan det då uppstå konflikter om stereo-modellernas geometrier skiljer sig. Programmen löser dessa situationer på skilda sätt. Bäst vore om modellerna inte skiljer sig mer än marginellt. Förbättrade rutiner för blocktriangulering är en tänkbar lösning på problemet.
- NH höjddata som ingångsvärde. I Match-T är det möjligt att använda en DEM/DSM som startvärde vid matchningen för att bl.a. minska risken för grova fel och dessutom minska bearbetningstiden. Robustheten i matchningen innebär att förtjänsten med kompletterande startvärden från existerande höjddata endast är marginell. Det finns med andra ord inget motiv att komplettera med detta moment och en ansevärd mängd DEM/DSM-data.
- Vektordata kan användas i flera sammanhang. Dels för att dela in i delområden med skilda terrängtyper, dels för att avslutningsvis klassificera t.ex. vattenytor likt det som gjorts i NH. Indelning i regioner – skog, urban, vatten, kuperat - har testats av Lantmäteriet utan mätbara förbättringar. Klassning diskuteras i ett senare avsnitt.

Programvaror

- I studien har Match-T och SURE använts för testerna. Vid sidan om dessa finns ett antal ytterligare program nämnda och utvärderade i den studie som EuroSDR genomfört. Det finns all anledning att även testa punktmolnets kvalitet i andra programvaror innan Lantmäteriet beslutar vilket matchningsprogram som skall

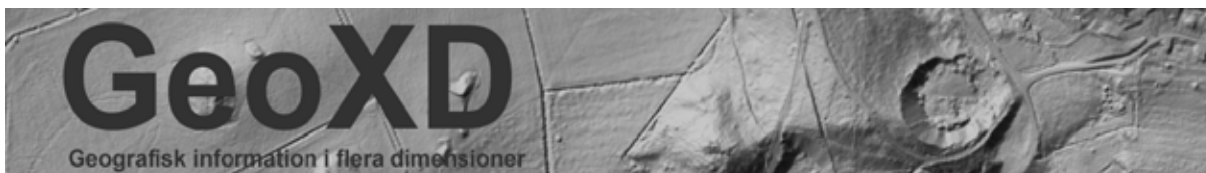


användas för den interna produktionen av punktmoln från den nationella omdrevsfotograferingen.

- Matchning av punktmoln för ett "lantmäteriblock" tar ca 2 veckor i Match-T. Det inses lätt att tidsfaktorn är av stor betydelse vid en rikstäckande produktion. Bearbetningstiden skiljer med i det närmaste en tiopotens till SUREs fördel.
- Programleverantörernas rekommendation är 2 ggr respektive 2-3 ggr bildens markupplösning för det matchade punktmolnet. För 24 cm bilder blir det 50-75 cm och för 48 cm bilder bör det matchade punktmolnet ha en markupplösning av 100-150 cm. Bäst resultat uppnås om punktmolnen matchas i full upplösning.
- Match-T rekommenderar stråkvis matchning för att minska influensen av skugg-effekter. I SURE är det möjligt att skapa stråkvis matchning genom att begränsa matchningen till bilder med viss övertäckning. Kvalitetsbeskrivning av varje punkt och urval relativt dessa mått ger sannolikt bäst slutresultatet.
- De små skillnader i resultat man kan se efter bearbetning med "extrem" parametersättning vittnar om programmets robusthet. Robustheten innebär att det inte finns mycket utrymme för programmets användare att påverka resultatet.
- Programmen innehåller ett antal "buggar". Bland annat sätts parametrar om per automatik och stereomodeller väljs bort på grunder som bara programmakarna känner till. Programmen utvecklas och förbättras kontinuerligt så förhoppningen måste vara att det går att få en tillförlitlig produktionslösning inom en snar framtid. Mindre organisationer tycks mer intresserade av dialog och snabb uppdatering av programmens oegentligheter.

Kvalitet

- Lägesosäkerheten i plan, standardosäkerhet, uppfyller sannolikt de krav som ställs från potentiella användare av punktmolnet. Lägesosäkerheten i höjd varierar beroende på var i punktmolnet analysen sker. I öppen mark och för byggnader finns goda möjligheter att beräkna avvikelser relativt laserdata från NH. I övrigt är det alltför stor skillnad i egenskaper mellan punktmoln som genererats från laser relativt det som matchats från bilder. Profiler ger en god indikation men är inte tillräckliga som kvalitetskontroll. I nära anslutning till stora gradienter, höjdvariationer, får matchningens utjämnande effekt konsekvenser på kvaliteten i punkternas höjdangivelse.
- Fullständighet: Andelen matchade punkter varierar mellan programmen. Det är bättre om grova fel undviks än att det genereras punkter som kräver ytterligare bearbetning för att eliminera grova fel. Fullständigheten bör dokumenteras med bilder likt täthetsbeskrivningen för NH.



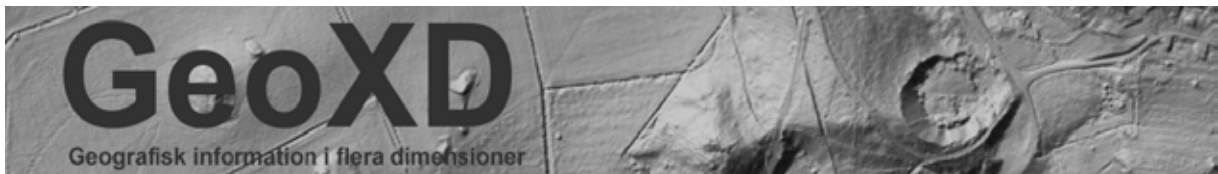
- Grova fel: Skillnaderna mellan programmen är relativt stora och avvikelsernas storlek är också tydlig. För detektering av grova fel under och ovan mark har skilda toleranser använts eftersom förändringar och avvikelser antagits vara större ovan mark. Om laserdata används som referensdata är det av vikt att bild och laserdata är registrerade med så lika förutsättningar som möjligt för att undvika grova fel till följd av alltför skilda registreringstidpunkter.
- Grova fel - klassning: Matchning av vattenytor genererar ofta grova fel. Hur skall dessa och andra grova fel hanteras, skall de klassas eller tas bort ur punktmolnet? Hur och i vilken programvara skall detta ske?

Produktbeskrivning

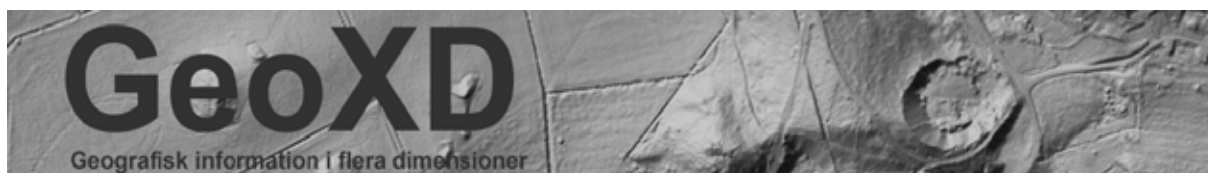
- Trots önskemål från omvärlden om "alla" data ter sig förslaget att producera ett första punktmoln med 1 meters upplösning högst relevant. Bland de argument som kan formuleras finns
 - man kan vänta med beslut kring stora lagringsvolym
 - man har möjlighet att utvärdera och förbättra lägesosäkerheten i höjd.
 - man ges möjlighet att utvärdera omvärldens faktiska intresse för det bildmatchade punktmolnet.
 - man ges möjlighet att internt utvärdera punktmolnets användning för bl.a. höjdsättning och ajourhållning av Lantmäteriets geografiska vektordata.
 - man ges möjlighet att utvärdera alternativa programvaror innan "alla" data eventuellt skall produceras.
- Färgsättning av punktmolnet, RGB, förenklar tolkningen av data väsentligt. Det är mycket svårare att tolka det matchade punktmolnet än ett punktmoln från laserdata eftersom matchade data är brusigare och inte penetrerar vegetation i samma utsträckning som laserdata. Dessutom är mark klassat i NH.
- Punktmolnet skall inte interpoleras utan bara ha de värden som matchats. Finns det ett mervärde med en leverans av en ytmodell där punkter interpolerats till ett regelbundet rutnät?
- Kvalitetsbeskrivning på punktnivå och information som ger möjlighet att länka punkterna till metadata. Finns det intresse och värde för användarna av en så detaljerad information?

Lagring

- LAS 1.2 med Point Data Record Format 2 kan läsas av merparten av de programvaror som hanterar laserdata. Formatet inkluderar färgsättning med tre våglängdsband, förslagsvis RGB. NIR kan om så önskas lagras i parametern Intensity utan att lagringsvolymen i LAS 1.2 – PDRF 2 påverkas.

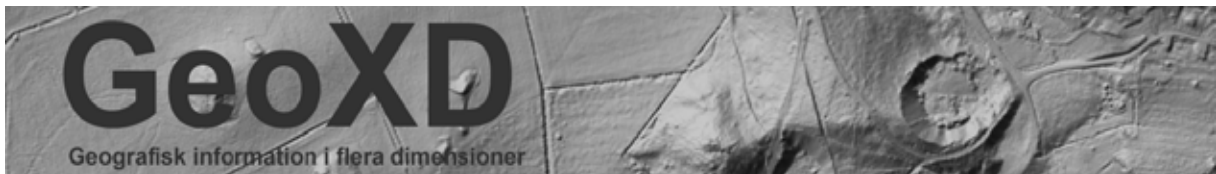


- Lagringsvolymen för ett punktmoln med "alla" matchade data blir ca 20-25 ggr så mycket data som ett punktmoln med 1 meters upplösning.
- Metadata kan länkas till block, stråk eller bildpar beroende på vilken programvara som används för produktionen.
- Lagringen sker förslagsvis i motsvarande enheter, 2.5km*2.5km, och med liknande rutiner som för NH.



8 Referenser

- Ackerman, F., 2005. 25 Years of Contributions by INPHO to Advancement in Photogrammetry - What is to come next?.
- Förstner, W., 1986. A Feature Based Correspondence Algorithm for Image Matching. IAPRS, Vol. 26, Part 3/3, pp 150-166.
- Haala, N., 2014. Dense Image Matching Final Report. European Spatial Data Research, Official publication No 64.
- Hirschmüller, H., 2008. Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 30, pp. 328–341.
- Ekholm, A., Ågren, H., Pettersson, M., Berg, A., Norin, M., 2014. Matcha och skapa 3D. Lantmäteriet.
- Wenzel, K., Haala, N., Fritsch, D., 2014. Stereo model selection and point cloud filtering using an out-of-core octree. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-3, 2014. ISPRS Technical Commission III Symposium, 5-7 September 2014, Zurich, Switzerland.



Om GeoXD

GeoXD är ett aktiebolag som etablerades i april 2009. Vi utvecklar bl.a. metoder för att effektivisera bearbetning och tolkning av geografisk information samt rutiner för kvalitetskontroll av flygbilder och laserdata. Vi har även erfarenhet av att leda stora projekt – NNH - och produktion i mindre skala.

För övrig information kring vår erfarenhet och kompetens inom det aktuella ämnesområdet, bearbetning av geografisk information, hänvisas till vår hemsida.

Med vänliga hälsningar

Dan & Kristina Klang

GeoXD AB

Tel: 08-776 16 36